

**Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В.**

**ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД**

**Навчальний посібник**

**ОДЕСА – 2011**

**ББК 28.081**  
**Ю 64**  
**УДК 504.4**

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету (протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.2010 р.)

Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В.

Оцінка якості природних вод: Навчальний посібник. – Одеса: Вид-во \_\_\_\_\_, 2011. – 164 с.

Якість природних вод разом з кількісною оцінкою їх ресурсів має велике значення при плануванні водогосподарських заходів. Вона представляється набором показників, який відображає потреби користувачів у складі й властивостях вод і дозволяє оцінити їх стан. В навчальному посібнику викладені основні відомості про властивості природних вод та особливості їх формування, показники, нормативи та норми якості природних вод, оцінку якості вод за комплексними індексами, оцінку якості вод як середовища мешкання гідробіонтів, показники забруднення водних об'єктів і мінливості якості води.

Розрахований на студентів екологічних, гідрометеорологічних та інших спеціальностей вищих навчальних закладів України, а також на широке коло читачів, які бажають розширити свої знання у галузі оцінки якості природних вод різного походження і призначення.

© Одеський державний  
екологічний університет, 2011

## ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ФОРМУВАННЯ	9
1.1 Загальні уявлення про властивості природних вод	9
1.2 Особливості формування якості природних вод	16
1.2.1 Гідравлічні процеси	18
1.2.2 Фізичні процеси	19
1.2.3 Хімічні процеси	20
1.2.4 Біохімічні процеси	20
1.2.5 Процеси евтрофування	22
2 ПОКАЗНИКИ І НОРМАТИВИ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД	24
2.1 Основні показники якості природних вод	24
2.2 Нормативи показників якості природних вод	35
2.2.1 Санітарно-гігієнічні ГДК забруднювальних речовин	35
2.2.2 Рибогосподарські ГДК забруднювальних речовин	36
2.2.3 Класи небезпеки забруднювальних речовин	37
2.2.4 Біогеохімічні нормативи	40
2.2.5 Екологічні нормативи	42
3 НОРМИ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД	44
3.1 Метод детального аналізу	44
3.2 Санітарні норми якості вод	45
3.3 Рибогосподарські норми якості вод	48
3.4 Норми якості вод країн ЄС	50
3.5 Норми якості морських вод	50
3.6 Норми якості мінеральних вод	51
3.7 Критерії якості іригаційних вод	59
3.8 Критерії якості питної води	66
4 ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ЗА КОМПЛЕКСНИМИ ІНДЕКСАМИ	70
4.1 Індекс забруднення вод	70
4.2 Комбінаторний індекс забруднення	71
4.3 Коефіцієнт забруднення $\chi$	73
4.4 Комплексний показник екологічного стану	75
4.5 Узагальнений екологічний індекс $I_E$	76
4.6 Узагальнений індекс стану вод $I_{CV}$	83
4.7 Оцінка якості вод джерел питного водопостачання	84
5 ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ЯК СЕРЕДОВИЩА МЕШКАННЯ ГІДРОБІОНТІВ	97
5.1 Біоіндикаційна оцінка якості вод	97
5.1.1 Гідробіологічна оцінка якості поверхневих вод і донних відкладів	97

5.1.2	Оцінка якості вод по макрозообентосу	101
5.1.3	Оцінка якості вод по перифітону, фіто- і зоопланктону	103
5.1.4	Індекси видового різноманіття	104
5.1.5	Токсобність вод	105
5.2	Оцінка якості вод методом біотестування	105
5.2.1	Біотестування вод на різних етапах технологічного процесу	110
5.2.2	Біотестування стічних вод	111
5.2.3	Біотестування очищених стічних вод	112
5.2.4	Біотестування морського середовища при дампінгу ґрунтів	114
6	ПОКАЗНИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ І МІНЛИВОСТІ ЯКОСТІ ВОДИ	119
6.1	Показники середнього навантаження водних об'єктів забруднювальними речовинами	119
6.2	Показники відносних розмірів зон забруднення	120
6.3	Показники, що враховують зовнішній водообмін водоєм	122
6.4	Просторові і часові узагальнення	123
	ГЛОСАРІЙ	125
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	131
	ДОДАТКИ	134
	АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК	161
	ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	162

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БСК – біохімічне споживання кисню  
ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я  
ГДЕН - гранично допустиме екологічне навантаження  
ГДК - гранично допустима концентрація  
ГДС – гранично допустимий скид  
ДГІ – Державний гідрологічний інститут  
ДДТ – діхлордіфенілтрихлоретан  
ДСанПіН - Державні санітарні правила і норми  
ЕІСВ - узагальнений індекс стану води  
ЄС - Європейське Співтовариство  
ЗМЧ - загальне мікробне число  
ЗР – забруднювальна речовина  
ІЗВ - індекс забруднення води  
КІЗ - комплексний індекс забруднення  
КП - кишкова паличка  
КПЕС - комплексний показник екологічного стану  
К<sub>р</sub> – кратність розводження  
КУО - колонієутворююча одиниця  
ЛКП – лактозопозитивна кишкова паличка  
ЛОШ – лімітуюча ознака шкідливості  
МСПВ - Міжнародний стандарт питної води  
НП – нафтопродукти  
ОБРВ - орієнтовно безпечний рівень впливу  
ОДР - орієнтовно допустимий рівень  
ПАР - поверхнево-активні речовини  
ПЕС – показник екологічного стану  
СПАР - синтетичні поверхнево-активні речовини  
ФАР - фотосинтетично активна радіація  
ХСК - хімічні споживання кисню  
LC<sub>50</sub> - середня летальна концентрація  
LD<sub>50</sub> – середня летальна доза

## ВСТУП

Врахування якості природних вод разом з кількісною оцінкою їх ресурсів має велике значення при плануванні водогосподарських та інших заходів. Це обумовлено тим, що в результаті господарської діяльності відбуваються зміни складу і властивостей природних вод під впливом скиду стічних вод, що містять різні мінеральні і органічні сполуки, а також через надходження забруднювальних речовин з сільськогосподарських угідь, зі звалищ промислових і побутових відходів та з атмосфери.

Природні води об'єднують води суші (поверхневі і підземні) та морські води. Ці води використовують для різних потреб: господарсько-питних, комунально-побутових, рибогосподарських, промислових, лікувальних та інших. Крім того, при використанні вод для потреб людини не можна забувати і про охорону живих організмів, які мешкають у воді. Ця спрямованість природоохоронної діяльності є пріоритетною для майбутнього. Для усіх цих видів водокористування та для охорони водних екосистем необхідні води різної якості.

*Якість води* - характеристика складу і властивостей води, яка визначає придатність її для конкретних видів водокористування. Говорячи про якість вод, мають на увазі їх стан.

*Критерії якості води* – це характеристики складу і властивостей води, що визначають придатність її для конкретних видів водокористування. Оскільки за останні 30 років законодавчий світогляд втратив суто антропоцентричну спрямованість, сучасне розуміння нормативів якості навколишнього середовища зв'язується також з забезпеченням сталого функціонування природних екологічних систем та запобіганням їх деградації. Якість води в такому розширеному трактуванні є чільним фактором абіотичного середовища, що визначає стійкість розвитку і ступінь деградації окремих гідробіологічних компонентів екологічної системи.

Про якість вод судять по набору показників. Цей набір показників для різних користувачів може бути різним і залежить він від вимог, які ставить кожен користувач до складу й властивостей вод.

*Показники якості води* - сукупність біологічних, хімічних та фізико-хімічних характеристик води (трофність, сапробність, солоність, жорсткість, водневий показник, концентрації розчинених речовин і т.д.).

Таким чином, *якість природних вод* – це їх стан, представлений набором показників, який відображає потреби користувачів у складі й властивостях вод.

Основне призначення згаданого набору показників – оцінка якості вод. Вимоги, що ставляться різними користувачами до складу і властивостей вод, різні й часом суперечливі. Тому оцінити якість вод

можна тільки для якогось конкретного користувача.

*Оцінка якості природних вод* - визначення їх придатності для практичних цілей; здійснюється на основі державних стандартів і нормативів. За визначенням древнього китайського філософа: «Оцінка – це вибір між корисним і шкідливим». Його висловлення дуже точно передає суть оцінки якості вод. Тому надалі під *оцінкою якості природних вод* можна розуміти висновок щодо їхньої чистоти або забруднення з деякої конкретної позиції (точки зору деякого водокористувача). Вона може бути двобальною чи мати декілька балів (класів, категорій). Двобальна оцінка виконується, наприклад, при визначенні придатності вод для господарсько-питних, комунально-побутових чи рибогосподарських потреб. У цьому випадку вода оцінюється як чиста або брудна; відповідає вимогам розглянутих норм чи не відповідає; придатна для певних потреб чи не придатна.

Якщо оцінка складається з декількох балів (категорій), тоді вона дає характеристику ступеня чистоти або забруднення води, наприклад: дуже чиста, чиста, досить чиста, слабо забруднена, помірно забруднена тощо.

Для оцінки якості вод потрібні не тільки значення показників, але і їх нормативи, які є стандартом якості. Основними стандартами якості є *гранично допустимі концентрації* (ГДК) забруднювальних речовин санітарно-гігієнічні, які входять до складу санітарних норм, і рибогосподарські, які входять до складу рибогосподарських норм. Крім того, стандартами якості є також *орієнтовно безпечні рівні впливу* (ОБРВ), *орієнтовно допустимі рівні* (ОДР) і *середні летальні концентрації* (LC<sub>50</sub>) забруднювальних речовин.

ОБРВ й ОДР речовин вводяться тимчасово до моменту розробки для них ГДК. Середні летальні концентрації використовуються, коли необхідно оцінити допустимий вміст у воді суміші забруднювальних речовин. У цих випадках як критерій виступає 0,01 LC<sub>50</sub>.

Оцінку якості вод можна виконати: 1) методом детального аналізу; 2) методом комплексних індексів (показників); 3) методами біоіндикації й біотестування як *середовища існування живих організмів*.

*Метод детального аналізу* полягає в зіставленні виміряного (розрахованого) значення кожного показника (із усього набору) з його нормативом (ГДК). Оцінка двобальна: якщо хоча б один показник не відповідає нормативу, то вважається, що вода брудна; у протилежному випадку - чиста.

Особливість оцінки якості вод *методом комплексних індексів* полягає в тому, що за всім набором показників (або його частиною) розраховується значення комплексного індексу, і за відповідною шкалою дається словесна узагальнена характеристика води (оцінка має декілька балів).

При реалізації згаданих двох методів найчастіше використовуються

або санітарно-гігієнічні, або рибогосподарські ГДК. Однак залежно від потреб користувача можуть застосовуватися й інші нормативи (екологічні, відомчі, промислові та інші).

Слід зазначити, що сьогодні часто при оцінці екологічного стану водних об'єктів використовують санітарні або рибогосподарські норми якості води. Недолік цього полягає в тому, що при розробці санітарно-гігієнічних нормативів вода розглядається як предмет для задоволення потреб людини, а не як середовище мешкання гідробіонтів, а при розробці рибогосподарських – розглядаються тільки риба та інші види гідробіонтів, які є їжею людини, тобто у тому й іншому разі у першу чергу розглядаються потреби людини та її здоров'я.

У цілому система критеріїв на основі ГДК не враховує *синергізму* (сумарної дії) та *антагонізму* (придушення) забруднювальних речовин. Поза полем зору залишається кумуляція речовин водними організмами, наприклад, водоростями, з найдальшим вивільненням їх під час масового відмирання водоростей. Для більшості речовин немає надійних аналітичних методів контролю. Риба не є найслабшою ланкою у екологічному ланцюзі. Тому сьогодні усе більше мова йде про розробку екологічних ГДК, які враховували би вплив речовини не на окремий організм, а на екосистему в цілому.

Діючі нормативи не дозволяють оцінювати воду як *середовище мешкання* гідробіонтів, для цього використовують біоіндикацію та біотестування. Цими методами якість вод оцінюється за реакцією живих організмів: біоіндикація на основі гідробіологічних спостережень – у природних умовах, біотестування – у лабораторних.

Методи комплексних індексів, біотестування й біоіндикації дають характеристику води в цілому (узагальнено). Інформація щодо окремих показників або з самого початку відсутня, або губиться. Тому з усіх існуючих методів оцінки якості вод основним був і буде залишатися таким метод детального аналізу. Він незамінний, коли для користувача є важливим знання стану вод за конкретними показниками. Вода з узагальненою характеристикою «досить чиста» може виявитися непридатною для купання, пиття або якихось промислових задач за яким-небудь одним дуже важливим показником. Наприклад, «смак» або «запах» – для пиття, «лактозо-позитивні кишкові палички» або «збудники хвороб» – для купання, «жорсткість» – для систем охолодження, «мініералізація» – для поливу та інше.

Крім методів оцінки якості вод існує *система інтегральних показників*, які дозволяють характеризувати стан водних мас в окремих створах і на ділянках водних об'єктів, а також характеризувати зміни якості води в часі і у просторі. Ця система показників розроблена Державним гідрологічним інститутом (ДГІ), вона доповнює основні методи оцінки якості води.



# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ФОРМУВАННЯ

## 1.1 Загальні уявлення про властивості природних вод

В природних водах виявлено переважна більшість хімічних елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва, які знаходяться у вигляді простих іонів ( $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ), складних іонів ( $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ), молекул і колоїдів ( $H_2SiO_3$ ), розчинених газів ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  тощо).

За хімічним складом природні води являють собою складні багатокомпонентні водні розчини. В їх склад входять неорганічні (мінеральні) і органічні речовини, гази, мікроорганізми.

*Неорганічні (мінеральні) речовини.* Розповсюдженість цих речовин в природних водах різна, а тому виділяють макро- та мікрокомпоненти. *Макрокомпоненти* визначають хімічний тип води. Головними елементами природних вод, що мають найбільше розповсюдження є катіоногенні ( $Ca$ ,  $Mg$ ,  $Na$ ,  $K$ ,  $Fe$ ) та аніоногенні ( $Si$ ,  $C$ ,  $S$ ,  $Cl$ ). Стійкість і можливість накопичення в водах даної мінералізації окремих компонентів обумовлюється розчинністю сполук, які утворені головними катіоногенними елементами з головними аніононогенними. У більшості природних вод до *основних аніонів* відносяться  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ , а до *основних катіонів*  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ . Збільшення мінералізації природних вод здійснюється за рахунок появи в розчинах все більш розчинених сполук. Значна частина хімічних елементів (*мікрокомпонентів*) в водах знаходиться в дуже низьких концентраціях (мг/дм<sup>3</sup>, мкг/дм<sup>3</sup>). Вони не визначають хімічний тип води, але можуть визначати специфічні властивості природних вод. Наприклад,  $Fe$ ,  $As$ ,  $B$ ,  $Br$ ,  $I$ ,  $F$  та ін. визначають бальнеологічні властивості природних вод, а вміст  $I$ ,  $Br$ ,  $B$ ,  $Li$ ,  $Rb$ ,  $Sr$ ,  $Cs$ ,  $Ge$ ,  $W$  – промислово цінність вод. Крім того, вміст мікрокомпонентів природного та антропогенного походження має дуже важливе значення при оцінці природних вод господарсько-питного, рибогосподарського, іригаційного та іншого призначення.

Багато металів утворюють досить міцні комплекси з органічними речовинами; ці *металоорганічні комплекси* є однією з найважливіших форм міграції елементів у природних водах. Більшість органічних комплексів утворюються по хелатних циклах і є стійкими. Комплекси, що утворюються ґрунтовими кислотами із солями  $Fe$ ,  $Al$ ,  $Ti$ ,  $U$ ,  $V$ ,  $Cu$ ,  $Mo$  та важких металів, відносно добре розчинені в умовах нейтрального, слабкокислого та слаболужного середовища. Тому металоорганічні комплекси здатні мігрувати в природних водах на досить значні відстані.

Особливо важливо це для маломінералізованих і, в першу чергу, поверхневих вод, в яких утворення інших комплексів неможливо.

*Органічні речовини.* Природні води містять широку гамму органічних сполук всіх хімічних груп (вуглеводи, білки, ліпіди) і класів (вуглеводні, спирти, ефіри, карбонові кислоти, аміни тощо). Загальний вміст органічних речовин визначається величиною органічного вуглецю ( $C_{\text{орг}}$ ) або величиною окислювальності перманганатної, біхроматної (в  $\text{мгО/дм}^3$ ). Підвищені концентрації органічних речовин впливають на значення сухого залишку, тому його значення не завжди об'єктивно відображає вміст мінеральних компонентів. Вміст і закономірності розповсюдження органічних речовин в природних водах залежать від гідрологічних, геолого-гідрогеологічних, термодинамічних, фізико-хімічних та інших умов. Основними джерелами нахождення органічних речовин є гірські породи, ґрунти, поклади горючих копалин, техногенні об'єкти тощо. Частина органічних речовин надходить в готовому вигляді (гумусові речовини, феноли, вуглеводні та ін.), а інша частина є продуктом складних фізико-хімічних і біохімічних процесів. Органічні речовини в тій чи іншій мірі приймають участь в біогеохімічних процесах і обумовлюють якість природних вод. Підвищений вміст бальнеологічно активних органічних речовин в природних водах може обумовлювати їх лікувальні властивості (наприклад, мінеральні води типу «Нафтуса», які пов'язані з породами, збагаченими органічними речовинами нафтового походження), але підвищені концентрації нафтопродуктів, фенолів та інших речовин антропогенного походження негативно відображаються на якості вод господарсько-питного, рибогосподарського та іншого призначення.

*Водорозчинні гази* за походженням поділяються на: 1) повітряні ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $He$ ,  $Ar$ ), які надходять із атмосфери; 2) біохімічні ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $Ar$ ,  $Ne$ ), що утворюються при розкладанні мікробами органічних і мінеральних речовин; 3) хімічні ( $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ), які утворюються при взаємодії води і породи; 4) радіоактивні і ядерних реакцій ( $He$ ,  $Rn$ ). Найбільш хімічно активними є  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2$ . Водорозчинні гази приймають участь у формуванні гідро геохімічних властивостей (наприклад, утворення гідрокарбонатів пов'язано з реакцією  $CO_2 + OH^- \rightarrow HCO_3^-$ ) і обумовлює якість природних вод (рівень аерації, бальнеологічні властивості тощо).

*Мікроорганізми.* В природних водах широко розповсюджені різноманітні мікроорганізми. Аеробні бактерії розвиваються при наявності вільного  $O_2$ , що використовується ними для дихання; анаеробні бактерії необхідний кисень отримують із органічних сполук, які містять кисень (вуглеводи, спирти і ін.) і мінеральних сполук (нітрати, сульфати і ін.). Більшість бактерій розвиваються при значеннях  $pH$  6 - 7,5, але є бактерії, які існують при  $pH$  від 1 до 10. Наприклад, в ґрунтових водах розповсюджені гнилості, сапрофітні, денітрифікуючі, окислюючи фенол,

утворюючи метан тощо. Загальна кількість бактерій від декілька тисяч до млн. клітин на 1 мл води. Кількість бактерій залежить від наявності живильних речовин, у т.ч. органічних речовин. Оптимальні температури складають 50-60°C. Мінералізація і хімічний склад води практично не впливають на життєдіяльність бактерій, які існують при мінералізації від 0,1 мг/дм<sup>3</sup> до 300 г/дм<sup>3</sup> і вище [1]. Деякі бактерії є безпечними для здоров'я людини і навіть приймають участь в бактеріальному очищенні природних вод, але якісні і кількісні характеристики мають дуже важливе значення при оцінці господарсько-питних, мінеральних лікувальних та інших вод. Мінеральні води містять життєдіяльну автохтонну мікрофлору. Мінеральні речовини вод, мікробні ферменти та інші продукти їхнього метаболізму створюють біологічно активний комплекс, що забезпечує водам терапевтичну дію. Істотним фактором вод є антимікробна дія, завдяки якій вони здатні знижувати бактеріурію, запальні явища [2].

Слід зазначити, що саме вміст і склад мінеральних речовин є основним показником оцінки якості вод. Для їх визначення використовують польовий, скорочений і повний типи хімічного аналізу води [3]. Основна форма вираження результатів аналізу води – іонна, тобто вміст того чи іншого іону виражають в г/дм<sup>3</sup> або мг/дм<sup>3</sup>, а для мінералізованих вод і розсолів іноді в г/кг. Однак для повної характеристики властивостей води поряд з іонної формою використовується міліграм-еквівалента (мг-екв) форма вираження результатів аналізу води, яка найбільш повно відображає хімічну природу мінеральних компонентів води. Перерахунок даних аналізу мг/дм<sup>3</sup> в мг-екв здійснюється шляхом поділу кількості окремого іону в мг/дм<sup>3</sup> на його еквівалентну масу (частку від ділення іонної маси на її валентність); при цьому перед символом іону звичайно ставиться *r* (реагуюча величина). Сума мг-екв для аніонів і катіонів повинна бути однаковою, оскільки кожному еквіваленту катіону відповідає еквівалент аніону. При порівнянні результатів аналізу вод різної мінералізації для отримання пропорціональних значень кількість міліграм-еквівалентів перераховують в відсоток-еквіваленти (%-екв). Таким чином, сума мг-екв, отримана при аналізі для катіонів і аніонів, кожна окремо приймається за 100% та визначається частка (%) кожного іону (табл. 1.1).

Різноманітність хімічного складу природних вод обумовлює необхідність систематизації і класифікації. Для цього використовуються формула хімічного складу Курлова, різні графічні методи, а також кілька десятків класифікацій [4].

Формула води М. Курлова (1921) запропонована для зображення даних про хімічний склад природних вод. Ця формула має вигляд псевдодробу, у чисельнику якого записують аніони у порядку зменшення їх кількості (в %), в знаменнику – тим же чином записуються катіони. Значення у відсотках щодо аніонів і катіонів округляються до цілих

Таблиця 1.1 - Результати хімічного аналізу води

Іони	мг/дм <sup>3</sup>	мг-екв	%-екв
$Ca^{2+}$	95,5	4,75	44,86
$Mg^{2+}$	42,4	3,48	32,86
$K^+$	15,5	0,40	3,78
$Na^+$	45,1	1,96	18,50
<b>Сума катіонів</b>	<b>198,3</b>	<b>10,59</b>	<b>100</b>
$SO_4^{2-}$	18,9	0,39	3,68
$Cl^-$	3,2	0,09	0,84
$HCO_3^-$	617,0	10,11	95,48
<b>Сума аніонів</b>	<b>639,1</b>	<b>10,59</b>	<b>100</b>
$H_2SiO_3$	77,5	-	-
<b>Мінералізація</b>	<b>914,9</b>	-	-

чисел. Ліворуч від дробу дається загальна мінералізація води. Поряд вказують вміст газів і мікроелементів. Справа від дробу надається температура води і дебіт води. Наприклад, результати хімічного аналізу (див. табл. 1.1) можна представити таким чином:

$$M_{1,0} = \frac{HCO_3 95 SO_4 4 Cl}{Ca 44 Mg 32 Na 18} \quad (1.1)$$

Назва води за формулою Курлова: прісна, хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатна натрієво-магнієво-кальцієва. Для зручності в назві води за хімічним складом можна обмежуватися лише тими іонами, частка яких складає не менш 10%-екв. або 25%-екв. У даному випадку назва буде скорчена: прісна, гідрокарбонатна натрієво-магнієво-кальцієва або прісна, гідрокарбонатна магнієво-кальцієва.

Широко відомі класифікації вод за ступенем мінералізації В.І. Вернадського (1933-1936), І.К. Зайцева (1945; 1972), А.В. Щербакова (1962), Є.В. Піннекера (1966) та ін. В.І. Вернадський виділив наступні класи вод: прісні - <1 г/л, солоні - 1-50 г/л, розсоли - > 50 г/л. Пізніше (1933-1936) ним був додатково виділений клас солонуватих вод зі ступенем мінералізації 1-10 г/л. Класифікація В.І. Вернадського до цих пір широко використовується. Деякими дослідниками в неї були внесені окремі доповнення. У 1948 р. О.А. Алексін запропонував систематизувати підземні води наступним чином: а) прісні - до 1 г/кг; б) солонуваті - 1-25 г/кг; в) морської солоності - 25-50 г/кг; г) солоні - > 50 г/кг. Згідно Венеціанської системи [5], всі природні води поділяються на прісні (солоність до 0,5 ‰), мікогалінні, або солонуваті (0,5-30 ‰), олігогалінні (0,5-4 ‰), мезогалінні (5-18 ‰), полігалінні (18-30 ‰), еугалінні або морські (30-40 ‰), гіпергалінні або пересолені (більше 40 ‰). Відповідно до ГОСТ 13273-73 «Води мінеральні, питні лікувальні та лікувально-

столові», водойми з вмістом природних солей до 1 г/л відносять до прісних вод, від 2 до 5 г/л - до мінералізованих, а від 10 до 35 г/л - до високомінералізованих. Згідно з ГОСТ 17403-72 природні води за ступенем мінералізації поділяються на прісні (до 1 г/кг), солонуваті (до 1-25 г/кг), солоні (до 25-25 г/кг<sup>3</sup>) та розсоли (> 50 г/кг). В свою чергу розсоли за І.К. Зайцевим поділяються на дуже слабкі (35-70 г/кг), слабкі (70-140 г/кг), міцні (140-270 г/кг), дуже міцні (270-350 г/кг) та надмірно міцні (> 350 г/кг).

Отже, граничні величини мінералізації вод одних і тих же класифікаційних категорій в класифікаціях різних авторів часто неоднакові. Загальноприйнятою є тільки величину мінералізації, що характеризує верхню межу прісних вод, тобто 1 г/л (г/дм<sup>3</sup>); вона обов'язково присутня у всіх класифікаціях. Для солонуватих вод за верхню межу ступеня мінералізації, перехідну до солених, приймається частіше всего величина 10 г/л; але зустрічаються величини 35 г/л (у класифікації М.Г. Валяшка); 25 г/кг (у О.А. Алекіна); 35 г/кг (у І.К. Зайцева). Для солоних вод за верхню межу ступені мінералізації приймаються у багатьох класифікаціях величини 35 і 50 г/л; зустрічаються величини 35 і 50 г/кг. Розсоли діляться на групи вод зі ступенем мінералізації 270, 320, 500 г/л.

У класифікаціях різних авторів величина ступеня мінералізація виражена в різних одиницях; найчастіше в г/л, рідше - у г/кг і ще рідше - у величинах питомої ваги води і в градусах Боме. Як правило, в кожній окремій класифікації ступінь мінералізації виражена в будь-якій одній формі, але в класифікаціях І.К. Зайцева та Є.В. Піннекера - у декількох. Найбільш поширеною формою вираження мінералізації є г/л або г/дм<sup>3</sup>.

В.К. Хільчевський та ін. [6] запропонували класифікацію природних вод за мінералізацією, яка базується, в першу чергу, на практичних вимогах до використання води: *дуже прісні* < 0,1 г/дм<sup>3</sup>; *помірно прісні* - 0,1-0,6 г/дм<sup>3</sup>; *прісні з підвищеною мінералізацією* - 0,6-1,0 г/дм<sup>3</sup>; *слабосолоні* - 1,0-3,0 г/дм<sup>3</sup>; *середньосолоні* - 3,0-15,0 г/дм<sup>3</sup>; *солоні* - 15-35 г/дм<sup>3</sup>; *сильно солоні* - 35-50 г/дм<sup>3</sup>; *розсоли* > 50 г/дм<sup>3</sup>. Так, виділення *дуже прісних вод* (< 0,1 г/дм<sup>3</sup>) пов'язане з тим, що маломінералізована вода (особливо з мінералізацією < 100 мг/дм<sup>3</sup>) суттєво погіршує якість питної води у фізіологічному відношенні. А вода без солей взагалі вважається шкідливою, оскільки вона знижує осмотичний тиск всередині клітини. Особливо це стосується районів, де використовують воду від танення льодовиків. Така вода відзначається низькою мінералізацією та дефіцитом кальцію. Зазначена ситуація є загальною гігієнічною проблемою, тому необхідне збагачення такої питної води мінеральними солями. Виділення у цій класифікації *помірно прісних вод* (0,1-0,6 г/дм<sup>3</sup>) і *прісних з підвищеною мінералізацією* (0,6-1,0 г/дм<sup>3</sup>) зумовлене тим, що за сучасними гігієнічними вимогами при межі мінералізації для питної води 1 г/дм<sup>3</sup> оптимальним вважається інтервал 0,15-0,6 г/дм<sup>3</sup> (згідно з вимогами ВООЗ до води вищої

питної якості). Державними санітарними правилами і нормами (ДСанПіН 383-96) Мінохорони здоров'я України “Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого водопостачання”, введеними в дію з 01.01.2000 р., за фізіологічною повноцінністю мінерального складу рекомендується споживати питну воду з мінералізацією 100 - 1000 мг/дм<sup>3</sup>.

За певних екстремальних умов та у посушливих районах із дефіцитом прісної води може допускатися споживання питної води з більш високою мінералізацією – *слабосоленої* (до 3 г/дм<sup>3</sup>). При цьому допустимою вважається мінералізація 2,0-2,5 г/дм<sup>3</sup>, граничною – 2,5-3,0 г/дм<sup>3</sup>. До градації *середньосолоних вод* (3,0-15,0 г/дм<sup>3</sup>) входять, в першу чергу, мінеральні води, які придатні для внутрішнього вживання за рекомендацією лікаря. *Солоні води* (15-35 г/дм<sup>3</sup>) – це морські води та мінеральні лікувальні води з мінералізацією, оптимальною для зовнішнього застосування. *Сильно солоні води* (35-50 г/дм<sup>3</sup>) – це, в першу чергу, води морів, солоність яких перевищує середню солоність вод Світового океану. *Розсоли* – природні води з мінералізацією понад 50 г/дм<sup>3</sup>. Природні розсоли зустрічаються як у поверхневих водоймах, так і серед підземних вод. Як правило, вони характеризуються хлоридно-натрієвим, хлоридно-кальцієво-натрієвим або хлоридно-кальцієвим складом і є зміненими водами морського походження. Формуються внаслідок посиленого випаровування води з поверхні водних об'єктів і внаслідок вилугування соляних покладів поверхневими або підземними водами.

Ця класифікація природних вод за мінералізацією може застосовуватись як при теоретичних гідрохімічних дослідженнях, так і при виконанні прикладних гідрохімічних і гідроекологічних досліджень, пов'язаних з оцінкою якості природних вод для їх використання в різних цілях.

Мінералізація вод коливається від часток мікрограмів до декількох сотень грамів на 1 дм<sup>3</sup>. Наприклад, максимально достовірна мінералізація пластових підземних вод досягає 640 г/дм<sup>3</sup> [7].

Між мінералізацією води і її хімічним складом існує такий зв'язок: у воді невисокої мінералізації переважають іони  $\text{HCO}_3^-$  і  $\text{Ca}^{2+}$ , а у воді високої мінералізації  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  і  $\text{Ca}^{2+}$ ; іони  $\text{Mg}^{2+}$  і  $\text{SO}_4^{2-}$  більш характерні для води, яка займає проміжне за мінералізацією положення між невисокою і високою мінералізацією. Залежність між складом і мінералізацією води можна відобразити наступним чином: *збільшення мінералізації* -  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ; *зменшення мінералізації* -  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$  ( $\text{Ca}^{2+}$ ) [8].

Особливості хімічного складу природних вод різної мінералізації, закономірності формування їх гідрогеохімічного вигляду розглянуті в багатьох роботах [1, 5, 8 – 10].

Найбільш відома класифікація О.А. Алекіна [5], яка поєднує принцип розподілу за переважаючими іонами та співвідношення поміж

ними. Вона охоплює природні води з мінералізацією до 50 г/дм<sup>3</sup>, тобто поширюється на континентальні і океанічні води. За основу взято шість головних іонів, вміст яких виражено в мг-екв. За переважаючим аніоном всі природні води поділяють на 3 класи: 1) *гідрокарбонатний* та *карбонатний* ( $rHCO_3^- + rCO_3^{2-}$ )-*C* (більша частина маломінералізованих вод річок, прісних озер, деяких озер з підвищеним вмістом  $CO_3^{2-}$ , деякі підземні води); 2) *сульфатний* ( $rSO_4^{2-}$ )-*S* (перехідний між гідрокарбонатним і хлоридним класами); 3) *хлоридний* ( $rCl^-$ )-*Cl* (мінералізовані води морів, лиманів, реліктових і материкових озер, пластових підземних вод закритих структур тощо). За переважаючим катіоном серед кожного класу (*C, S, Cl*) виділяється 3 групи: 1) кальцієва ( $rCa^{2+}$ )-*Ca*; 2) магнієва ( $rMg^{2+}$ )-*Mg*; 3) натрієва ( $rNa^+ + rK^+$ )-*Na*. Кожна група (*Ca, Mg, Na*) підрозділяється на 3 типи за співвідношенням поміж іонами:  $C \rightarrow Ca (I, II, III) + Mg (I, II, III) + Na (I, II, III)$ ;  $S \rightarrow Ca (IV, II, III) + Mg (IV, II, III) + Na (I, II, III)$ ;  $Cl \rightarrow Ca (IV, II, III) + Mg (IV, II, III)$ . Всього виділяють 4 типи природних вод:

**I тип** ( $rHCO_3^- > (rCa^{2+} + rMg^{2+})$ ) – слабо мінералізовані води, виняток складають води безстічних озер, утворюються в процесі хімічного вилуговування вивержених порід або при обмінних процесах  $Ca^{2+}$  та  $Mg^{2+}$  на  $Na^+$ .

**II тип** ( $rHCO_3^- < (rCa^{2+} + rMg^{2+}) < (rHCO_3^- + rSO_4^{2-})$ ) – змішані, їх склад може бути пов'язаний генетично як з осадовими гірськими породами, так і з продуктами вивітрювання вивержених порід, підземні води, а також води річок і озер з малої і середньої мінералізацією.

**III тип** ( $rHCO_3^- + rSO_4^{2-} < (rCa^{2+} + rMg^{2+})$  або  $rCl^- > rNa^+$ ) – сильно мінералізовані води, змішані і метаморфізовані (води океанів, морів, лиманів, реліктових водойм).

**IV тип** ( $HCO_3^- = 0$ ) – води цього типу є лише в сульфатному (*S*) і хлоридному (*Cl*) класах, групах **Ca і Mg**, де немає I типу; належать кислі води - болотні, шахтні, вулканічні або води, що дуже забруднені промисловими стічними водами.

Таким чином, для короткого позначення 27 видів природних вод застосовуються символи; клас позначається символом, що виведений із назви відповідного аніона (*C, S, Cl*), а група - своїм хімічним символом (*Ca, Mg, Na*), який проставляється у вигляді степені до символу класу; належність до типу означає римська цифра (**I, II, III, IV**). Отже, символи пишуться таким чином:  $C_{II}^{Ca}$  (гідрокарбонатний клас, група кальцію, тип II). Крім того, для кількісної характеристики додається мінералізація води (внизу з точністю до 0,1 ‰) та загальної жорсткості в перерахунку на молярну концентрацію речовини еквівалентів (зверху з точністю до цілих мілімолей в 1 дм<sup>3</sup>); напр.,  $C_{II,0,4}^{Ca5}$  означає, що вода гідрокарбонатного класу, групи кальцію, типу II з мінералізацією 0,4 г/дм<sup>3</sup> та жорсткістю 5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

## 1.2 Особливості формування якості природних вод

Хімічний склад природної води визначає попередня його історія, тобто шлях води в процесі свого кругообігу. Кількість розчинених речовин в такій воді залежить, з одного боку, від складу тих речовин, з якими вона контактувала, з іншого - від умов, в яких відбувалися ці взаємодії. Впливати на хімічний склад води можуть наступні фактори: гірські породи, ґрунти, живі організми, діяльність людини, клімат, рельєф, водний режим, рослинність, гідрогеологічні та гідродинамічні умови тощо.

Розглянемо лише деякі фактори, що впливають на склад води.

Ґрунтовий розчин та атмосферні опади, що фільтруються через ґрунти, здатні посилювати розчинення порід і мінералів. Це одне з найважливіших властивостей ґрунту, яка впливає на формування складу природних вод, є результатом збільшення концентрації  $CO_2$  в ґрунтовому розчині, що виділяється при диханні живих організмів і кореневої системи в ґрунтах і біохімічному розпаду органічних речовин. Внаслідок цього концентрація  $CO_2$  в ґрунтовому повітрі зростає від 0,033% (властивого для атмосферного повітря) до 1% і більше в ґрунтовому повітрі. Наприклад, у важких глинистих ґрунтах концентрація  $CO_2$  в ґрунтовому повітрі досягає іноді 5-10%, надаючи тим самим розчину сильну агресивну дію по відношенню до порід. Іншим чинником, що підсилює агресивну дію води, що інфільтрується через ґрунти, є органічна речовина - ґрунтовий гумус, що утворюється при трансформації рослинних залишків. У складі гумусу в якості активних реагентів перш за все слід назвати гумінові та фульвокислоти і більш прості сполуки, наприклад, органічні кислоти (лимонна, щавлева, оцтова, яблучна тощо), аміни і т.п. Ґрунтовий розчин, збагачуючись органічними кислотами і  $CO_2$ , у багато разів прискорює хімічне вивітрювання алюмосилікатів, що містяться в ґрунтах. Аналогічно вода, що фільтрується через ґрунти, прискорює хімічне вивітрювання алюмосилікатів і карбонатних порід, що підстилають ґрунти. Вапняк легко утворює розчинний (до 1,6 г/дм<sup>3</sup>) гідрокарбонат кальцію:  $CaCO_3 + H_2O + CO_2 \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2$ . Коли карбонатні породи (вапняки, доломіти) залягають досить близько до поверхні, то річкова вода звичайно містить переважно гідрокарбонати кальцію і магнію.

Солі потрапляють у водні об'єкти і в результаті діяльності людини. Так, хлоридами натрію і кальцію взимку посипають дороги, щоб розтоплювати лід. Навесні разом з талою водою хлориди стікають у річки. У річках, на яких стоять великі міста, ця частка набагато більше.

Рельєф місцевості побічно впливає на склад води, сприяючи вимивання солей з товщі порід. Глибина ерозійного врізу річки полегшує надходження в річку більш мінералізованих підземних вод. Цьому ж



сприяють і інші види депресій (річкові долини, балки, яри), які поліпшують дренавання водозбору.

Кліматичні умови створюють загальний фон, на якому відбувається більшість процесів, що впливають на формування хімічного складу природних вод. Кліматичні умови насамперед визначають баланс тепла і вологи, від якого залежить зволоженість місцевості і обсяг водного стоку, а отже, і розведення або концентрування природних розчинів і можливість розчинення речовин або випадання їх в осад.

Величезний вплив на хімічний склад води та його зміну з плином часу надають джерела живлення водного об'єкта та їх співвідношення. В період танення снігу вода в річках, озерах і водосховищах має більш низьку мінералізацію, ніж у період, коли більша частина живлення здійснюється за рахунок ґрунтових та інших підземних вод. Ця обставина використовуються при регулюванні наповнення водосховищ і скидання з них води. Як правило, водосховища наповнюються в період весняного водопілля, коли припливна вода має меншу мінералізацію.

Формування хімічного складу природних вод є результатом вилуговування, випаровування, іонного обміну, поглинання і виділення газів, життєдіяльності організмів та інших фізико-хімічних процесів взаємодії вод з гірськими породами, ґрунтами і газами. Здатність до розчинення і вилуговування і рухливість природних вод обумовлюють їх важливу роль в геохімічних процесах в біосфері.

Значну роль в визначенні властивостей природних вод мають концентрація іонів водню ( $pH$ ) та окислювально-відновлювальний потенціал ( $Eh$ ), які обумовлюють можливість наявності в воді хімічних елементів в тих або інших сполуках.

Концентрація  $[H^+]$  в природних водах невелика, але її значення велике. Вона дозволяє визначати форми стану у воді вуглецевої, кремнієвої, сірководневої і фосфорної кислот, насиченість води слабкими основами; з'ясувати умови розвитку біологічних і хімічних процесів. Концентрація  $[H^+]$  залежить від температури води, ступеня її мінералізації, характеру розчинених в ній речовин, від співвідношення кількості вугільної кислоти та  $HCO_3^-$  та  $CO_3^{2-}$ , дисоціації органічних кислот. У водах, які мають нейтральну реакцію,  $pH$  дорівнює 7, при кислій реакції  $pH$  менше 7, при лужній більше 7. За стандартну температуру при експериментальних визначеннях  $pH$  приймають  $18^\circ C$ , при якій нейтральна вода має  $pH = 7,07$ .

Величина  $Eh$  показує інтенсивність окислювальної чи відновлюваної дії системи і, таким чином, дає уявлення про природні умови формування підземних вод. Наприклад, для вод, які, без сумніву, мають лікувальний ефект, характерні від'ємні значення  $Eh$ , що вказує на розвиток в них анаеробних процесів бактеріального руйнування органічної речовини, особливо процесу сульфатредукції, який обумовлює появу у воді

сірководню. Води, які характеризуються слабкими лікувальними властивостями, мають позитивне значення  $Eh$  (близько 100-300 мВ). Це вказує на те, що ці води формуються в перехідних окисно-відновних умовах. Проведеними дослідженнями встановлений тісний зв'язок між величиною  $Eh$  вод і концентрацією в них  $H_2S$  і  $O_2$ . При вмісті  $H_2S$  більше  $0,1 \text{ мг/дм}^3$   $Eh$  води завжди має негативне значення. Однак у зв'язку з невисоким вмістом  $H_2S$  у воді значенні  $Eh$  не бувають нижчими 40 мВ. Якщо у воді є сліди  $H_2S$  і вміст  $O_2$  сягає десятих часток  $\text{мг/дм}^3$ , то  $Eh$  змінюється від 200 до 100 мВ, іноді знижується до +40 мВ. Окисно-відновний потенціал розчинів, які містять кисню більше  $1 \text{ мг/дм}^3$  (сірководень відсутній), становить 445-300 мВ, рідше 250 мВ [11].

### **1.2.1 Гідралічні процеси.**

На формування якості води у водному об'єкті впливають зовнішні (алохтонні) і внутрішні (автохтонні) процеси. Потрапляння речовини, живих організмів та енергії природного і антропогенного походження за рахунок обміну з атмосферою, ложем і берегами, а також надходження з стічними водами - все це зовнішні процеси. До внутрішніх відносяться процеси розповсюдження і видалення речовини.

Характер переносу речовини потоком залежить від виду руху рідини, що у свою чергу визначається типом водного об'єкта і його гідралічних характеристик. У водотоках істотну роль у формуванні якості води відіграє адвективний перенос. Для водойм цей процес характерний тільки при наявності яскраво виражених стокових течій (водоймища, проточні озера). У цьому випадку хід внутрішньоводоймових процесів багато в чому визначається ступенем проточності водойми. Кількісною характеристикою ступеня проточності є час водообміну, тобто період, за який відбувається повна заміна води водойми водами, які надходять із зовні.

Реальні водотоки є безнапірними турбулентними потоками. Характерною рисою турбулентного режиму течії є пульсація швидкостей, тобто безупинна їхня зміна в кожній точці потоку за величиною і напрямком. Пульсаційний рух обумовлює обмін між сусідніми шарами рідини. Цей процес одержав назву турбулентного перемішування. Турбулентне перемішування завжди спрямоване на вирівнювання концентрацій чи температур. Оскільки цей процес за своїм результатом аналогічний процесу молекулярної дифузії, то турбулентне перемішування називають також турбулентною дифузією. Від молекулярної дифузії цей процес відрізняється природою (джерело молекулярної дифузії – тепловий рух молекул, а турбулентної – пульсації швидкостей) і масштабом (масштаб молекулярної дифузії порядку  $10^{-8}$  м).

Турбулентна дифузія приводить до перемішування забруднених струменів рідини із суміжними, більш чистими. Результатом цього процесу є розводження стічних вод основним потоком. Розводження діє однаково

як на консервативні, так і на неконсервативні речовини, інтенсивність і характер перемішування стічних вод з водою водних об'єктів залежить від гідравлічних характеристик водного об'єкта, кількості і способу надходження стічних вод. Спосіб надходження стічних вод визначається типом випуску.

Найменш ефективними з погляду розводження є берегові випуски. Більш ефективні руслові випуски. Вони являють собою трубопроводи, виведені безпосередньо в русло в місцях найбільш інтенсивної течії. Трубопровід закінчується одним чи декількома випусками. Найбільш ефективним типом руслового випуску є розсіювальний випуск.

Для кількісної оцінки процесу розводження використовують різні методи. До числа найбільш використовуваних відносяться метод Фролова–Родзіллера – для водотоків, метод Руффеля – для водойм і метод Караушева, що має універсальний характер.

### ***1.2.2 Фізичні процеси.***

*Газообмін на межі розділу «атмосфера-вода».* Завдяки цьому процесу здійснюється надходження у водний об'єкт речовин, що мають резервний фонд в атмосфері [12], і повернення цих речовин з водного об'єкта в резервний фонд. Одним з важливих окремих випадків газообміну є процес атмосферної реаерації, завдяки якому відбувається надходження у водний об'єкт значної частини кисню. Інтенсивність і напрямок газообміну визначаються відхиленням концентрації газу у воді від концентрації насичення  $C_H$ . Величина концентрації насичення залежить від природи речовини і фізичних умов у водному об'єкті – температури і тиску. При концентраціях, більших ніж  $C_H$ , газ звітряється в атмосферу, а при концентраціях, менших за  $C_H$ , газ поглинається водною масою.

*Сорбція* – поглинання домішок завислими речовинами, донними відкладами і поверхнями тіл гідробіонтів [12]. Найбільш енергійно сорбуються колоїдні частинки й органічні речовини, що знаходяться в недисоційованому молекулярному стані. В основі процесу лежить явище адсорбції. Швидкість нагромадження речовини в одиниці маси сорбенту пропорційна його ненасиченості цією речовиною і концентрації речовини у воді і обернено пропорційна вмісту речовини в сорбенті. Прикладами нормованих речовин, підданих сорбції, є важкі метали і СПАР.

*Осадження і скаламучування.* Водні об'єкти завжди містять деяку кількість завислих речовин неорганічного й органічного походження. Осадження характеризується здатністю завислих частинок випадати на дно під дією сили тяжіння. Процес переходу частинок з донних відкладів у завислий стан називається змулюванням. Він відбувається під дією вертикальної складової швидкості турбулентного потоку.

### **1.2.3 Хімічні процеси.**

*Фотоліз* – перетворення молекул речовини під дією світла, що поглинається ними. Окремими випадками фотолізу є фотохімічна дисоціація – перетворення молекул на іони. Із загальної кількості сонячної радіації близько 1% використовується у фотосинтезі, від 5% до 30% відбивається водною поверхнею. Основна ж частина сонячної енергії перетворюється на тепло і бере участь у фотохімічних реакціях. Найбільш діючою частиною сонячного світла є ультрафіолетове випромінювання. Ультрафіолетове випромінювання поглинається в шарі води товщиною близько 10 см, однак, завдяки турбулентному перемішуванню може проникати й у більш глибокі шари водних об'єктів. Кількість речовини, яка зазнає дії фотолізу, залежить від виду речовини і її концентрації у воді. З речовин, що надходять у водні об'єкти, відносно швидкому фотохімічному розкладанню піддаються гумусові речовини.

*Гідроліз* – реакція іонного обміну між різними речовинами і водою. Гідроліз є одним з головних факторів хімічного перетворення речовини у водних об'єктах. Кількісною характеристикою цього процесу є ступінь гідролізу, під яким розуміють відношення гідролізованої частини молекул до загальної концентрації солі. Для більшості солей вона складає кілька відсотків і підвищується зі збільшенням розведення і температури води. Гідролізу піддаються й органічні речовини. При цьому гідролітичне розщеплення найчастіше відбувається по зв'язку атома вуглецю з іншими атомами.

### **1.2.4 Біохімічні процеси.**

Біохімічне самоочищення є наслідком трансформації речовин, здійснюваної гідробіонтами. Як правило, біохімічні механізми дають основний внесок у процес самоочищення і тільки при гнобленні водних організмів (наприклад, під дією токсикантів) більш істотну роль починають відігравати фізико-хімічні процеси. Біохімічна трансформація речовин відбувається в результаті їхнього включення в трофічні мережі і здійснюється в ході процесів продукції і деструкції [12].

Особливо важливу роль відіграє первинна продукція, тому що вона визначає більшість внутрішньоводоймових процесів. Основним механізмом новоутворення органічної речовини є фотосинтез. У більшості водних екосистем ключовим первинним продуцентом є фітопланктон. У процесі фотосинтезу енергія Сонця безпосередньо трансформується в біомасу. Побічним продуктом цієї реакції є вільний кисень, утворений за рахунок фотолізу води. Поряд з фотосинтезом у рослинах відбуваються процеси дихання з витратою кисню.

Автотрофна продукція і гетеротрофна деструкція – дві найважливіші сторони перетворення речовини й енергії у водних екосистемах. Характер і інтенсивність продукційно-деструкційних процесів і, отже, механізм

біохімічного самоочищення визначаються структурою конкретної екосистеми. Тому вони можуть істотно розрізнятися в різних водних об'єктах. Більш того, у межах одного водного об'єкта існують різні зони життя (екологічні зони), які відрізняються угрупованнями організмів, що їх населяють. Ці відмінності обумовлені зміною умов існування при переході від поверхні до глибини і від прибережних зон до відкритих частин.

У водотоках через інтенсивне перемішування і невеликі глибини вертикальна зональність не виражена. По живому перерізу потоку розрізняють рипаль – прибережну зону і медіаль – відкриту зону, що відповідає стрижню річки. Для рипалі характерні невисокі швидкості течії, зарослі макрофітів, високі значення кількісного розвитку гідробіонтів. У медіалі швидкості руху води вищі, кількісний розвиток гідробіонтів нижчий. По подовжньому профілю розрізняють зони плесів і зони перекатів. У зоні плесів, що характеризуються уповільненою течією, кількість гідробіонтів більша, але їх видова різноманітність бідніша. Для перекатів характерна зворотна картина.

Комплекси екологічних умов позначаються на процесах самоочищення у водотоках. Для уповільнених течій характерні сприятливі умови для фотосинтезу, інтенсивні процеси трансформації речовин, процеси осадження. Для зон з підвищеними швидкостями характерні інтенсивні процеси перемішування, газообміну і деструкції речовин.

У водоймах екологічна зональність виявляється виразніше, чим у водотоках. У водоймах по горизонтальному профілю виділяють літораль – зону прибережного мілководдя і пелагіаль (лімнічна зона) – зону відкритої води. У глибоких водоймах у водній масі пелагіалі по вертикалі виділяють три зони – епілімніон, металімніон і гіполімніон. Металімніон чи термоклин є зоною, яка розділяє епілімніон і гіполімніон. Він характеризується різким зниженням температури води (1 °C на 1 м глибини). Вище металімніона розташований епілімніон. Для епілімніона характерна перевага продукційних процесів. Зі збільшенням глибини в міру зниження фотосинтетично активної радіації (ФАР) відбувається зменшення інтенсивності фотосинтезу. Глибина, при якій продукція стає рівною деструкції, називається компенсаційним обрієм. Вище від нього розташовується трофогенна зона, де переважають продукційні процеси, а нижче – торфолітична, де переважають процеси дихання і розкладу. Трофогенна зона знаходиться в епілімніоні, а трофолітична, як правило, охоплює металімніон і гіполімніон.

У придонній зоні водойм, крім літоралі, виділяють профундаль – глибоководну частину, що приблизно збігається з частиною ложа водойми, заповненою водами гіполімніона.

Таким чином, у водоймах можна виділити зони з перевагою фотосинтетичної продукції і зони, де йдуть тільки процеси деструкції речовин. У гіполімніоні, особливо в зимовий і літній періоди, часто

спостерігаються анаеробні умови, що знижує інтенсивність процесів самоочищення. Навпаки, у літоралі температурний і кисневий режими сприятливі для інтенсивного протікання процесів самоочищення.

### **1.2.5 Процеси евтрофування.**

*Евтрофування (евтрофікація)* – підвищення рівня первинної продукції (фітопланктону) водних об'єктів завдяки збільшення в них концентрації біогенних елементів під впливом антропогенних або природних факторів. Евтрофуванню піддаються практично будь-які водні об'єкти, однак, найбільш яскраво воно виявляється у водоймах. Евтрофування водойм є природним процесом, його розвиток оцінюється геологічним масштабом часу. В результаті антропогенного надходження біогенних речовин у водні об'єкти відбулося різке прискорення евтрофування. Результатом цього процесу, а саме антропогенного евтрофування, є зменшення часового масштабу евтрофування від тисяч років до десятиліть. Особливо інтенсивно процеси евтрофування протікають на урбанізованих територіях, що стало однією з найбільш характерних ознак, властивих міським водним об'єктам.

Трофність водного об'єкта відповідає рівню надходження органічної речовини чи рівню її продукування в одиницю часу і, таким чином, є вираженням сумарної дії органічної речовини, що утворилась при фотосинтезі і надійшла ззовні. За рівнем трофності виділяють два крайніх типи водних об'єктів – оліготрофні і евтрофні. Основні відмінності цих двох типів водних об'єктів наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристики оліготрофної і евтрофної водойм

Характеристика	Стан водойми	
	оліготрофний	евтрофний
Фізико-хімічні характеристики		
Концентрація $O_2$ в гіполімніоні	Висока	Низька
Концентрація біогенних елементів	Низька	Висока
Концентрація завислих речовин	Низька	Висока
Проникнення світла	Гарне	Погане
Глибина	Велика	Невелика
Біологічні характеристики		
Продуктивність	Низька	Висока
Різноманітність видів гідробіонтів	Невелика	Велика
Фітопланктон: біомаса добові міграції цвітіння характерні групи	Невелика Інтенсивні Нечасте Діатомові, зелені водорості	Велика Обмежені Часте Зелені, синьо-зелені водорості

Основним механізмом природного процесу евтрофування є замулювання водойм. Антропогенне евтрофування відбувається через надходження у воду надлишкової кількості біогенних елементів, як результат господарської діяльності. Високий вміст біогенів стимулює автотрофну гіперпродукцію органічної речовини. Результатом цього процесу є цвітіння води внаслідок надмірного розвитку альгофлори. Серед біогенних елементів, що надходять у воду, найбільший вплив на процеси евтрофування надають фосфор і азот, оскільки їхній вміст і співвідношення регулює швидкість первинного продукування. Інші біогенні елементи, як правило, містяться у воді в достатніх кількостях і не впливають на процеси евтрофування. Для озер лімітуючим елементом найчастіше є фосфор, а для водотоків – азот.

Віднесення водного об'єкта до певного рівня трофності здійснюється за надходженням органічної речовини. Оскільки зазначений параметр на практиці контролювати складно, як індикатори трофічного рівня використовують інші характеристики водної екосистеми, тісно пов'язані з трофічним станом водойми. Ці характеристики називають індикаторними. Найчастіше в сучасній практиці як індикатори використовують величини надходження біогенних речовин, концентрації біогенних речовин у водному об'єкті, швидкість виснаження кисню в гіполімніоні, прозорість води, біомасу фітопланктону. Фітопланктон є основним первинним продуцентом у більшості водних екосистем. Тому екологічний стан більшості водойм визначається фітопланктоном і залежить від ряду фізичних, хімічних і біологічних факторів середовища мешкання.

### ***Питання для самоконтролю:***

1. Які типові неорганічні речовини входять до складу природних вод?
2. Що являє собою група органічних речовин у складі природних вод?
3. Як визначається назва води за допомогою формули М. Курлова?
4. Які існують класифікації вод за ступенем мінералізації?
5. Які принципи класифікації природних вод О.А. Алекіна ?
6. У чому полягає роль гідравлічних процесів у формуванні якості природних вод?
7. У чому полягає роль фізичних процесів у формуванні якості природних вод?
8. У чому полягає роль хімічних та біохімічних процесів у формуванні якості природних вод?
9. Яка роль процесів евтрофування у формуванні якості природних вод?

## 2 ПОКАЗНИКИ І НОРМАТИВИ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД

### 2.1 Основні показники якості природних вод

Якість природних вод (властивості і склад, у цілому стан) задається показниками. Це може бути один показник або цілий набір показників.

Набір показників за їх особливостями можна поділити на різні групи. По тому, що характеризують показники, вони можуть бути: 1) *загальними і специфічними*; 2) *фізичними, хімічними та біологічними*; 3) *простими, груповими та комплексними*.

За призначенням показники можна поділити на *основні і додаткові, лімітуючі (нормовані) і репрезентативні*.

Крім того, по тому, як показники характеризують водне середовище, вони можуть бути *кількісними, якісними та змішаними*.

*Кількісні* показники (абсолютні та відносні, розмірні та безрозмірні) чисельно характеризують склад і властивості води. Концентрація речовини у воді – це як правило абсолютний (розмірний) показник. Частіше за все він має розмірність  $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{г/м}^3$ , рідше –  $\text{мкг/дм}^3$ ,  $\text{нг/дм}^3$ . Кількість плаваючих домішок, у тому числі нафтових плівок і агрегатів (грудочок) характеризують концентрацією з розмірністю  $\text{мг/м}^2$ ,  $\text{мкг/м}^2$  та  $\text{нг/м}^2$ . Крім того, цей показник може бути відносним (безрозмірним) – солоність морської води (‰).

*Якісні показники* – це словесна характеристика природних вод (за токсобністю води можуть бути *оліго-, мезо- або політоксобними*).

*Змішані показники* – словесна і чисельна характеристика («прісна» - це вода з мінералізацією до  $1 \text{ г/дм}^3$ ).

Один показник, що характеризує якість води у цілому, як правило, є якісним або змішаним (комплексним).

Кожен показник одночасно входить до різних груп. Наприклад, температура є загальним, фізичним, простим, кількісним показником; мінералізація – загальний, хімічний, груповий, змішаний показник; трофність – загальний, біологічний, комплексний, якісний показник; нафтопродукти – специфічний, хімічний, груповий, кількісний показник.

Розглянемо деякі групи показників.

*Загальні показники* є характерними для будь-яких водних об'єктів. Найбільша частина з них обов'язково входить до повних програм спостережень за якістю вод. Деякі показники виділені окремо у санітарних і рибогосподарських нормах. Перелік загальних вимог до складу і властивостей води у водних об'єктах господарсько-питного та комунально-побутового призначення включає такі показники: *завислі речовини, плаваючі домішки, забарвлення, запахи, присмаки, температура, рН, мінералізація, розчинений кисень, БСК<sub>ПОВН</sub>, ХСК, хімічні речовини,*



збудники хвороб, лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП), коліфаги. Загальні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів рибогосподарського призначення включають усі перелічені показники (крім ХСК, ЛКП та коліфаги; вони не нормовані у рибогосподарських нормах) і додатково такий показник як токсичність.

**Специфічні показники** обумовлені місцевими природними умовами, а також особливостями антропогенного впливу на водний об'єкт (феноли, нафтопродукти, важкі метали, пестициди, СПАР тощо). До переліків санітарно-гігієнічних і рибогосподарських ГДК речовин входить частина загальних та всі специфічні показники.

Загальні показники іноді називають основними. Однак цей термін найчастіше використовують у випадках, коли йдеться про показники, значення яких суттєво (в декілька разів) перевищує нормативи. Такі показники у першу чергу повинні бути внесеними до програм спостережень за якістю води у розглядуваному водному об'єкті. Тому, **основні** – це показники, які мають пріоритет при організації спостережень. Ця група може об'єднувати і загальні, і специфічні показники.

**Додаткові показники** сумісно з основними складають повні або розширені програми спостережень.

**Фізичні показники** якості характеризують властивості вод. Усі ці показники є загальними [12].

**Забарвлення (кольоровість).** Забарвлення води обумовлюється вмістом органічних (забарвлених) сполук. Речовини, які визначають забарвлення води, надходять у воду внаслідок вивітрювання гірських порід, внутрішньоводоймових процесів продукування, з підземним стоком, із антропогенних джерел. Інтенсивне забарвлення знижує органолептичні властивості води, зменшує вміст розчиненого кисню. Забарвлення вимірюється у градусах.

**Запах.** Запах води створюється специфічними речовинами, які надходять у воду в результаті життєдіяльності гідробіонтів, розкладання органічних речовин, хімічної взаємодії компонентів, які є у воді, і надходження з внутрішніх (алохтонних) джерел. Запах води вимірюється у балах.

**Температура води.** У водних об'єктах температура є результатом одночасної дії сонячної радіації, теплообміну з атмосферою, переносу тепла течіями, перемішування водних мас і надходження підігрітих вод із зовнішнього джерела. Температура впливає практично на всі процеси, від яких залежать склад і властивості води. Температура води вимірюється в градусах Цельсія ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Прозорість.** Прозорість води залежить від ступеня розсіювання сонячного світла у воді речовинами органічного і мінерального походження, які знаходяться у воді у завислому і колоїдному стані. Прозорість визначає перебіг біохімічних процесів, які потребують

освітленості (первинне продукування, фотоліз). Прозорість вимірюється у сантиметрах.

*Електропровідність* - це чисельний вираз здатності водного розчину проводити електричний струм. Електрична провідність природної води залежить, в основному, від концентрації розчинених мінеральних солей і температури. Одиниця вимірювання – мілісіменс/см (мСм/см).

Природні води являють собою суміш розчинів електролітів. Мінеральну частину розчинів складають іони  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ . Саме ними обумовлюється електропровідність природних вод. Рівні електропровідності природної води приблизно орієнтують на ступені її мінералізації. Ускладнення, що виникають при оцінках сумарної мінералізації по питомій електропровідності, пов'язані з неоднаковою питомою електропровідністю розчинів різних солей, а також з підвищенням електропровідності при збільшенні температури. Нормовані величини мінералізації приблизно відповідають питомій електропровідності 2 мСм/см (1000 мг/дм<sup>3</sup>) і 3 мСм/см (1500 мг/дм<sup>3</sup>) як хлоридній (в перерахунку на  $NaCl$ ), так і карбонатній (в перерахунку на  $CaCO_3$ ) мінералізації.

*Окисно-відновний потенціал (Eh)* – це міра хімічної активності елементів або їх сполук у зворотних хімічних процесах, пов'язаних із зміною заряду іонів в розчинах. Значення окисно-відновних потенціалів вимірюється у вольтах (мілівольтах). В природній воді значення *Eh* коливається від 400 до +700 мВ. Визначається сукупністю окислювальних і відновних процесів і в умовах рівноваги характеризує середовище за всіма елементами зі змінною валентністю. Встановленням редокс-потенціалу, також, визначаються умови, при яких можлива міграція металів. За редокс-потенціалом розрізняють декілька типів ситуацій у природних водах:

- *окислювальний тип* – із значеннями *Eh* (+100-150) мВ та присутністю вільного  $O_2$ , а також цілого ряду елементів у вищій формі своєї валентності ( $Fe^{3+}$ ,  $Mo^{6+}$ ,  $As^{5-}$ ,  $V^{5+}$ ,  $U^{6+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{4+}$ );

- *перехідний окисно-відновний тип* – з величинами *Eh* (+0-100) мВ, нестійким геохімічним режимом при змінній концентрації  $H_2S$  і  $O_2$ . В цих умовах відбувається слабке окислення і слабке відновлення металів;

- *відновний* – характеризується негативними значеннями *Eh* з присутністю у підземних водах металів низького ступеня валентності ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Mo^{4+}$ ,  $V^{4+}$ ,  $U^{4+}$ ), а також  $H_2S$ .

**Біологічними показниками** якості характеризують кількість живих організмів у воді, а також у цілому стан вод. Ці показники бувають бактеріологічними і гідробіологічними. Як і фізичні показники вони усі є загальними. До біологічних показників відносять бактеріологічні і гідробіологічні [12].

**Бактеріологічні** показники характеризують забруднення води патогенними мікроорганізмами. До числа найважливіших

бактеріологічних показників відносять: *коли-тітр* – це найменший об'єм води, який припадає на одну кишкову паличку, а *коли-індекс* – це абсолютна кількість кишкових паличок в 1 дм<sup>3</sup> води; лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП); чисельність коліфагів.

*Гідробіологічні* показники дають можливість оцінити якість води за кількістю окремих видів гідробіонтів. Зміна видового складу водних екосистем може відбуватися при настільки слабкому забрудненні водних об'єктів, що не виявляється ніякими іншими методами. Тому гідробіологічні показники є найбільш чутливими.

До них відносять такі показники: загальну масу особин усіх видів; кількість особин одного виду; сапробність; трофність; різні індекси видової різноманітності та інші.

*Сапробність* – це ступінь насичення води органічними речовинами, які, як правило, не мають токсичної дії. Відповідно до цього підходу водні об'єкти (або їх ділянки) у залежності від вмісту органічних речовин підрозділяють на *полісапробні*, *мезосапробні* та *олігосапробні*; найбільш забрудненими є полісапробні водні об'єкти. Кожному рівню сапробності відповідає свій набір індикаторних організмів-сапробіонтів. На основі індикаторної значущості організмів і їх кількості обчислюють індекс сапробності, за яким визначається рівень сапробності.

*Трофність* – ступінь первинної біологічної продуктивності водних екосистем, який визначається вмістом у воді фосфору, азоту і інших біогенних елементів та комплексом гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних і інших факторів). Води можуть бути з низьким (*оліготрофні*), з середнім (*мезотрофні*), з підвищеним (*евтрофні*), з високим (*політрофні*) і з дуже високим (*гіпертрофні*) первинним продукуванням.

Видова різноманітність, як правило, знижується зі збільшенням ступеня забруднення водних об'єктів. Тому зміна видової різноманітності є показником зміни якості води. Оцінку видової різноманітності здійснюють на основі індексів різноманітності (індекси Маргалефа, Шеннона та ін.)

**Хімічні показники** характеризують склад природних вод. Вони можуть бути [12] загальними і специфічними. До числа *загальних* хімічних відносяться наступні показники якості води.

*Завислі речовини*. Джерелами завислих речовин можуть служити процеси ерозії ґрунтів і гірських порід, розмив донних відкладів, продукти метаболізму і розкладання гідробіонтів, продукти хімічних реакцій і антропогенні об'єкти. Завислі речовини впливають на глибину проникнення сонячного світла, погіршують життєдіяльність гідробіонтів, призводять до замулювання водних об'єктів, зумовлюючи їхнє екологічне старіння (евтрофування). Вміст завислих речовин вимірюється в г/м<sup>3</sup> (мг/дм<sup>3</sup>).

*Водневий показник (pH).* У природних водах концентрація іонів водню залежить, головним чином, від співвідношення концентрації вугільної кислоти та її іонів. Джерелами вмісту іонів водню у воді є також гумінові кислоти, присутні у кислих ґрунтах і, особливо, у болотних водах, та гідроліз солей важких металів. Від *pH* залежить розвиток водних рослин, характер протікання процесів продукування.

*Мінералізація* води визначається насамперед за сумарним вмістом головних іонів:  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ . Якщо у прісних річкових водах найчастіше спостерігається співвідношення:  $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$  та  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ , то для солонуватих і морських вод співвідношення міняються у зворотному порядку ( $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ ;  $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ ). Негативний вплив на людину і гідробіонтів справляє як висока, так і надмірно низька мінералізація води.

*Жорсткість* є властивістю природної води, зумовленою, головним чином, розчиненими в ній солями кальцію і магнію. Кальцій і магній складають більшість мінералів, що утворюють поверхневі шари. В природних умовах іони кальцію, магнію та інших лужноземельних металів потрапляють у воду при взаємодії розчиненого у воді  $CO_2$  з карбонатними мінералами. Джерелом цих іонів можуть бути також мікробіологічні процеси в ґрунтах на площі водозбору або у донних відкладах чи у зворотних водах. *Загальну жорсткість* визначає сумарний вміст солей кальцію і магнію. Вона підрозділяється на *тимчасову* (карбонатну) і *постійну* (некарбонатну). *Тимчасова жорсткість* обумовлена концентрацією гідрокарбонатів кальцію і магнію -  $Ca(HCO_3)_2$ ,  $Mg(HCO_3)_2$ , *постійна жорсткість* - концентрацією розчинених у воді кальцієвих і магнієвих солей сильних кислот ( $CaSO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $MgSO_4$ ,  $MgCl_2$ ). При кип'ятінні гідрокарбонати переходять в карбонати і випадають в осад. Тому карбонатну жорсткість називають тимчасовою або переборною. Жорсткість, що залишається після кип'ятіння, називається постійною. Жорсткість коливається в широких межах. Рекомендована одиниця СІ для вимірювання жорсткості – моль/м<sup>3</sup> або ммоль/дм<sup>3</sup>. Крім того жорсткість вимірюється в мг-екв/дм<sup>3</sup>.

*Розчинений кисень.* Основними джерелами надходження кисню у водні об'єкти є газообмін з атмосферою (атмосферна реаерація), фотосинтез, а також дощові і талі води, що, як правило, перенасичені киснем. Окисні реакції є основними джерелами енергії для більшості гідробіонтів. Основне споживання розчиненого кисню відбувається у процесі дихання гідробіонтів і окислювання органічних речовин мікроорганізмами. Низький вміст розчиненого кисню (анаеробні умови) позначається на всьому комплексі біохімічних і екологічних процесів у водному об'єкті.

*Біохімічне споживання кисню (БСК).* БСК визначається як кількість кисню, що споживається мікроорганізмами при окислюванні органічних

речовин, які містяться в одиниці об'єму води, за визначений період часу. На практиці БСК оцінюють за п'ять діб (БСК<sub>5</sub>) та за двадцять діб (БСК<sub>20</sub>). Зазвичай БСК<sub>20</sub> трактують як повне БСК (БСК<sub>ПОВН</sub>), ознакою якого є початок процесів нітрифікації в пробі води. БСК є оцінкою загального забруднення води органічними речовинами.

*Хімічне споживання кисню (ХСК).* ХСК визначається як кількість хімічного окислювача у перерахунку на кисень, необхідний для окислювання органічних і мінеральних речовин, що містяться в одиниці об'єму води. При визначенні ХСК використовують біхромат калію ( $K_2Cr_2O_7$ ). Насамперед величина ХСК дозволяє судити про забруднення води органічними речовинами, але як і БСК не дає інформації про склад забруднення.

*Азот.* Азот може знаходитись в природних водах у вигляді вільних молекул  $N_2$  і різноманітних сполук у розчиненому, колоїдному або завислому стані. У загальному азоті природних вод прийнято виділяти органічну і мінеральну форми. Основними джерелами надходження азоту є внутрішньоводоймові процеси, газообмін з атмосферою, атмосферні опади й антропогенні джерела. Різні форми азоту можуть переходити одна в іншу в процесі кругообігу азоту. Азот відноситься до числа найважливіших лімітуючих біогенних елементів. Високий вміст азоту прискорює процеси евтрофування водних об'єктів.

*Фосфор.* Фосфор у вільному стані в природних умовах не зустрічається. У природних водах фосфор знаходиться у вигляді органічних і неорганічних сполук. Основна маса фосфору знаходиться в завислому стані. Сполуки фосфору надходять у воду в результаті внутрішньоводоймових процесів, вивітрювання і розчинення гірських порід, обміну з донними відкладами і з антропогенних джерел. На вміст різних форм фосфору впливають процеси його кругообігу. На відміну від азоту кругообіг фосфору незбалансований, що визначає його більш низький вміст у воді. Тому фосфор найчастіше виявляється тим біогенним елементом, вміст якого визначає характер процесів продукування у водних об'єктах.

До *специфічних хімічних показників* якості води, що зустрічаються найчастіше, відносяться такі:

*Феноли ( $C_6H_5OH$ ).* Вміст фенолів у воді, поряд із надходженням їх з антропогенних джерел (стоки підприємств), може визначатися метаболізмом гідробіонтів і біохімічною трансформацією органічних речовин. Джерелом надходження фенолів є гумінові речовини, що утворюються в ґрунтах і торфовищах. Феноли справляють токсичний вплив на гідробіонтів і погіршують органолептичні властивості води.

*Нафтопродукти (НП)* представляють собою суміш вуглеводнів різних класів, а також неуглеводних компонентів (асфальтени, смоли). Джерелами надходження нафтопродуктів є виливи при їх видобутку,

переробці і транспортуванні, а також стічні та інші зворотні води. Незначна кількість нафтопродуктів може виділятися в результаті внутрішньоводоймових процесів. Вуглеводні, які входять до складу нафтопродуктів, мають токсичний і, до деякої міри, наркотичний вплив на живі організми, вражаючи серцево-судинну і нервову системи.

*Поверхнево активні речовини* (ПАР) – це органічні речовини, що мають різко виражену спроможність до адсорбції на поверхні поділу “повітря – рідина”. У переважній більшості поверхнево–активні речовини, що потрапляють у воду, є синтетичними (СПАР). СПАР мають токсичний вплив на гідробіоти і людину, погіршують газообмін водного об'єкта з атмосферою, знижують інтенсивність внутрішньоводоймових процесів, погіршують органолептичні властивості води. СПАР відносяться до речовин, що повільно розкладаються.

*Пестициди* (від лат. *pestis* - зараза, *caedo* - вбиваю) - загальна назва хімічних речовин, що застосовуються для боротьби з небажаними видами рослин, тварин (комахи) та мікроорганізмів. Згідно з офіційним документом (Пестициди. Терміни та визначення. ДСТУ 3180-95. Держстандарт України, Київ, 1996) до пестицидів відносяться речовини (суміш речовин) хімічного або біологічного походження, що використовуються для боротьби з організмами, які завдають шкоди сільськогосподарським культурам або запасам сільськогосподарських продуктів, для знищення небажаної рослинності, збудників хвороб і переносників хвороб тварин і рослин, а також для регулювання розвитку. Основним джерелом їх надходження є поверхневий і дренажний стік із сільськогосподарських територій. Пестициди мають токсичну, мутагенну і кумулятивну дію, руйнуються повільно.

*Важкі метали* – хімічні елементи, атомна маса яких звичайно перевищує масу заліза (55,847). Частина їх бере активну участь у біохімічних процесах, входячи до складу багатьох ферментів, але кількість їх (*Pb*, *Cu*, *Hg*, *Zn*, *Ni*, *Cd*, *Co*, *Sb*, *Sn*, *Bi* та ін.) забруднюють навколишнє середовище та спричиняють токсичний вплив на біоту. Важкі метали містяться у водних об'єктах у вигляді вільних (гідратованих) іонів, комплексних сполук різної природи та у складі завислих речовин.

*Прості показники* характеризують властивість водного середовища або кількість конкретної речовини чи живих організмів одного виду у ньому. Наприклад, температура, прозорість, кольоровість, розчинений  $O_2$ , рН, ЛКП, коліфаги,  $Hg^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $As^{3+}$ , ДДТ та інші.

*Групові показники* характеризують вміст у водному середовищі групи речовин або живих організмів, об'єднаних за певною ознакою.

Існують групові показники, які розраховують за простими показниками. До цих показників відноситься сума концентрацій речовин у частках від їх ГДК ( $\psi$ ):

$$\psi = \sum_{i=1}^m (C_i / \Gamma ДК_i), \quad (2.1)$$

де  $m$  – кількість речовин з однаковою ЛОШ;

$C_i$  – концентрація  $i$ -тої речовини.

Показник  $\psi$  є характеристикою вмісту групи речовин з ефектом сумарної дії у водному середовищі. Його використовують при оцінці якості вод.

Узагальнений показник шкідливості вод  $R$  [13], визначений з основного відношення, також є груповим:

$$\psi = \sum_{i=1}^m (C_i / \Gamma ДК_i) \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \psi = SR \leq 1,$$

$$\text{де } R = (1/S) \sum_{i=1}^m (C_i / \Gamma ДК_i) = \sum_{i=1}^m (a_i / \Gamma ДК_i) = (1/[\Gamma ДК]) \sum_{i=1}^m (a_i / \xi_i), \quad (2.2)$$

$$S = \sum_{i=1}^m C_i, \quad a_i = C_i / S, \quad \xi_i = \Gamma ДК_i / [\Gamma ДК], \quad [\Gamma ДК] = \sum_{i=1}^m \Gamma ДК_i.$$

Показник  $R$  як і  $\psi$  характеризує вміст речовин з ефектом сумарності у водному середовищі.

Легко помітити, що показник  $R$  залежить тільки від співвідношення концентрацій забруднювальних речовин і їх набору в стічній воді, тобто  $R$  не залежить від розводження стічної води. Показником  $R$  зручно користуватись при розрахунках ГДС речовин у водні об'єкти для підприємств, що проектуються.

До групових також відносяться такі показники як БСК, ХСК, мінералізація та інші.

**Комплексні показники** характеризують стан водного середовища в цілому з урахуванням усіх його властивостей і всього складу. Вони зручні для використання. Недоліки – втрата інформації про конкретні види забруднення і неоднозначність. До комплексних відносяться *індекс забруднення води* (ІЗВ), *комплексний індекс забруднення* (КІЗ), *комплексний показник екологічного стану* (КПЕС), *узагальнений екологічний індекс*  $I_E$ , *узагальнений індекс стану вод*  $I_{СВ}$  і такі гідробіологічні показники як тропність, сапробність та інші.

При розгляді питання гідрохімічних показників якості води використовують такі поняття як, лімітуючі (нормовані) та репрезентативні показники якості води [13].

**Лімітуючі показники** – це всі показники, за якими визначається якість води, тобто це всі речовини, для яких визначені ГДК. Лімітуючі показники встановлюються стосовно до конкретного виду водокористування, їх перелік міститься в нормах: для господарсько-питного і комунально-побутового водокористування свій перелік речовин і їх ГДК; для рибогосподарського свій перелік речовин і їх ГДК. Усі лімітуючі показники поділяються на три групи за *лімітуючою ознакою шкідливості* (ЛОШ) при господарсько-питному і комунально-побутовому водокористуванні і на п'ять груп при рибогосподарському водокористуванні.

Поряд із устанавленням лімітуючих показників становить інтерес виділення репрезентативних гідрохімічних показників, що допомагають оцінити забруднення, обумовлене скидом конкретних видів стічних вод.

**Репрезентативним** називають набір гідрохімічних показників, характерних для стічних вод конкретного виробництва. Існують репрезентативні показники для целюлозно-паперової, нафтопереробної, сланцевої й інших видів промисловості, а також показники побутових і промислових стічних вод великих міст. Ці показники дозволяють спостерігати зміни якості вод під впливом господарської діяльності і комунально-побутових стічних вод міст (під впливом антропогенних факторів).

При вирішенні цього питання виділяють два основних типи забруднення поверхневих вод: 1) забруднення, спричинене скупченими скидами стічних вод; 2) порушення природного стану вод під впливом джерел забруднення, що не піддається врахуванню (дрібні припливи забруднених вод, атмосферне випадання і вимивання забруднювальних речовин з різних шарів ґрунту).

У першому випадку для оцінки впливу конкретного виду діяльності людини на якість вод необхідно мати дані про склад стічних вод. Для стічних вод репрезентативні дані обрані, а якщо розглядається виробництво, для якого ці показники не обрані, то їх визначають на основі таких принципів: обрані забруднювальні речовини повинні бути специфічними для розглядуваних стічних вод; їх концентрація повинна максимально перевищувати ГДК і ці забруднювальні речовини повинні мати найменшу швидкість трансформації після скиду у водний об'єкт.

Наприклад, для целюлозно-паперової промисловості специфічним є вміст у стічних водах великої кількості лігніну, діметилсульфіду.

Інші інгредієнти не є специфічними, тому що можуть надходити у великих кількостях з побутовими й іншими видами стічних вод. Крім цього, індикаційними ознаками можуть бути співвідношення таких групових показників як перманганатне і біхроматне окислювання (ХСК), БСК і ХСК. Ці співвідношення для різних типів стічних вод знаходяться у визначених інтервалах, що дозволяє їх використовувати як характерні



коефіцієнти.

У тих випадках, коли порушення якості вод не пов'язано із зосередженими випусками, тобто виникає необхідність оцінки фоновому стану вод, вибір репрезентативних показників базується на спостереженнях, які ведуться вище міст зосереджених випусків стічних вод. При цьому враховуються нормативні вимоги до якості вод.

У перелік необхідних визначень рекомендується включити: ХСК; перманганатне окислювання; БСК; розчинений кисень; СПАР; феноли; нафтопродукти; іони амонію; загальну мінералізацію. Ці показники чутливо реагують на фонове забруднення. Їх рекомендується використовувати і при оцінці забруднення за рахунок зосереджених випусків стічних вод, якщо відсутня інформація про їх склад.

За лімітуючими і репрезентативними показниками, що входять до складу режимних спостережень, можна одержати інтегральні характеристики ступеня забруднення водних об'єктів.

Необхідно відзначити, що такі показники як БСК, перманганатне окислювання, ХСК і феноли не можна використовувати при оцінці якості вод у річках, басейни яких мають велику залісеність і заболоченість. Це пояснюється великим вмістом органічних сполук природного походження. Протягом більшої частини року перелічені показники для вод таких річок перевищують ГДК. У цих випадках необхідно використовувати приведені концентрації.

**Мутність як показник якості води.** Завислі речовини (мутність) в річкових потоках і стічних водах можуть бути природного та техногенного походження [13]. *Природними* називаються завислі речовини, мінеральний склад яких не змінюється у результаті виробничої діяльності людини. Живі організми, що живуть у водних об'єктах, адаптовані до мінерального складу цих речовин і до їх кількісних змін у водному середовищі, якщо ці зміни спричинені природними факторами. *Техногенні завислі речовини* є результатом виробничої діяльності людини. Їх мінеральний склад відрізняється від мінерального складу природних завислих речовин. Вміст цих речовин у водному середовищі не є звичним для живих організмів і повинен бути чітко регламентований.

У зв'язку з цим при нормуванні скидів стічних вод, що містять завислі речовини, можна виділити два підходи.

*Перший підхід* полягає в строгому регламентуванні у контрольному створі величини перевищення природної мутності для всього діапазону її змін. Такий підхід використовується при нормуванні скидів стічних вод з техногенною зависсю. Величина перевищення мутності над природною за санітарними і рибогосподарськими нормами становить 0,25 чи 0,75 мг/дм<sup>3</sup>.

*Другий підхід* ґрунтується на зіставленні перевищення мутності у контрольному створі з фоновією мутністю річкового потоку. Застосовується тільки для стічних вод, що містять природні завислі

речовини. Нормативи для нього ще не розроблені.

Як характеристику припустимого перевищення у контрольному створі зміненої мутності над фоною пропонується використовувати точність виміру мутності існуючими на цей час методами. Похибка визначення мутності становить 10 – 25% від вимірюваного значення. Природні зміни мутності можуть бути дуже великими (часто за рік більш ніж у 100 разів), тому відхилення змінених значень мутності на 10 – 25% від природних не можна вважати помітним порушенням природного транспорту наносів [13].

Для малих значень мутності рекомендується використовувати верхню межу точності вимірів, для великих значень – нижню (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Припустиме перевищення мутності над фоном [13]

Діапазон зміни фонової мутності, мг/дм <sup>3</sup>	Похибка виміру нижньої межі діапазону, %	Похибка виміру верхньої межі діапазону, %	Припустиме перевищення мутності над фоною, мг/дм <sup>3</sup>
≤ 10	–	25	2,5
10 – 100	25	20	2,5 – 20,0
100 – 500	20	15	20,0 – 75,0
500 – 2000	15	10	75,0 – 200
> 2000	10	–	200

Якщо скид завислих речовин не можна регулювати (приводити його у відповідність з режимними характеристиками річки), то варто оцінювати припустимі відхилення за характеристиками меженної мутності, беручи останню за фонове значення.

Під *фоновими характеристиками якості води* розуміють такі характеристики, які визначаються загальними умовами формування якості води і є властивими розглянутому водотоку та його водозбірному басейну.

В залежності від умов розв'язуваної задачі гідрохімічний фон потоку можна представити у такий спосіб [13].

1) природний фон, що характеризує якість води у водному об'єкті, гідрохімічний режим якого не порушено виробничою діяльністю людини вище розглянутого створу;

2) змінений фон характеризує якість води у водному об'єкті, гідрохімічний режим якого порушено виробничою діяльністю людини як наслідок зміни умов формування якості вод на басейні або численних неорганізованих скидів стічних вод;

3) умовний фон є характеристикою якості води вище розглянутого створу, він враховує всі види антропогенного впливу, включаючи організовані скиди стічних вод, якщо вони не враховуються в розв'язуваній конкретній задачі.

Під *фоновою* мутністю річкового потоку розуміють природну мутність, обумовлену природними факторами формування стоку завислих наносів у межах басейну, долини і русла річки.

## **2.2 Нормативи показників якості природних вод**

ГДК забруднювальних речовин несуть важливу функцію стандарту якості води, який повинен забезпечити здоров'я людини й інших живих організмів (гідробіонтів), а також регламентувати скиди забруднювальних речовин у водне середовище.

Поняття ГДК базується на концепції пороговості дії хімічних речовин. Відповідно до цієї концепції для кожної речовини, що викликає ті чи інші несприятливі зміни в організмі, існують і можуть бути знайдені такі концентрації, при яких зміни навіть найбільш чутливих показників стану (функції) організму будуть мінімальними (граничними). При більш низьких концентраціях речовина не робить шкідливого впливу і її присутність у водному середовищі в кількості, яка не перевищує ці концентрації, можна вважати безпечною.

Протягом тривалого часу розроблялися і використовувалися два види нормування ГДК – санітарно-гігієнічне і рибогосподарське.

### **2.2.1 Санітарно-гігієнічні ГДК забруднювальних речовин.**

Санітарно-гігієнічна ГДК хімічної речовини [14] у воді – це максимальна концентрація, що не впливає прямо чи опосередковано на стан здоров'я нинішнього і наступного покоління людини при впливі на організм і не погіршує санітарні умови водокористування.

Методична схема санітарно-гігієнічних ГДК передбачає вивчення впливу забруднювальних речовин за трьома лімітуючими ознаками шкідливості (ЛОШ): санітарно-токсикологічною (чутливість живих організмів до дії токсичних речовин), органолептичною (смак, колір, запах) і загально-санітарною (БСК, інтенсивність процесів мінералізації азотовмісних речовин, розвитку і відмирання сапробної мікрофлори, тобто інтенсивність процесів самоочищення вод).

За кожній із ЛОШ визначають граничну (діючу) і підпорогову (недіючу) концентрації, за цими концентраціями знаходять граничну концентрацію речовини.

За ГДК береться мінімальна гранична концентрація з трьох, визначених по кожній з ознак шкідливості, і відмічається ЛОШ, при якій спостерігалась мінімальна гранична концентрація.

Санітарно-гігієнічні ГДК не призначалися для визначення екологічного стану водних об'єктів, а їх мета полягала в забезпеченні

безпечних умов водокористування для людини. Вони використовуються тільки для тих водойм, що призначені для господарсько-питного і комунально-побутового водокористування.

Поява нових джерел забруднення і розширення сфери їх впливу зумовили необхідність розгляду обмеження шкідливих впливів не тільки з погляду екологічної безпеки людини, але і з погляду екологічного стану водних об'єктів. З'явилась самостійна система рибогосподарських ГДК, спрямованих на охорону водних об'єктів як бази для організації рибальства і рибництва.

### ***2.2.2 Рибогосподарські ГДК забруднювальних речовин.***

При встановленні рибогосподарських ГДК застосовується спеціальна система досліджень [14], що включає оцінку впливу хімічної речовини на процеси самоочищення води, первинне продукування органічної речовини і на життєдіяльність окремих видів гетеротрофних гідробіонтів. Тест-об'єктами є представники різних ланок трофічного ланцюга водних екосистем (бактерії, водорості, зоопланктон, молюски, ракоподібні, риби).

Тут також покладено в основу принцип ЛОШ. Додатковими ознаками вводяться токсикологічний (чутливість різних видів гідробіонтів до дії токсичних речовин) і рибогосподарський (втрата товарної якості рибної продукції через нагромадження в ній неприпустимих кількостей шкідливих речовин).

За граничну концентрацію токсичної речовини береться мінімальна концентрація з усіх граничних, визначених для всього набору тест-об'єктів, тобто береться гранична концентрація для найслабшої ланки з усього набору тест-об'єктів.

За ГДК береться мінімальна гранична концентрація з п'яти, визначених по кожній з ознак шкідливості.

Розроблені слідом за санітарно-гігієнічними ГДК рибогосподарські нормативи стали логічним доповненням до водного санітарного законодавства. «Правила охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» і «Правила санітарної охорони морів» містять ГДК шкідливих речовин для водних об'єктів господарсько-питного, комунально-побутового водокористування і для рибогосподарських водойм.

Рибогосподарські і санітарно-гігієнічні ГДК істотно відрізняються (табл. 2.2).

У зв'язку з тим, що можливості встановлення ГДК значно відстають від інтенсивності впровадження нових хімічних речовин у виробництво, постала необхідність встановлення тимчасових ГДК. Найбільш перспективним є математичний метод, що дозволяє прогнозувати токсичну дію речовини за результатами токсикологічних випробувань. Для багатьох речовин розраховані *максимальні недіючі дози* (МНД), які досить близько

Таблиця 2.2 – Рибогосподарські і санітарно-гігієнічні ГДК деяких речовин

Забруднювальна речовина	Рибогосподарські ГДК		Санітарно-гігієнічні ГДК	
	ЛОШ	ГДК, мг/дм <sup>3</sup>	ЛОШ	ГДК, мг/дм <sup>3</sup>
Аміак	токсикологіна	0,05	загально-санітарна	2,0
Анілін	–“–	0,0001	санітарно-токсик.	0,1
Гексахлоран	–“–	0,01	органолептична	0,02
ДДТ	–“–	0	санітарно-токсик.	0,1
Кадмій	–“–	0,005	–“–	0,01
Карбофос	–“–	0	органолептична	0,05
Метанол	санітарно-токсик.	0,1	санітарно-токсик.	3,0
Метазін	органолептична	1,0	органолептична	0,3
Нафтопрод.	рибогосподарська	0,05	органолептична	0,3
Ентобактер.	загально-санітарна	10,0	–	–

збігаються з ГДК, одержаними в тривалих експериментах.

Так для нітросполук виведена формула [14]:

$$Lg \text{ МНД} = 0,8 \cdot l g LD_{50} - 3,6 , \quad (2.3)$$

У зв'язку з тим, що можливості встановлення ГДК значно відстають від інтенсивності впровадження нових хімічних речовин у виробництво, постала необхідність встановлення тимчасових ГДК. Найбільш перспективним є математичний метод, що дозволяє прогнозувати токсичну дію речовини за результатами токсикологічних випробувань. Для багатьох речовин розраховані *максимальні недіючі дози* (МНД), які досить близько збігаються з ГДК, одержаними в тривалих експериментах.

Так для нітросполук виведена формула [14]:

$$Lg \text{ МНД} = 0,8 \cdot l g LD_{50} - 3,6 , \quad (2.3)$$

де  $LD_{50}$  – летальна доза хімічної речовини, що спричиняє при введенні в організм загибель 50% тварин, мг/кг.

### **2.2.3 Класи небезпеки забруднювальних речовин.**

Прийняті нормативи далекі від досконалості. Вивчаючи вплив речовин на самоочищення водного середовища [14], гігієністи в основному приділяють увагу не процесам самоочищення, а тому, наскільки вони здатні забезпечити процеси відмирання патогенних мікробів і процеси мінералізації. Іхтіологи в першу чергу оцінюють ефективність формування

необхідної для риби якості води, тобто це більшою мірою торкається інтересів цілісності водної екосистеми.

У цілому система критеріїв на основі ГДК не враховує синергізму (сумарної дії) і антагонізму (придушення) забруднювальних речовин. Поза полем зору залишається кумуляція речовин водними організмами, наприклад, водоростями, з подальшим вивільненням їх під час масового відмирання водоростей. Для більшості речовин немає надійних аналітичних методів контролю.

Далі, токсичність речовин залежить від конкретної гідрохімічної ситуації: температури, *pH*, розчиненого  $O_2$ , комплексу органічних речовин і т.д.

І, нарешті, процеси трансформації речовин у воді включають цілий ряд стадій, причому проміжні продукти нерідко виявляються більш токсичними, чим первинна речовина. У зв'язку з цим при нормуванні скидів стічних та інших зворотних вод у водні об'єкти рибогосподарського призначення даних про ГДК недостатньо. Необхідно наводити такі дані:

- стабільність і особливості детоксикації речовини, включаючи її метаболіти і кінцеві продукти розпаду;

- кумулятивні властивості речовини, а також терміни їх дії, поза залежністю, до якої ЛОШ віднесена речовина при встановленні ГДК. Наприклад, іон амонію і нітрит-іон є токсичними речовинами, але при розрахунку гранично-допустимого скиду (ГДС) вони повинні бути включені і у групу з токсикологічною ЛОШ, і з загальносанітарною як біогени, нарівні з органічним і нітратним азотом.

Кумуляція речовини може супроводжуватися біонакопиченням, тобто послідовним нагромадженням (підвищенням концентрації) речовини в представниках кожного подальшого трофічного рівня. Б. Небел [15] наводить такий приклад збільшення біонакопичення ДДТ: морська вода (0,02) – водорості (5) - риби-мікрофаги (40 - 300) - риби-хижаки (2000 млн<sup>-1</sup>).

За характером трансформації речовини можуть бути поділені на 3 групи: 1) речовини, які практично не трансформуються у водних об'єктах (наприклад, *NaCl*); 2) речовини, метаболіти яких, вступаючи в складні сполуки з природними компонентами, змінюють характер і інтенсивність дії на гідробіоти і водні об'єкти (токсичність може зростати); 3) речовини, що піддаються деградації в природних водах шляхом послідовного перетворення в усе більш прості сполуки (метаболіти можуть бути більш токсичними, кінцевий продукт може входити в кругообіг чи виходити з нього).

Дані про відносну токсичність речовин, здатність до кумуляції та групи стабільності речовин за строками детоксикації наведені в табл. 2.3, 2.4, 2.5.

Таблиця 2.3 – Відносна токсичність речовин

Група	Токсичність	$LC_{50}$ за 96–120 ч., мг/дм <sup>3</sup>	ГДК <sub>рГ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	$LC_{50} / ГДК_{рГ}$
1	Особливо висока	< 0,01	< 0,0001	100
2	Висока	1,0–0,01	0,01–0,0001	100
3	Середня	10,0–1,0	0,10–0,01	50
4	Помірна	100–10,0	10,0–0,10	10
5	Мала	1000–100	200–10,0	5
6	Дуже мала	> 1000	> 200	< 5

Таблиця 2.4 – Здатність до кумуляції

Група	Кумуляція	$K_K$ , відношення концентрації речовини в організмі до вихідної у воді
1	Надвисока	> 1000
2	Висока	200–1000
3	Помірна	51–200
4	Слабовиражена	1,1–50
5	Відсутня	$\leq 1,0$

Таблиця 2.5 – Групи стабільності речовин за строками детоксикації (з урахуванням часу перетворення речовини і її токсичних метаболітів або таких, що підвищують сапробність)

Група	Стабільність	Час (доба) детоксикації в 20 разів ( $\tau_{95}$ ) при різних температурах			
		1 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>
1	Мала	$\leq 50$	$\leq 33$	$\leq 20$	$\leq 5$
2	Помірна	60–100	40–70	20–30	6–10
3	Середня	100–580	70–400	30–190	10–60
4	Висока	580–1700	400–1200	190–560	60–180
5	Дуже висока	1700–3500	1200–2400	560–1100	180–365
6	Надвисока	> 3500	> 2400	> 1100	> 365

За ступенем токсичності, кумуляції і стабільності речовини підрозділяють на класи небезпеки [14].

*Перший клас* – надзвичайно небезпечні забруднювальні речовини. Речовини, що лімітуються з токсикологічною і рибогосподарською ЛОШ, представлені винятково ксенобіотиками (речовинами, які не мають аналога в природі). ГДК нижче 0,00001 мг/дм<sup>3</sup> (1-а група токсичності), 1 – 2 групи кумуляції ( $K_K > 200$ ). До цього класу відносяться речовини по кожній із зазначених ЛОШ. Постійні скиди цих речовин у рибогосподарські водні об'єкти неприпустимі.

*Другий клас* – високо небезпечні речовини. Ксенобіотики, з токсикологічною і рибогосподарською ЛОШ, ГДК від 0,0001 до 0,00001 мг/дм<sup>3</sup>, (1-а група токсичності), 3-я група кумуляції, в окремих випадках 4-а група, якщо доведено, що виявляються патологічні явища в

організмі, ураженому токсикантом, 4-а група стабільності. Для району півночі лімітуються по класу 1.

*Третій клас* – небезпечні речовини, ГДК від 0,01 до 0,0001 мг/дм<sup>3</sup> (2-а група), ксенобіотики і речовини природного походження, лімітуються за токсикологічною рибогосподарською й органолептичною ЛОШ. Слабка кумуляція (4-а група, якщо не спричиняє видимих патологічних явищ і легко виводиться з організму), 3-я група стабільності ( $t_{95} < 60$  діб).

*Четвертий клас* – помірно небезпечні, ГДК  $> 0,01$  мг/дм<sup>3</sup> (3, 4, 5, 6 групи токсичності), кумуляція відсутня, 1 і 2 групи стабільності. Речовини природного походження, частково ксенобіотики.

З наведеної додаткової інформації до рибогосподарських ГДК можна судити про недосконалість використовуваних видів нормування ГДК. Тому сьогодні все більше мова йде про екологічне нормування, при якому враховувався би вплив речовини не на окремий організм, а на реакцію екосистеми в цілому.

Для кожної водної екосистеми необхідно визначити власні критерії якості природного середовища, що залежать від екологічного резерву екосистеми.

В основі екологічного нормування лежить всебічний аналіз середовища, системний підхід до регулювання якості природного середовища й оцінка *гранично допустимого екологічного навантаження* (ГДЕН) на екосистему, при якому розглядувана екосистема може нормально функціонувати. На цей час визначені загальні принципи обґрунтування ГДЕН, реалізовані, наприклад, через концепцію асиміляційної ємності екосистем.

Всебічний аналіз середовища виконується на основі системи моніторингу, однією із задач якого є виявлення реакції біотичних складових екосистем на дію забруднювальних речовин.

Другий етап всебічного аналізу полягає у визначенні екологічно допустимих навантажень на окремі організми і популяції, а також у визначенні критичної ланки екосистеми (найбільш чутливого виду організмів). За цим видом і визначається навантаження на екосистему в цілому.

#### **2.2.4 Біогеохімічні нормативи.**

Поширення рибогосподарських ГДК на морські води [14] дає іноді парадоксальні результати. Наприклад, ГДК цинку дорівнює 10 мкг/дм<sup>3</sup>, що нижче від середньої концентрації цього елемента у Світовому океані. Таким чином, може скластися враження про глобальне забруднення Світового океану цинком, що не відповідає дійсності.

Відповідно до основних положень біогеохімії і геохімічної екології, організми і екосистеми еволюційно адаптувалися до хімічних факторів середовища. Тому є підстави стверджувати, що існуючі в цей час



концентрації металів у Світовому океані оптимальні для біологічного населення, а крайні межі відбивають критичні рівні недостатнього (якщо елемент потрібен для життєдіяльності) чи надлишкового (якщо елемент токсичний) вмісту елемента в морському середовищі.

Надлишковий рівень і є еволюційно обумовленою межею зони максимально припустимого вмісту металу для всього населення Світового океану. Ці положення дозволили С.А. Патіну [14] розробити новий підхід (біогеохімічний) до нормування ГДК тих елементів, які є природними компонентами складу води в морському середовищі.

Для кожного компонента встановлюється біологічно допустимий (толерантний) діапазон концентрацій у морській і океанічній воді (табл. 2.6) за формулою:

$$L_B = C_{СЕР} + 2\sigma(C) \quad \text{та} \quad L_H = C_{СЕР} - 2\sigma(C), \quad (2.4)$$

де  $L_B$  і  $L_H$  – верхній і нижній пороги толерантності;

$C_{СЕР}$  – середня концентрація елемента у морі або в океані;

$\sigma(C)$  – стандартне відхилення сукупності результатів, які використовувались для оцінки  $C_{СЕР}$ .

Перевага такого нормування у тому, що воно встановлює ГДК для всієї біоти морів і океанів.

Таблиця 2.6 – ГДК деяких речовин для морських та океанічних вод

Забруднювальна речовина	Верхній поріг толерантності		МНД, мг/дм <sup>3</sup>	ГДК для вод, мг/дм <sup>3</sup>		Рибогосподарські ГДК, мг/дм <sup>3</sup>
	океан	море		океан	море	
Ртуть	0,0001	0,001	0,0001	0,0001	0,001	0,005
Свинець	0,005	0,010	0,010	0,010	0,010	0,0100
Цинк	0,050	0,050	0,010	0,050	0,050	0,010
Мідь	0,005	0,005	0,001–0,005	0,005	0,005	0,010
Нафтопродукти	–	–	0,010	0,010	0,010	0,050
ДДТ, ПХБ та інші	–	–	0,00001	0,00001	0,00001	0
Детергенти	–	–	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>-11</sup>

При встановленні ГДК широко використовується також і традиційний токсикологічний метод, заснований на пошуку меж між граничними і недіючими концентраціями токсичних речовин для різних видів, груп і стадій розвитку гідробіонтів.

Причини розходження рибогосподарських ГДК для вод морів і океанів пов'язані з різницею в методиках нормування, зі специфікою хімічного складу морських вод і фізіологічних особливостей морських організмів.

### 2.2.5 Екологічні нормативи.

Сьогодні усе більше мова йде про розробку екологічних (біоценологічних) нормативів. Це обумовлено недоліками діючої системи нормативів:

- концентрація речовин у воді не відображає токсикологічне навантаження на екосистему, тому що не враховує процеси акумуляції речовин у біологічних об'єктах і донних відкладах;

- видова стійкість водних тварин до токсикантів залежить не стільки від специфіки механізмів дії токсикантів, скільки від сформованої в результаті тривалого еволюційного процесу адаптації тварин до природного (фонового) вмісту цих токсикантів;

- діючі ГДК не враховують специфіку функціонування водних екосистем у різних природно-кліматичних зонах (широтна й вертикальна зональність), наприклад, відомо, що різні біогеохімічні провінції (і окремі водойми) відрізняються один від одного за вмістом в поверхневих водах *Pb* в 2000 разів, *Ni* - в 1350, *Zn* - в 500, *Cu* - в 10000, *Cr* - в 17000 разів;

- не враховуються ефекти синергізму та антагонізму;

- при обґрунтуванні ГДК не враховується різний трофічний статус екосистем, сезонні особливості природних факторів, на фоні яких проявляється токсичність забруднювальних речовин;

- при розробці санітарно-гігієнічних нормативів пріоритетом є здоров'я людини, при розробці рибогосподарських – якість води, яка потрібна для риби (хоча риба не є слабкішою ланкою водних екосистем).

Перераховані, а також деякі інші недоліки санітарно-гігієнічних і рибогосподарських нормативів не відкидають необхідність оцінки стану водних об'єктів по ГДК, але свідчать про необхідність розробки нових підходів. Загальна концепція простежується досить чітко – основними завданнями екологічного нормування й водної токсикології повинні стати:

- оцінка впливу токсичних речовин не тільки на окремі організми, але і на надорганізмові системи (популяції й угруповання), яким властиві специфічні реакції на антропогенні фактори;

- складання пріоритетного списку речовин, на які живі організми реагують найбільш активно, з урахуванням їхньої кількості, ступеня токсичності і трансформації у водній екосистемі.

Завдання екологічної токсикології більш складні, чим «класичної», оскільки пов'язані з оцінкою токсичного впливу на більш різноманітний спектр організмів, розповсюджуваний від бактерій до ссавців.

З викладеного можна припустити, що сама по собі екологічна (біоценологічна) ГДК як нормативна величина не відрізняється від діючих санітарно-гігієнічної чи рибогосподарської, оскільки визначається за єдиною схемою. Достатньо розширити до певної розумної межі кількість порогів хронічної дії за рахунок включення нових груп біоіндикаторів і враховувати в коефіцієнті запасу додаткову специфіку речовини

(наприклад, здатність акумулюватися в донних відкладах).

Таким чином, устанавлення «біоценотичних» ГДК зводиться до визначення критичних навантажень забруднювальних речовин, що не спричиняють гноблення конкретних популяцій біоценозів, і, в остаточному підсумку, до уточнення понять «норми» й «патології» для гідробіологічних угруповань.

Встановлення екологічних нормативів у лабораторних умовах украй важко, тому необхідно виконувати нормування з урахуванням стану біоценозів у природних умовах.

### ***Питання для самоконтролю:***

1. Які виділяють групи показників якості природних вод?
2. Перелічіть основні фізичні показники якості природних вод.
3. Що характеризують біологічні показники якості природних вод?
4. Які виділяють хімічні показники якості природних вод та на які групи вони поділяються?
5. Що таке групові та комплексні показники якості природних вод?
6. Які показники відносяться до лімітуючих та репрезентативних?
7. Що таке фонові характеристики якості води?
8. Охарактеризуйте санітарно-гігієнічні та рибогосподарські ГДК забруднювальних речовин.
9. Як визначаються класи небезпеки забруднювальних речовин у водному середовищі?
10. Охарактеризуйте біогеохімічні та екологічні нормативи якості природних вод.

## 3 НОРМИ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД

### 3.1 Метод детального аналізу

Метод детального аналізу полягає у тому, що виміряне або розраховане значення кожного показника з усього їх набору, який використовується при оцінці якості води, порівнюється з його нормативом (ГДК). На основі цього аналізу дається висновок о придатності чи непридатності води для певних потреб.

Послідовність оцінки якості вод цим методом така:

1. Для розглядуваних потреб визначаються відповідні норми.
2. Для усіх необхідних показників якості розглядуваної води виписується ЛОШ, якщо вона є, і норматив (ГДК). При оцінці якості води за санітарними нормами записується також і клас небезпеки.
3. Якщо за нормами, які використовуються для розглядуваних потреб, враховується ефект сумарної дії речовин, то показники якості води розподіляються на дві частини: перша – показники без ефекту сумації; друга – з ефектом сумації.
4. Для першої частини значення показників (кожного окремо) мають бути не більше за норматив (крім розчиненого  $O_2$ )

$$C_i \leq ГДК_i. \quad (3.1)$$

де  $C_i$  – значення  $i$ -ого показника (концентрація речовини);

$ГДК_i$  – норматив  $i$ -ого показника (гранично допустима концентрація).

5. Показники другої частини об'єднуються у групи сумації. Для кожної групи розраховується груповий показник  $\psi$ , його значення повинно бути не більш ніж одиниця

$$\psi = \sum_{i=1}^n (C_i / ГДК_i) \leq 1, \quad (3.2)$$

де  $n$  – кількість показників (речовин) у групі ЛОШ.

Показники у групах сумації не можна розглядати окремо і порівнювати їх значення з відповідними нормативами. Часто значення кожного показника окремо може бути менш його нормативу, але при цьому вміст речовин усієї групи у воді може не відповідати вимогам норм.

6. Оцінка якості води двобальна: якщо хоча б один показник перевищує норматив, то вважається, що вода брудна (не відповідає вимогам нормам); у протилежному випадку – чиста (відповідає нормам).

### 3.2 Санітарні норми якості вод

Санітарні норми використовують при оцінці якості вод для господарсько-питних та комунально-побутових цілей. У відповідності з цими нормами (а також з іншими нормами) якість вод оцінюється методом детального аналізу, який ґрунтується на порівнянні значення кожного показника з усього набору з його нормативом.

До *господарсько-питного* належить водокористування водних об'єктів як джерел централізованого господарсько-питного водозабезпечення, а також для водозабезпечення підприємств харчової промисловості. До *комунально-побутового* належить водокористування водних об'єктів для купання, занять спортом та відпочинку населення.

Норми якості води водних об'єктів включають: загальні вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів, які використовуються для розглядуваних видів водокористування (табл. 3.1); перелік ГДК речовин у воді водних об'єктів, які використовуються для господарчо-питних та комунально-побутових потреб (табл. 3.2).

У переліках ГДК зазначаються: повна назва речовини, лімітуюча ознака шкідливості (ЛОШ), нормативне числове значення (норматив) та клас небезпеки. У переліку санітарно-гігієнічних ГДК речовини поділені на три групи за ЛОШ: перша група об'єднує речовини з санітарно-токсикологічною ЛОШ; друга – з органолептичною ЛОШ; третя – із загально-санітарною ЛОШ.

При оцінці якості води показники розподіляються на дві частини: перша – показники без ефекту сумарної дії; інша – з ефектом сумарної дії.

За санітарними нормами у групи сумачії об'єднують показники, нормовані з ЛОШ 1 і 2 класу небезпеки (у формулі (3.2)  $n$  – кількість показників з однаковою ЛОШ 1 і 2 класу небезпеки). Решта показників, нормованих без ЛОШ або з ЛОШ, але 3 і 4 класу небезпеки, не мають ефекту сумарної дії.

Якщо вимоги норм не виконуються хоча б по одному з показників, то водний об'єкт або його ділянка вважаються забрудненими.

У випадку використання водного об'єкта для різних видів водокористування до якості його води ставляться вимоги того виду, у якого найбільш жорсткі норми.

При господарсько-питному та комунально-побутовому використанні водних об'єктів норми якості води [17] повинні додержуватись: 1) у водотоках – на ділянці в 1 км вище за межу району водокористування (контрольний створ розташовується на відстані 1 км); 2) у водоймах – на відстані 1 км від меж району водокористування в усі боки.

Таблиця 3.1 – Загальні вимоги до складу і властивостей води водотоків у місцях господарсько-питного, комунально-побутового та рибогосподарського водокористування [16]

Показник	Водокористування			
	господарсько-питне	комунально-побутове	рибогосподарське (категорії)	
			вища та перша	друга
Завислі речовини	При скиді зворотних (стічних) вод конкретним водокористувачем, проведенні роботи на водному об'єкті і у прибережній зоні вміст завислих речовин у контрольному створі (пункті) не повинен збільшуватись порівняно з природними умовами більш, ніж на: 0,25 мг/дм <sup>3</sup> 0,75 мг/дм <sup>3</sup> 0,25 мг/дм <sup>3</sup> 0,75 мг/дм <sup>3</sup>			
Примітка:	Для водотоків, які містять у межах більше 30 мг/дм <sup>3</sup> природних завислих речовин, припускається збільшення їх вмісту у воді в межах 5%. Зворотні (стічні) води, які містять завислі речовини зі швидкістю осадження більшою ніж 0,2 мм/с, забороняється скидати у водойми, з більшою 0,4 мм/с – у водотоки. Вміст у воді антропогенних завислих речовин (пластівці гідроксидів металів, що утворюються під час очищення стічних вод, часточки азбесту, капрону, лавсану тощо) нормується у відповідності з правилами охорони поверхневих вод.			
Плаваючі домішки	На поверхні води не повинні виявлятися плівки нафтопродуктів, масел, жирів та скупчення інших домішок.			
Забарвлення	Не повинне виявлятися у стовпчику 20 см                      10 см		Вода не повинна набувати стороннього забарвлення	
Запахи, присмаки	Вода не повинна набувати запахів інтенсивністю більшою за 1 бал, які виявляються : безпосередньо або при подальшому хлоруванні		Вода не повинна надавати сторонніх запахів та присмаків м'ясу риби.	
pH	Не повинен виходити за межі 6,5 – 8,5			
Температура	Літня температура води у результаті скиду стічних вод не повинна підвищуватись більш як на 3 <sup>0</sup> С порівняно з середньомісячною температурою води найжаркішого місяця року за останні 10 років		Температура води не повинна підвищуватись порівняно з температурою водного об'єкта більш як на 5 <sup>0</sup> С із загальним підвищенням температури не більш ніж до 20 <sup>0</sup> С влітку і 5 <sup>0</sup> С взимку для водних об'єктів, які населяють холодноводні риби (лососеві та сигові) і не більш ніж до 28 <sup>0</sup> С влітку і 8 <sup>0</sup> С взимку у решті випадків. У місцях нерестовищ забороняється підвищувати температуру води взимку більш ніж до 2 <sup>0</sup> С.	

Продовження табл. 3.1

Показник	Водокористування			
	господарсько-питне	комунально-побутове	рибогосподарське (категорії)	
			вища та перша	друга
Мінералізація	Не більше 1000 мг/дм <sup>3</sup> , у тому числі хлоридів – 350 мг/дм <sup>3</sup> , сульфатів – 500 мг/дм <sup>3</sup>	Нормується згідно наведеного вище показника “присмаки”	Нормується згідно з таксаціями рибогосподарських водних об’єктів.	
Розчинений кисень	Не повинен бути менше 4 мг/дм <sup>3</sup> у будь-який період року		У зимовий (підлітній) період повинен бути не менше 6 мг/дм <sup>3</sup> 4 мг/дм <sup>3</sup> У літній (відкритий) на усіх водних об’єктах повинен бути не менше 6 мг/дм <sup>3</sup>	
БСК <sub>повн</sub>	Не повинне перевищувати при температурі 20 <sup>0</sup> C  3 мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>		3 мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> 3 мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Якщо у зимовий період вміст розчиненого кисню у водних об’єктах вищої та першої категорій знижується до 6 мг/дм <sup>3</sup> , а у водних об’єктах другої категорії – до 4 мг/дм <sup>3</sup> , то можна припустити скид в них лише тих стічних вод, які не змінюють БСК води.	
ХСК	Не повинен перевищувати 15 мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> 30 мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>		– –	
Хімічні речовини	Не повинні міститися у воді водотоків та водоймищ у концентраціях, які перевищують нормативи, встановлені у відповідності з правилами охорони поверхневих вод.			
Збудники хвороб	Вода не повинна містити збудників хвороб, в тому числі життєздатні яйця гельмінтів (аскарид, волосоголовців, токсокор, фасциол), онкосфери тенеїд та життєздатні цисти патогенних кишкових найпростіших.			
Лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП) не більше	10000 дм <sup>3</sup>	5000 дм <sup>3</sup>	–	–
Коліфаги (у бляшкоутворюючих одиницях) не більше	100 в 1 дм <sup>3</sup>	100 в 1 дм <sup>3</sup>	–	–
Токсичність	–	–	Стічна вода на випуску у водний об’єкт не повинна справляти гострої токсичної дії на тест-об’єкти	

Примітка: риска означає, що показник не нормований.

Таблиця 3.2 – Санітарно-гігієнічні ГДК деяких речовин [16]

№ п/п	Речовина	ЛОШ	ГДК, мг/дм <sup>3</sup>	Клас небезпеки
1	Аміак (по азоту)	саніт.–токсикол.	(2,0)	3
2	Анілін	саніт.–токсикол.	0,1	2
3	Бензол	саніт.–токсикол.	0,5	2
4	Кальцій	не нормовано		
5	Магній	не нормовано		
6	Нафта	органолептична	0,3	4
7	Нікель	саніт.–токсикол.	0,1	3
8	Нітрати (по азоту)	саніт.–токсикол.	45,0 (10,0)	3
9	Нітриди (по азоту)	саніт.–токсикол.	3,3 (1,0)	2
10	Свинець	саніт.–токсикол.	0,1	2
11	Сульфати	органолептична	500	4
12	Фенол	органолептична	0,001	4
13	Хлориди	органолептична	350	4
14	Хром (6+)	саніт.–токсикол.	0,05	3
15	Цинк	загально–санітар.	1,0	3

Якщо природні властивості і склад води не відповідають нормам водокористування, то ці природні властивості та склад води повинні витримуватись у місцях водокористування.

### 3.3 Рибогосподарські норми якості вод

До *рибогосподарського* водокористування належить використання водних об'єктів для проживання, розмноження та міграції риб і інших гідробіонтів [17].

Рибогосподарські водні об'єкти можуть бути трьох категорій:

– до *вищої категорії* належать місця розташування нерестовищ, масового нагулу та зимувальних ям особливо цінних видів риб та інших водних організмів, а також водні об'єкти для штучного розведення риб і інших водних організмів;

– до *першої категорії* належать водні об'єкти, які використовуються для збереження та відтворення цінних видів риб з високою чутливістю до вмісту кисню;

– до *другої категорії* належать водні об'єкти, які використовуються для інших рибогосподарських цілей.

Норми якості води водних об'єктів включають: загальні вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів, які використовуються для розглянутих видів водокористування; перелік ГДК речовин у воді водних об'єктів, які використовуються у рибогосподарських цілях (рибогосподарські ГДК деяких речовин наведені у табл. 3.3).



Таблиця 3.3 – ГДК деяких забруднювальних речовин у водних об'єктах  
рибогосподарського призначення [17]

№ п/п	Речовина	ЛОШ	ГДК, мг/дм <sup>3</sup>
1	Аміак	токсикологічна	0,05
2	Амоній сольовий (по азоту)	токсикологічна	0,5 (0,39)
3	Анілін	токсикологічна	0,0001
4	Бензол	токсикологічна	0,5
5	Кальцій	саніт.–токсикол.	180,0
6	Магній	саніт.–токсикол.	40,0
7	Нафтопродукти	рибогосподарська	0,05
8	Нікель	токсикологічна	0,01
9	Нітрати (по азоту)	саніт.–токсикол.	40,0 (9,10)
10	Нітроти (по азоту)	токсикологічна	0,08 (0,02)
11	Свинець	токсикологічна	0,1
12	Сульфати	саніт.–токсикол.	100,0
13	Феноли	рибогосподарська	0,001
14	Хлориди	саніт.–токсикол.	300,0
15	Хром (6+)	токсикологічна	0,001
16	Цинк	токсикологічна	0,01

У переліках ГДК зазначаються повна назва речовини, ЛОШ та нормативне числове значення (норматив).

У переліку рибогосподарських ГДК речовини поділені на п'ять груп за ЛОШ: у три перші групи об'єднані речовини за такими ж ЛОШ, що і у переліку санітарно-гігієнічних ГДК; четверту групу складають речовини з токсикологічною ЛОШ; п'яту – з рибогосподарською ЛОШ.

При оцінці якості води значення показників (вимірних або розрахованих) зіставляють з нормативами.

У відповідності з рибогосподарськими нормами ефект сумарної дії мають усі речовини з однаковою ЛОШ (для рибогосподарських норм у формулі (3.2) параметр  $n$  – кількість показників з однаковою ЛОШ).

Показники, які нормовані без ЛОШ, не мають ефекту сумачії.

Якщо вимога норм не виконується хоча б по одному з показників, то водний об'єкт або його ділянка вважаються забрудненими.

При рибогосподарському використанні водного об'єкта норми якості води повинні виконуватись в усьому водному об'єкті, починаючи з контрольного створу, який визначається у кожному конкретному випадку органами охорони навколишнього природного середовища України, але не далі як за 500 м від місця скиду стічних вод [17].

Якщо природні властивості і склад води не відповідають нормам водокористування, то ці природні властивості та склад води повинні витримуватись у місцях водокористування.

Оцінку якості вод зручно виконувати у табличній формі.

### **3.4 Норми якості вод країн ЄС**

З метою впорядкування українського законодавства із законодавством Європейського Співтовариства (ЄС) подальший законодавчо-нормативний розвиток в Україні у галузі охорони та раціонального використання водних ресурсів буде здійснюватися на основі Директив Ради ЄС у цій галузі [18].

Директиви Ради ЄС у відношенні вод, що використовуються для купання, пиття й у рибогосподарських цілях, були прийняті ще у 1976 р. В 1980-х і 1990-х роках у ці Директиви вносились зміни та доповнення.

Фізичні, хімічні та мікробіологічні параметри (показники), які встановлюються для води при тому або іншому водокористуванні (дод. А - Д), містяться у додатках до Директив і є їх невід'ємною частиною.

Країни – члени Співтовариства зобов'язані встановити нормативи не менш жорсткі, ніж нормативи, зазначені у додатках як обов'язкові (у відповідному стовпчику). Ці країни мають право у будь-яку мить встановити більш жорсткі нормативи. Якщо у додатках для будь-яких показників не наведені нормативи, то країни – члени Співтовариства можуть не встановлювати для них ніяких значень до моменту, поки ці значення не будуть визначені.

Якщо значення показника в додатках вказане як оптимальне (стоїть у відповідному стовпчику), то незалежно від того, вказане чи ні його обов'язкове значення, країни – члени Співтовариства під час встановлення своїх нормативів повинні намагатися дотримуватись цих значень.

Країни – члени Співтовариства повинні ухвалити заходи щодо забезпечення того, щоб у 10-річний строк з моменту опублікування Директиви якості води, яка використовується задля того або іншого водокористування, відповідали прийнятим нормативам.

Держави – члени Співтовариства повинні ввести в дію закони, правила та адміністративні правові акти, необхідні для виконання Директив та додатків до них, протягом двох років з моменту їх опублікування.

До Комісії повинні бути подані тексти основних правових актів національного законодавства, які приймаються за умов, що регулюються Директивами.

### **3.5 Норми якості морських вод**

Діючі на даний час «Санітарні правила та норми охорони прибережних вод морів від забруднення у місцях водокористування населення» [19] мають метою попередження та усунення існуючого

забруднення морських вод, що може привести до розвитку інтоксикації та зниження оздоровлюючого ефекту морського водокористування, виникненню інфекційних захворювань та ін.

З метою охорони районів водокористування від забруднення, забезпечення безпеки їх використання для рекреаційних, лікувально-оздоровчих, господарсько-побутових потреб населення та створення безпечних умов для виробництва аквакультур устанавлюються райони морського водокористування, що охороняються, включаючи райони морського водокористування, зони санітарної охорони та прибережну полосу суші.

Межа для прибережного району морського водокористування встановлюється глибиною в напрямку моря не менш 2 миль (приблизно 3,9 км). В залежності від конкретних санітарних, гідрофізичних, топографічних та ін. особливостей розміри району морського водокористування у напрямку моря можуть бути збільшені.

Зоною санітарної охорони для районів водокористування внутрішніх морів є вся акваторія морських вод. Межа охороняємої території суші встановлюється шириною не менш 2 км.

Склад та властивості морських вод районів моря, що охороняються (район водокористування та зони санітарної охорони), повинні відповідати вимогам, наведеним у табл. 3.5 – 3.6.

Також, згідно «Правил охорони внутрішніх морських вод і територіального моря України від забруднення та засмічення» [20], прийняті гранично допустимі нормативи концентрацій основних поллютантів в морському середовищі (табл. 3.7).

Заслуговує уваги також СанПіН 2.1.5. 2582-10 [21], затверджений в 2010 р. в Росії, який встановлює обов'язкові вимоги санітарно-епідеміологічні вимоги до охорони прибережних територіальних і внутрішніх вод морів, які використовуються та є перспективними для рекреаційного, лікувально-оздоровчого, господарсько-питного та культурно-побутового морського водокористування населення. Вимоги щодо складу та якості морських вод наведено в табл. 3.8.

### **3.6 Норми якості мінеральних вод**

Згідно з сучасними уявленнями під назвою «мінеральні води» мають на увазі насамперед підземні води, які мають лікувальну дію на організм людини, що обумовлено або підвищеним вмістом корисних біологічно активних компонентів, їхнім іонним чи газовим складом, або загальним іонно-сольовим складом. Крім того, іноді до них відносять води, які можуть використовуватися для вилучення розчинених в них компонентів

Таблиця 3.5 – Вимоги до складу і властивостей морської води у місцях водокористування населення та зонах санітарної охорони [19]

Показники складу і властивостей морської води	Вимоги і нормативи гранично допустимих показників складу та властивостей води	
	Район водокористування	Зона санітарної охорони
Плаваючі домішки	Відсутність незвичайних для морської води плаваючих речовин, що плавають на поверхні й у верхньому шарі води	Відсутність незвичайних для морської води плаваючих речовин, що плавають на поверхні й у верхньому шарі води
Запахи	Інтенсивність незвичайних для морської води запахів не повинна перевищувати поріг сприйняття (2 бали)	Інтенсивність незвичайних для морської води запахів не повинна перевищувати поріг сприйняття (2 бали)
Прозорість	Не менш 30 см за шкалою Снеллена	Не менш 30 см за шкалою Снеллена
Фарбування	Не припускається в стовпчику води морської води 10 см	Не регламентується
<i>pH</i>	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Розчинений $O_2$	Не менш 4,0 мг/дм <sup>3</sup>	Не менш 4,0 мг/дм <sup>3</sup>
БСК <sub>5</sub>	Не більш 3,0 мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	Не більш 3,0 мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>
Хімічний речовини (виключаючи сольовий склад морської води)	Вміст не повинен перевищувати ГДК	Не регламентується

Таблиця 3.6 – Вимоги до якості морських вод по санітарно-мікробіологічних показниках в районах водокористування населення [19]

Показники	Кількість мікроорганізмів в 1 дм <sup>3</sup> води (індекс) не повинна перевищувати			
	Купання	Водний спорт, а також в межах населених місць	Місця водозабору для водолікарень та басейнів	Місця водозабору для установок для опріснення
Збудники інфекційних захворювань	Не повинні визначатися			
Лактозопозитивні кишкові палички	5000	10000	100	1000
Коліфаги	100	-	-	-

Таблиця 3.7 – Нормативи ГДК забруднювальних речовин у внутрішніх морських водах та територіальному морі України [20]

Показник	Значення
Розчинений $O_2$ , мг/дм <sup>3</sup>	Не нижче ніж 4
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Фонові значення району водокористування
Солоність, г/дм <sup>3</sup>	12 - 18
Сульфати, г/дм <sup>3</sup>	3,5
Хлор-іон, г/дм <sup>3</sup>	11,9
Амоній сольовий, мг/дм <sup>3</sup>	0,5
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	40
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,08
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,05
БСК <sub>повн</sub> , мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	Не більше ніж 3
Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,05
Рівень токсичності води (на основі біотестування)	Нетоксична
Водневий показник, од. $pH$	6,5 - 8,5
Колі-індекс, кл./дм <sup>3</sup>	1000-10000
Індекс колі-фага, кл./дм <sup>3</sup>	Не більше ніж 100

(*NaCl, I, Br, B, Cu, W, Rb, Cs* тощо), тобто промислові цінні мінеральні води.

Основним показником для віднесення тих чи інших природних вод (підземних, рідше поверхневих) до мінеральних є їхні лікувальні властивості, тобто такі природні води, які чинять на організм людини лікувальну дію завдяки своїм фізичним і хімічним властивостям. Фізичні і хімічні властивості визначаються багатьма ознаками: загальною мінералізацією, іонно-сольовим, газовим складом і газонасиченістю, вмістом фармакологічно активних (мінеральних і органічних) компонентів, радіоактивністю, реакція водного середовища, температурою [2].

Найприйнятнішим здається визначення В.В. Іванова та Г.О. Невраєва [22]: «лікувальними мінеральними водами називаються природні води, які містять у собі у підвищених концентраціях ті чи інші мінеральні (рідше органічні) компоненти і гази і мають які-небудь фізичні властивості (радіоактивність, температура, реакція середовища та ін.), що визначають їхню лікувальну дію на організм людини, яка відрізняються у тій чи іншій мірі від дії прісної води».

Мінеральні лікувальні води класифікуються за такими ознаками:

1) за застосуванням – для зовнішнього та внутрішнього застосування;

2) за іонно-сольовим складом внутрішнього застосування (питні) В.В. Іванов і Г.О. Невраєв розділили на класи та підкласи за аніонним ( $HCO_3$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl$ ) та катіонним ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) складом;

3) за ступенем мінералізації - малої (2 – 5 г/дм<sup>3</sup>), середньої (5 – 10 г/дм<sup>3</sup>) та високої (10 – 35 г/дм<sup>3</sup>) мінералізації, а також ропні (35 –

Таблиця 3.8 - Вимоги до складу й властивостей морської води в контрольних пунктах і місцях водокористування населення по санітарно-хімічних, фізико-хімічних і радіологічних показниках [21]

№	Показники	Категорії морського водокористування	
		<u>Перша категорія:</u> для господарсько-питного водопостачання, місць водозабору для плавальних басейнів, водолікарень	<u>Друга категорія:</u> для рекреаційного водокористування, а також в межах населених місць
1	Прозорість	Не менш 30 см за шрифтом Снеллена	Не менш 30 см за шрифтом Снеллена
2	Плаваючі домішки	Відсутність незвичайних для морської води плаваючих речовин на поверхні й у верхньому шарі води (у т.ч. плівки нафтопродуктів, масел, жирів і скупчення інших домішок)	
3	Кольоровість	Не повинна виявлятися в стовпчику морської води	
		10 см	10 см
4	Запахи	Вода не повинна мати незвичайні для морської води запахи інтенсивністю більше 2 балів	
5	Температура	Літня температура води в результаті скидання стічних вод не повинна підвищуватися більш ніж на 3°C у порівнянні із середньомісячною температурою води самого жаркого місяця року за останні 10 років	
6	Водневий показник (pH)	6,5-8,5 (відхилення від фону не більше ±1)	
7	Розчинений кисень	Не повинен бути менш 4 мг/дм <sup>3</sup> у будь-який період року, у пробі, відібраній до 12 годин дня	
8	Біохімічне споживання кисню (БСК <sub>5</sub> )	Не повинне перевищувати при температурі 20 °С	
		2 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	4 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
9	Хімічне споживання кисню (ХСК)	Не повинне перевищувати:	
		15 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	30 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
10	Хлор залишковий сумарний	Відсутність	
11	Хімічні речовини	Не повинні перевищувати ГДК або ОДР для водних об'єктів господарсько-питного й культурно-побутового водокористування (крім речовин природного походження, що містяться в морській воді в кількостях, що перевищує нормативи)	
12	Речовини природного походження, що містяться в морській воді в кількостях, що перевищує нормативи	Збільшення або зменшення фонових концентрацій не більше ніж на 0,5 ГДК	

№	Показники	Категорії морського водокористування	
		<u>Перша категорія:</u> для господарсько-питного водопостачання, місць водозабору для плавальних басейнів, водолікарень	<u>Друга категорія:</u> для рекреаційного водокористування, а також у чорті населених місць
13	Сумарна питома активність радіонуклідів при спільній присутності	Відповідно до вимог СанПіН 2.6. 1.2523-09 «Норми радіаційної безпеки (НРБ-99/2009)» (Зареєстровані Мін'юстом Росії 14.08.2009, реєстраційний номер 14534)	

150 г/дм<sup>3</sup>), міцні ропні (> 150 г/дм<sup>3</sup>); для вод, що містять біологічно активні компоненти, виділяються група вод слабкої мінералізації (< 1 г/дм<sup>3</sup>);

4) за температурою – холодні (< 20°C), субтермальні (20 - 37°C) і термальні (37 - 42°C) мінеральні води;

5) за радіоактивністю розрізняють радонові, радієві або радієносні, радоно-радієві та уранові (слаборадонові – 185-1480 Бк/дм<sup>3</sup>, середньорадонові - 1480-7400 Бк/дм<sup>3</sup>, високорадонові > 7400 Бк/дм<sup>3</sup>);

6) за величиною рН – сильнокислі (3,5), кислі (3,5 – 5,5), слабокислі (5,5 – 6,8), нейтральні (6,8 – 7,2), слаболужні (7,2 – 8,5) і лужні (8,5);

7) за вмістом основних біологічно активних компонентів (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S+HS<sup>-</sup>, As, Fe, I, Br, B, H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, Rn, органічні речовини) мінеральні води мають відповідні найменування: вуглекислі, сірководневі (сульфідні), миш'яковисті, залізисті, бромні, йодні, борні, кременисті, радонові, утримуючі органічні речовини.

Лікувальні властивості мінеральних вод обумовлені також їхньою температурою і величиною рН. Загальноприйнятих міжнародних норм щодо вмісту біологічно активних компонентів для віднесення природних вод до лікувальних дотепер немає. Наприклад, у колишньому СРСР для віднесення природних вод до мінеральних діяли такі норми мінімального вмісту в них біологічно активних компонентів: CO<sub>2</sub> – 500 мг/дм<sup>3</sup>; H<sub>2</sub>S+HS<sup>-</sup> - 10 мг/дм<sup>3</sup>; As - 0,7 мг/дм<sup>3</sup>; Fe - 10 мг/дм<sup>3</sup>; I - 5 мг/дм<sup>3</sup>; Br - 25 мг/дм<sup>3</sup>; H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> – 50 мг/дм<sup>3</sup>; Rn – 185 Бк/дм<sup>3</sup>. Мінеральні лікувальні води часто містять не один, а два або кілька біологічно активних компонентів, тобто можуть бути моно-, бі- і полікомпонентні. Найбільшою розмаїтістю характеризуються групи полікомпонентних вод.

Відповідно до критеріїв, обумовлених ДСТУ 878-93, ГСТУ 42.10-02-96, Кадастром мінеральних вод СРСР (1987 р.), Кадастром мінеральних вод України (1996 р.), а також кондиціями на родовища мінеральних вод, відкритих в Україні, виділяються такі основні бальнеологічні групи мінеральних вод [2]:

1) група вуглекислих мінеральних вод зі вмістом  $CO_2$  не менш  $0,5 \text{ г/дм}^3$ ;

2) група сульфідних мінеральних вод, які містять  $H_2S+HS^-$  не менш  $10 \text{ мг/дм}^3$ ;

3) група залізистих, миш'яковистих і поліметальних мінеральних вод (залізисті – з мінімальним вмістом  $Fe$   $10 \text{ мг/дм}^3$ , миш'яковисті – з мінімальним вмістом  $As$   $0,7 \text{ мг/дм}^3$ , поліметальні – з підвищеним вмістом одночасно  $Fe, As, Al, Mn, Cu$  та ін.);

4) група бромних, йодові, йодобромних з мінімальним вмістом  $Br$   $25 \text{ мг/дм}^3$  і  $I$   $5 \text{ мг/дм}^3$  (такий вміст  $Br$  і  $I$  вважається кондиційним при мінералізації вод до  $10 \text{ г/дм}^3$ , але при більшій мінералізації вміст  $Br$  і  $I$  мав перелічуватися на води з мінералізацією  $10 \text{ г/дм}^3$ , оскільки  $Br$  і  $I$  відносяться до терапевтично активних компонентів внутрішнього застосування);

5) група радонових вод з мінімальним вмістом  $Rn$   $50$  еман ( $185 \text{ Бк/дм}^3$ );

6) група крем'янистих мінеральних вод з мінімальним вмістом метакремнієвої кислоти ( $H_2SiO_3$ ) не менш  $50 \text{ мг/дм}^3$ ;

7) група мінеральних вод зі вмістом органічних речовин з мінімальним вмістом  $C_{org}$  не менш  $8 \text{ мг/дм}^3$ ;

8) група борних вод з мінімальним вмістом ортоборної кислоти ( $H_3BO_3$ ) не менш  $35 \text{ мг/дм}^3$ ;

9) група вод без специфічних компонентів і властивостей різного іонного складу з загальною мінералізацією не менше  $1 \text{ г/дм}^3$  (бальнеологічна дія на організм людини визначається їхнім основним іонним складом і загальною мінералізацією, яка змінюється від  $1$  до  $25 \text{ г/дм}^3$ ).

Критерії лікувальних мінеральних вод України наведені в табл. 3.9.

Якість мінеральних вод, їхню бальнеологічну здатність визначає не лише наявність в них корисних компонентів, але й відсутність або мінімальний (екологічно безпечний) вміст шкідливих компонентів, які не повинні перевищувати гранично допустимих концентрацій (табл. 3.10).

Якість природних столових, лікувально-столових, лікувальних мінеральних вод повинна відповідати вимогам ДСТУ 878-93 «Води мінеральні питні», а лікувальних мінеральних вод, які використовуються у курортній практиці, - відповідно до галузевого стандарту Міністерства охорони здоров'я України ДСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні» і підтверджена вимогами до кондицій, що розробляються для кожного родовища мінеральних вод.

Згідно із стандартом, мінеральні води за органолептичними показниками повинні відповідати таким вимогам: 1) зовнішній вигляд – прозора рідина без побічних вкраплень, з незначним натуральним осадом мінеральних солей; 2) колір – безбарвна рідина або рідина з відтінком від



Таблиця 3.9 – Основні критерії лікувальних мінеральних вод України [2]

№ п/п	Показник	Джерело інформації	Граничне значення, не менше	Назва і гідрогеологічна типізація вод
1.	Загальна мінералізація	ДСТУ 878-93 ГСТУ 42.10-02-96	1,0 г/дм <sup>3</sup>	1,0-5,0 г/дм <sup>3</sup> – води малої мінералізації 5,0-15,0 г/дм <sup>3</sup> – води середньої мінералізації 15,0-35,0 г/дм <sup>3</sup> – води високої мінералізації > 35,0 г/дм <sup>3</sup> – розсоли
2.	CO <sub>2</sub>	ГСТУ 42.10-02-96; В.В. Іванов, Г.О.Невраєв, 1977; Є.В. Посохов, М.І. Толстїхін, 1977	0,5 г/дм <sup>3</sup>	0,5-1,4 г/дм <sup>3</sup> – води слабо сульфідні 1,4-2,5 г/дм <sup>3</sup> – води вуглекислі середньої концентрації >2,5 г/дм <sup>3</sup> – води слабо сульфідні
3.	H <sub>2</sub> S+HS <sup>-</sup>	ГСТУ 42.10-02-96; В.В. Іванов, Г.О.Невраєв, 1977; Є.В. Посохов, М.І. Толстїхін, 1977	10,0 мг/дм <sup>3</sup>	10,0-50,0 мг/дм <sup>3</sup> – води слабо сульфідні 50,0-100 мг/дм <sup>3</sup> – води сульфідні середньої концентрації >100 мг/дм <sup>3</sup> – води міцні сульфідні (pH < 6,5 – H <sub>2</sub> S; pH > 7,5 – HS <sup>-</sup> pH = 6,5-7,5 – HS <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> S)
4.	(Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup> )	ДСТУ 878-93	10,0 мг/дм <sup>3</sup>	10,0-40,0 мг/дм <sup>3</sup> – води залізисті 40,0-100 мг/дм <sup>3</sup> – води міцні залізисті >100 мг/дм <sup>3</sup> – води дуже міцні залізисті
5.	As	ДСТУ 878-93	0,7 мг/дм <sup>3</sup>	0,7-5,0 мг/дм <sup>3</sup> – води миш'яковисті 5,0-10,0 мг/дм <sup>3</sup> – води міцні миш'яковисті >10,0 мг/дм <sup>3</sup> – води дуже міцні миш'яковисті
6.	Br	ДСТУ 878-93	25,0 мг/дм <sup>3</sup>	води бромисті
7.	I	ДСТУ 878-93	5,0 мг/дм <sup>3</sup>	води йодові
8.	Rn	-	50 нКи/дм <sup>3</sup> (185 Бк/дм <sup>3</sup> )	5,0-40,0 нКи/дм <sup>3</sup> – слаборадонові 40,0-200,0 нКи/дм <sup>3</sup> – радонові середньої концентрації > 200 нКи/дм <sup>3</sup> – слаборадонові
9.	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	ДСТУ 878-93	50,0 мг/дм <sup>3</sup>	води крем'янисті
10.	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	ДСТУ 878-93	35,0 мг/дм <sup>3</sup>	води борні
11.	Сорг	ДСТУ 878-93	35,0 мг/дм <sup>3</sup>	води з підвищеним вмістом органічних речовин типу «Нафтуса» або нафтусеподібні
12.	Температура	-	20°C	20°C-37°C – слаботермальні 37°C-42°C – термальні > 42°C – високотермальні

Таблиця 3.10 – Гранично допустимі концентрації хімічних елементів і сполук у мінеральних водах України, мг/дм<sup>3</sup> (ДСТУ 873, ГСТУ 42.10-02-96)

Назва компоненту	Гранично допустимі концентрації (ГДК)	
	в лікувально-столових водах	в природних столових водах
$NO_3^-$	50,0	50,0
$NO_2^-$	2,0	2,0
<i>As</i>	1,5	0,05
<i>Pb</i>	0,1	0,1
<i>Zn</i>	5,0	5,0
<i>Se</i>	0,05	0,05
<i>U</i>	1,8 (23,8 Бк/дм <sup>3</sup> )	1,8 (23,8 Бк/дм <sup>3</sup> )
<i>Cd</i>	0,01	0,01
<i>Cu</i>	1,0	1,0
<i>V</i>	0,4	0,4
<i>Hg</i>	0,02	0,005
<i>Cr</i>	0,5	0,5
<i>Sr</i>	25,0	25,0
<i>Ra</i>	$5 \cdot 10^{-7}$ (18,5 Бк/дм <sup>3</sup> )	1,8 (28,5 Бк/дм <sup>3</sup> )
<i>F</i>	10,0	1,5
$C_6H_5OH$	0,1	0,001
Інші органічні речовини (в розрахунку на $C_{орг}$ )	30,0	8,0

жовтуватого до зеленкуватого; 3) смак і запах – характерні для комплексу розчинених у воді речовин. Оцінюють органолептичні показники таким чином: прозорість і колір мінеральної води визначають візуально в чистій склянці, при денному світлі або люмінесцентному освітленні; для визначення запаху мінеральну воду закупорюють в пляшки, поміщають у бак з водою і витримують протягом однієї години при температурі 20-30°C. Визначення проводять одразу після наповнення водою дегустаційної склянки; для визначення смаку воду у закупорених пляшках поміщають у бак з водою і льодом і витримують протягом однієї години при температурі 12±1°C. Визначення проводять одразу після наповнення водою дегустаційної склянки.

Концентрація таких компонентів, як нітрати, нітроти, миш'як, свинець, цинк, селен, уран, кадмій, мідь, ванадій, ртуть, хром, стронцій, радій, фтор, феноли, і ще деяких інших органічних речовин визначається цим стандартом і не повинна бути більшою.

Також воду оцінюють за її мікробіологічними показниками. Загальне мікробне число (ЗМЧ), колонієутворюючих одиниць (КУО) в 1 см<sup>3</sup> має бути не більше 100. Кількість бактерій групи кишкових паличок, які викликають дизентерію (колі-індекс) в 1 дм<sup>3</sup>, не більше 3. А наявність

синьогнійної палички (*Pseudomonas aeruginosa*), КУО в 1 дм<sup>3</sup> взагалі не допускається, оскільки вона спричинює розпад тканин.

До речі, в Україні вода контролюється за 28 показниками, тимчасом як у розвинених країнах вона перевіряється на наявність не менше сотні різноманітних забруднювальних речовин, небезпечних для здоров'я. Так, наприклад, у США національні первинні нормативи питної води вимагають досліджувати її на наявність двох десятків неорганічних компонентів і понад п'ятдесят органічних сполук (далі йдуть такі показники, як радіонукліди, мікроорганізми та ін.). Окрім максимально допустимих рівнів забруднення (MCL), американці ввели показники, що характеризують рівень повної безпеки для здоров'я (MCLG), оскільки існують хімічні сполуки (акриламід, алахлор, бензол, діоксин, гептахлор та ін.), при потраплянні яких навіть у наймінімальніших дозах в організм людини виникають тяжкі хронічні захворювання. Кожні п'ять років в США вносять до нормативних вимог зміни, оскільки технічний розвиток спричинює появу нових поллютантів.

### 3.7 Критерії якості іригаційних вод

Зрошення є одним з основних напрямків водоспоживання в сільському господарстві. Погана якість води може позначитися на поливних культурах і ґрунтах через нагромадження солей у кореневій зоні, на зниженні проникності ґрунтів внаслідок надмірного впливу натрію й кальцію або в результаті переносу хвороботворних організмів чи забруднювальних речовин, що є безпосередньо токсичною небезпекою для рослин.

Забруднювальні речовини із зрошувальної води можуть накопичуватися у ґрунті і зробити його через декілька років непридатним для сільського господарства. З іншого боку, речовини, що знаходяться у воді, можуть бути безпечними для рослин, але вони можуть вплинути на якість сільськогосподарської продукції.

Для зрошення сільськогосподарських земель використовують поверхневі, підземні, стічні та зворотні води. Якість цих вод оцінюється за кількістю завислих речовин, мінералізацією, вмістом головних катіонів, температурою. Розмір твердих частинок у воді не повинен перевищувати 0,1 мм, тому що при осіданні на дно вони замулюють іригаційну мережу.

Оптимальна температура іригаційних вод для поливу – 18-20°C.

Існують чотири основних критерії, за якими проводиться оцінка якості зрошувальних (іригаційних) вод: 1) концентрація розчинних солей; 2) концентрація  $Na^+$  щодо концентрації інших основних катіонів; 3) концентрація токсичних елементів, які можуть негативно впливати на

ріст рослин, а також представляти небезпеку для навколишнього середовища; 4) концентрація поживних елементів (іригаційні води можуть містити  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  у значних кількостях).

*Небезпека високої концентрації розчинних солей.* Основними катіонами, які присутні в іригаційних водах, є  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  і  $Na^+$ , а основними аніонами є  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  і  $HCO_3^-$ . Можуть бути присутні й інші іони, однак, як правило, вони не мають значного внеску в солоність. Визначення рівня солоності може проводитися шляхом вимірювання електропровідності, яка виражається в мікроСіменсах на сантиметр ( $\mu S/cm$ ). У випадках, коли рівень солоності іригаційних вод досить високий, дуже важливо добре дренувати ґрунт, а також промивати його надлишком іригаційної води.

*Небезпека концентрації  $Na^+$  щодо концентрації інших основних катіонів.* Застосування іригаційних вод, які містять високі концентрації  $Na^+$  щодо концентрацій  $Ca^{2+}$  та/або  $Mg^{2+}$ , може призвести до збільшення частки вільного, здатного до обміну  $Na^+$  в ґрунті. Це, у свою чергу, призводить до збільшення  $pH$  ґрунту до 8,5 і вище, тобто ґрунт починає домінувати  $Na^+$ . Колоїдні частинки ґрунту розчиняються, в результаті чого у подальшому формується безперервна протяжна фізична структура, надзвичайно утрудняє перколяцію та інфільтрацію води. Ґрунт стає дуже щільною, й і в набряклому стані практично не пропускає воду. Чим більше глинозему містилося у вихідному ґрунті, тим гірше волога фільтрується через такий ґрунт, де у поглинальному комплексі домінує  $Na^+$ .

Класифікацію зрошувальних вод щодо здатності їх до осолонцювання ґрунту дає департамент сільського господарства США. Величина негативного впливу натрію оцінюється за величиною  $SAR$  (частки  $Na^+$  щодо  $Ca^{2+}$  та  $Mg^{2+}$ ) щодо загальної солоності. Формула, за якою проводиться визначення  $SAR$ , виглядає наступним чином:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}. \quad (3.3)$$

Відповідно до величини  $SAR$  виділяється 4 типи вод: слаболужні з малою небезпекою осолонцювання (0 – 10), середньолужні з середньою небезпекою осолонцювання (10 – 18), сильнолужні з високою небезпекою осолонцювання (18 – 26) і сильнолужні з дуже високою небезпекою осолонцювання (> 26) [23].

*Концентрація токсичних елементів.* Деякі елементи є токсичними для рослин. Однак, для кожного виду рослин токсичними можуть бути різні сполуки, так що поняття «токсичності», взагалі кажучи, залежить від

вирощуваної культури. Елементи, які можуть бути токсичними, - *B, Na* і важкі метали (*As, Co, Cu, Pb, Ni, Zn*).

*Концентрація поживних елементів.* Високий рівень нітратів і фосфатів у іригаційних водах представляє собою екологічну небезпеку, однак, з іншого боку, ці аніони поставляють в ґрунт додаткові кількості азоту і фосфору. Іригаційні води, що містять 10 ppm (10 мг/дм<sup>3</sup>) нітратного азоту, постачають 30 кг азоту на кожен об'єм води з площі 1 га і висотою 30 см.

Залежно від мінералізації А.М. Костяков іригаційні властивості вод характеризує так [23]:

1) вода, у якій не більше 400 мг/дм<sup>3</sup> розчинених солей, - добре підходить для поливу;

2) вода, у якій від 400 до 1000 мг/дм<sup>3</sup> розчинених солей, потребує обережного підходу з урахуванням комплексу умов її використання (температура, співвідношення основних іонів і т.д.);

3) вода, у якій від 1000 до 3000 мг/дм<sup>3</sup> розчинених солей, засолює ґрунт.

Для оцінки якості іригаційних вод за вмістом іонів використовують *іригаційний коефіцієнт (K<sub>a</sub>)* – показник якості зрошувальної води, величина якого коливається від < 1,2 (незадовільна якість води) до > 18 (добра якість води). Розраховується для різних типів води за формулами:

$$\text{а) при } HCO_3^- > Ca^{2+} + Mg^{2+} - K_a = 662 / Na^+ - 32Cl^- - 0,43SO_4^{2-}, \quad (3.5)$$

$$\text{б) при } HCO_3^- < Ca^{2+} + Mg^{2+} < HCO_3^- + SO_4^{2-} - K_a = 6620 / Na^+ - 2,6Cl^-, \quad (3.6)$$

$$\text{в) при } HCO_3^- + SO_4^{2-} < Ca^{2+} + Mg^{2+} (Cl^- > Na^+) - K_a = 2040/Cl^-, \quad (3.7)$$

де вміст  $Na^+$ ,  $Cl^-$  і  $SO_4^{2-}$  в мг/дм<sup>3</sup>.

Крім того, іригаційний коефіцієнт може визначатися як відношення іонів ( $Na^+ + K^+$ ) до  $Ca^{2+}$  у мг-екв/дм<sup>3</sup>:

$$K_a = \frac{0,8(Na^+ + K^+)}{Ca^{2+}} < 1,0. \quad (3.8)$$

Вченими Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського УААН (С.А. Балюк та ін.), Українського наукового гігієнічного центру Мінздраву України (Г.Я. Чегринець та ін.), Інституту гідротехніки та меліорації УААН (М.І. Ромащенко), Харківського державного педагогічного університету (Т.О. Грінченко), Всеросійського науково-дослідного інституту гідротехніки та меліорації (С.Я. Бездніна) розроблені екологічні критерії якості води для зрошення [24].

Оцінка якості води для зрошення за екологічними критеріями проводиться з метою попередження можливого негативного впливу на компоненти природного середовища та здоров'я населення. Вплив може проявлятися в зміні: 1) стійкості ґрунтових систем, в тому числі характеристик родючості ґрунтів та їх відповідність санітарно-гігієнічним вимогам; 2) санітарно-гігієнічного стану та харчової якості сільськогосподарської продукції рослинництва та тваринництва; характеристик гідрохімічного та санітарно-гігієнічного стану поверхневих та підземних вод.

Нормування показників якості води для зрошення за екологічними критеріями здійснюється в умовах, коли рівень ґрунтових вод не перевищує критичного рівня при рекомендованих режимах зрошення.

При оцінці якості води для зрошення за екологічними критеріями виділяють два класи води: *I клас – «придатна», II клас – «обмежено придатна»*. Вода більш низької якості, показники якої виходять за межі значень II класу, непридатна для зрошення без попереднього поліпшення її складу і властивостей. Води II класу використовують для зрошення за умов екологічного контролю та обов'язкового застосування комплексу агро меліоративних заходів. Якщо за різними групами показників воду віднесено до різних класів якості води для зрошення, загальну оцінку здійснюють за гіршим показником.

Нормування якості води для зрошення за екологічними критеріями відповідно до ГОСТ 17.1.2.03 належить проводити за двома групами показників якості води:

а) *перша група* - властивості води та вміст речовин, які в певній кількості необхідні для нормального функціонування агро екосистеми (нормування показників здійснюється з позицій біологічної повноцінності та позитивного впливу на екологічне благополуччя об'єктів навколишнього природного середовища);

б) *друга група* - властивості води та вміст речовин, які негативно впливають на стан та функціонування агро екосистеми та компонентів навколишнього природного середовища (нормування показників здійснюється з позицій умов придатності води для зрошення).

*Перша група* містить такі загально-екологічні та еколого-гігієнічні показники: вміст азоту, мг/дм<sup>3</sup>; вміст мікроелементів (*Mn, Fe, Cu, B, Co, Zn, Mo*) і *F*, мг/дм<sup>3</sup>; величина БСК<sub>5</sub>, мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

*Друга група* містить такі показники:

а) *еколого-токсикологічні*: вміст важких металів (*Pb, Hg, Cd, Se, As, ΣCr, V, Ni, V*), мг/дм<sup>3</sup>; вміст пестицидів, мг/дм<sup>3</sup>; вміст фенолів, ціанідів, мг/дм<sup>3</sup>; вміст нафти і нафтопродуктів, мг/дм<sup>3</sup>; вміст детергентів, мг/дм<sup>3</sup>;

б) *санітарно-бактеріологічні*: наявність бактерій групи кишкової палички (колі-індекс); наявність фагів кишкової палички (індекс колі-

фагів); наявність патогенної мікрофлори; наявність життєздатних яєць гельмінтів; радіоактивні речовини.

Оцінку якості зрошувальної води за показником вмісту макроелементів живлення рослин здійснюють з метою попередження погіршення еколого-гігієнічних показників поживної цінності сільськогосподарської продукції, а також еколого-гігієнічного стану підземних та поверхневих вод.

Оцінюють у воді вміст тільки мінерального азоту без урахування вмісту та співвідношення у воді різних його форм, які трансформуються, коли надходять в ґрунт із зрошувальною водою. Нормується загальне навантаження азоту на зрошувальні ґрунти: сумарне надходження азоту в ґрунт в кг діючої речовини на гектар з основним внесенням добрив та зрошувальною водою (розраховано за вмістом азоту у воді в мг/дм<sup>3</sup> та загальному об'єму води за період зрошення в м<sup>3</sup>/га) не повинно перевищувати максимально припустимих річних доз азотних добрив при зрошенні по зонах України (лісостеп, степ) [24].

Якщо вони перевищені, необхідно корегувати дози внесення азотних добрив в підживлення. В таких випадках, коли зрошення сільськогосподарських культур здійснюють без внесення азотних добрив (багаторічні бобові трави), воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст мінерального азоту не перевищує 15 мг/дм<sup>3</sup>.

Оцінку якості води за вмістом мікроелементів та важких металів здійснюють з метою попередження негативного впливу на сільськогосподарські рослини, ґрунти, підземні та поверхневі води. Оцінку якості зрошувальної води за вмістом окремих мікроелементів та важких металів проводять згідно з табл. 3.11 з урахуванням пріоритетності показників та ступеню небезпеки елементів (з урахуванням класифікації мікроелементів та важких металів за ступенем небезпеки в зрошувальній воді) [24].

Оцінку якості води за вмістом пестицидів здійснюють з метою попередження негативного впливу на сільськогосподарські рослини та поверхневі води, рослинний та тваринний світ. Вміст пестицидів, як суми залишкової кількості діючої речовини та продуктів метаболізму, в зрошувальній воді лімітовано (перелік пестицидів наведено згідно ГОСТ 17.4.1.02 та СанПіН 4630), а також за класифікацією пестицидів за ступенем небезпеки в зрошувальній воді, ґрунтах та рослинах (з урахуванням класифікації пестицидів за ступенем небезпеки в зрошувальній воді ґрунтах та рослинах) [24].

Якщо вміст пестицидів у воді не перевищує ГДК (табл. 3.12), воду відносять до класу I «придатна». В тому разі, коли вміст одного чи декількох пестицидів перевищує ГДК, оцінку якості води проводять з урахуванням ступеню небезпеки пестицидів. Воду відносять до класу II «обмежено придатна», якщо вміст пестицидів, віднесених до класу «мало

Таблиця 3.11 - Оцінка якості зрошувальної води за вмістом мікроелементів та важких металів (мг/дм<sup>3</sup>)

Назва елемента	Оцінка якості води	
	I клас	II клас
Алюміній	< 2,0	2,0 - 5,0
Літій	< 1,0	1,0 - 2,5
Залізо*	< 2,0 (0,3)**	2,0 - 5,0
Цинк*	< 0,5	0,5 - 1,0
Марганець*	< 0,5	0,5 - 1,0
Хром (Cr <sup>3+</sup> )*	< 0,2	0,2 - 0,5
Молібден	< 0,005	0,005 - 0,01
Ванадій	< 0,05	0,05 - 0,1
Вольфрам	< 0,03	0,03 - 0,05
Вісмут	< 0,05	0,05 - 0,1
Фтор	< 0,8	0,8 - 1,5
Бор*	< 0,2	0,2 - 0,5
Селен	< 0,01	0,01 - 0,02
Нікель*	< 0,08	0,08 - 0,2
Мідь*	< 0,08	0,08 - 0,2
Хром (Cr <sup>6+</sup> )*	< 0,05	0,05 - 0,1
Кобальт*	< 0,02	0,02 - 0,05
Свинець*	< 0,02	0,02 - 0,05
Кадмій*	< 0,005	0,005 - 0,01
Ртуть*	< 0,002	0,002 - 0,005
Берилій	< 0,05	0,05 - 0,01
Миш'як	< 0,02	0,02 - 0,05

Примітки: \* Пріоритетна група елементів згідно з ГОСТ 17.1.2.03; \*\* для крапельного зрошення.

небезпечні», не перевищує 2 ГДК. Воду вважають непридатною для зрошення, якщо перевищено ГДК пестицидів, віднесених до класів «помірно небезпечні» та «дуже небезпечні».

Оцінку якості води за еколого-гігієнічними та еколого-токсикологічними показниками - БСК<sub>5</sub>, вмісту фенолів, ціанідів, нафти та нафтопродуктів, детергентів здійснюють з метою попередження зниження здатності ґрунтів до самоочищення, а також погіршення гігієнічного стану та харчової якості сільськогосподарської продукції. Воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст цих речовин не перевищує ГДК (табл. 3.13).

Оцінку зрошувальної води за небезпекою погіршення санітарно-бактеріологічного стану природного середовища здійснюють з метою попередження прямого негативного впливу на стан агроєкосистеми та навколишнього природного середовища, та непрямого впливу на здоров'я людини, тому гігієнічні вимоги до зрошувальної води такі ж, як і до води господарчо-питного водокористування.



Таблиця 3.12 - Гранично допустимі концентрації пестицидів у зрошувальній воді

Найменування пестициду	ГДК у зрошувальній воді, мг/дм <sup>3</sup>
Дактал	1,0
Дилор	0,1
Полікарбацин	2,0
Прометрін	3,0
Трихлорацетат натрію	5,0
Цинеб	0,03
2,4-Д амінна сіль	0,2
Далапон	2,0
Карбофос	0,05
Пропанід	0,1
Сімазін	0,02
Трефлан	1,0
Хлорофос	0,05
Ялан (ордрам)	0,07
Рогор	0,03
Атразін	0,05
Гексахлорбугадієн	0,01
ДДТ	0,1
ПХК (поліхлоркамфен)	0,005
ПХП (поліхлорпинен)	0,02
Севін	0,1
Метафос	0,02
Гептахлор	0,05
ГХЦХ	0,02
Гранозан	0,0001

Таблиця 3.13 - Гранично допустимі концентрації БСК<sub>5</sub>, фенолів, ціанідів, нафти, нафтопродуктів та детергентів у зрошувальній воді

Найменування речовини	ГДК у зрошувальній воді, мг/дм <sup>3</sup>
БСК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	10,0
Феноли	0,005
Ціаніди	0,05
Нафта багатосірчана	0,2
Нафта інша та нафтопродукти	0,3
Детергенти	0,1

Воду вважають придатною для зрошення, якщо вона відповідає таким вимогам: колі-індекс не повинен перевищувати 1000 одиниць в 1 дм<sup>3</sup>; індекс колі-фагів не повинен перевищувати 100 одиниць в 1 дм<sup>3</sup>; вміст епідеміологічно небезпечних збуджувачів тифу, паратифу, патогенних ешерихій, сальмонел не допускається; вміст життєздатних яєць гельмінтів не допускається.

### 3.8 Критерії якості питної води

16.07.2010 р. було оприлюднено Наказ Міністерства охорони здоров'я № 400 від 12.05.2010 р., яким затверджено нові Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-400-10) [25].

Порівняно з колишніми ДСанПіН №383 «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» значно поширена кількість показників безпечності та якості питної води.

Для виробництва питної води слід надавати перевагу воді підземних джерел питного водопостачання населення, надійно захищених від біологічного, хімічного та радіаційного забруднення, але санітарні норми не поширюються на води мінеральні лікувальні, лікувально-столові, природні столові.

Згідно ДСанПіН 2.2.4-400-10, до безпечності та якості питної води, призначеної для споживання людиною, пред'являються такі гігієнічні вимоги: питна вода, призначена для споживання людиною, повинна бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад; для виробництва питної води слід надавати перевагу воді підземних джерел питного водопостачання населення, надійно захищених від біологічного, хімічного та радіаційного забруднення.

Гігієнічну оцінку безпечності та якості питної води проводять за показниками епідемічної безпеки (мікробіологічні, паразитологічні), санітарно-хімічними (органолептичні, фізико-хімічні, санітарно-токсикологічні) та радіаційними показниками.

Мікробіологічні та паразитологічні показники епідемічної безпеки питної за води наведені в дод. Е.

Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води наведені в дод. Є - 3.

Під час вибору вододжерела та технології водопідготовки у разі будівництва чи реконструкції підприємства питного водопостачання населення слід надавати перевагу джерелам та технологіям, що забезпечать виробництво питної води з оптимальним вмістом мінеральних речовин за показниками фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води:

- загальна жорсткість – 1,5 - 1,7 ммоль/дм<sup>3</sup>;
- загальна лужність - 0,5 - 6,5 ммоль/дм<sup>3</sup>;
- йод – 20 - 30 мкг/дм<sup>3</sup>;
- калій – 2 - 20 мг/дм<sup>3</sup>;
- кальцій – 25 - 75 мг/дм<sup>3</sup>;

- магній – 10 - 50 мг/дм<sup>3</sup>;
- натрій – 2 - 20 мг/дм<sup>3</sup>;
- сухий залишок – 200-500 мг/дм<sup>3</sup>;
- фториди – 0,7-1,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Безпечність та якість питної води за мікробіологічними та паразитологічними показниками повинна відповідати гігієнічним нормативам, наведеним у дод. Е. Паразитологічні показники визначають у питній воді поверхневих та підземних (грунтові води) джерел питного водопостачання населення.

Безпечність та якість питної води за органолептичними, фізико-хімічними та санітарно-токсикологічними показниками повинна відповідати гігієнічним нормативам, наведеним у дод. Є.

Якщо під час виробництва питної води проводиться знезараження, виробник повинен вжити заходів щодо мінімізації забруднення питної води побічними продуктами знезараження.

Вміст у питній воді шкідливих речовин, не зазначених у Санітарних нормах, не повинен перевищувати їх ГДК, визначених санітарними нормами для поверхневих вод.

За наявності у питній воді декількох речовин з однаковою лімітуючою ознакою шкідливості, що належать до I та II класів небезпеки, сума відношення концентрацій ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) кожної із речовин до відповідної ГДК не повинна перевищувати одиницю:

$$C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 + \dots C_n/ГДК_n \leq 1. \quad (3.9)$$

У разі забруднення питної води невідомими токсичними сполуками та хімічними речовинами, для визначення яких відсутні методи дослідження, рекомендується застосовувати допоміжний інтегральний (експресний) показник якості питної води – індекс токсичності питної води, розрахований за результатами біологічних тестів (біотестування):

$$T = \frac{I_k - I_o}{I_k} \cdot 100\%, \quad (3.10)$$

де  $T$  - індекс токсичності проби досліджуваної води;

$I_k$  - величина тест-реакції у контрольній пробі;

$I_o$  - величина тест-реакції у досліджуваній пробі.

Індекс токсичності питної води, яка не містить неідентифікованих компонентів, не повинен перевищувати 50% незалежно від використовуваних тест-об'єктів, якими можуть бути дафнії, інфузорії тощо.

Під час гігієнічної оцінки радіаційної безпечності питної води у місцях водозаборів поверхневих та підземних джерел питного

водопостачання попередньо визначаються питомі сумарні  $\alpha$ - і  $\beta$ -активності за показниками: сумарна  $\alpha$ -активність  $\leq 0,1$  Бк/дм<sup>3</sup>, сумарна  $\beta$ -активність  $\leq 1$  Бк/дм<sup>3</sup>.

При цьому у разі встановлення перевищення питомої сумарної  $\alpha$ -активності у питній воді з підземних джерел водопостачання необхідно визначати питому сумарну активність природної суміші ізотопів урану ( $U$ ), питомі активності радію ( $^{226}Ra$ ,  $^{228}Ra$ ) та радону ( $^{222}Rn$ ), а у разі встановлення перевищення питомої сумарної  $\beta$ -активності у питній воді з поверхневих та підземних джерел водопостачання - питомі активності цезію ( $^{137}Cs$ ) та стронцію ( $^{90}Sr$ ). Нормативи радіаційної безпечності питної води такі: сумарна активність природної суміші ізотопів  $U$  - 1 Бк/дм<sup>3</sup>; питома активність  $^{226}Ra$  - 1 Бк/дм<sup>3</sup>; питома активність  $^{228}Ra$  - 1 Бк/дм<sup>3</sup>; питома активність  $^{222}Rn$  - 100 Бк/дм<sup>3</sup>; питома активність  $^{137}Cs$  - 2 Бк/дм<sup>3</sup>; питома активність  $^{90}Sr$  - 2 Бк/дм<sup>3</sup>.

ВООЗ розробила Міжнародний стандарт питної води (МСПВ-73), який використовується в оригіналі або слугує для розробки національних стандартів, з урахуванням місцевих умов. ГДК шкідливих речовин в МСПВ-73 розраховані на споживання з л води на добу [26]. Основні вимоги до якості питної води згідно МСПВ-73 наведено у табл. 3.14.

Таблиця 3.14 - Міжнародний стандарт питної води (МСПВ-73) [26]

Показники	ГДК	МДР
Мутність	до 5 од.	до 25 од.
Колірність	до 20 °С	до 20 °С
Смак і запах	до 2 балів	до 2 балів
Температура	+8-+12 °С	+10-+14 °С
<i>pH</i>	7-8,5	6,5-9,2
Сухий залишок	до 1000 мг/дм <sup>3</sup>	2000-3000 мг/дм <sup>3</sup>
Загальна жорсткість	2 мг-екв./ дм <sup>3</sup>	10 мг-екв./ дм <sup>3</sup>
Залізо у воді, підсиненій еозином	0,3-0,5 мг/дм <sup>3</sup>	0,3-0,5 мг/дм <sup>3</sup>
Залізо у водогінній воді	0,1 мг/дм <sup>3</sup>	1 мг/дм <sup>3</sup>
Хлориди	до 350 мг/дм <sup>3</sup>	600 мг/дм <sup>3</sup>
Сульфати	400-500 мг/дм <sup>3</sup>	400 мг/дм <sup>3</sup>
Нітрати по азоту	до 10 мг/дм <sup>3</sup>	11 мг/дм <sup>3</sup>
Фториди	0,5-1,5 мг/дм <sup>3</sup>	0,8-1,7 мг/дм <sup>3</sup>
Мідь	0,05 мг/дм <sup>3</sup>	1,5 мг/дм <sup>3</sup>
Марганець	0,05 мг/дм <sup>3</sup>	0,5 мг/дм <sup>3</sup>
Окислення	2-3,4 мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	2-4 мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>
Нітрити по азоту	до 0,002 мг/дм <sup>3</sup>	до 0,002 мг/дм <sup>3</sup>
Мікробне число	0,1 в 1 дм <sup>3</sup>	0,1 в 1 дм <sup>3</sup>
Колі-індекс	не більше 3	-
Колі-титр	не менше 300	-

***Питання для самоконтролю:***

1. У чому полягає сутність методу детального аналізу?
2. Які встановлюються санітарні норми якості вод?
3. Які вимоги до якості вод рибогосподарського призначення?
4. Охарактеризуйте норми якості вод країн ЄС.
5. Які вимоги висуваються до якості морських вод?
6. За якими ознаками класифікуються мінеральні лікувальні води?
7. Які виділяють бальнеологічні групи мінеральних вод?
8. Які вимоги висуваються до якості іригаційних вод?
9. Як виконується нормування якості води для зрошення за екологічними критеріями?
10. Дайте коротку характеристику вимог до якості питних вод.

## 4 ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ЗА КОМПЛЕКСНИМИ ІНДЕКСАМИ

Комплексна оцінка якості вод використовується у випадках, коли необхідно простежити тенденцію просторово-часової зміни стану вод під впливом природних і антропогенних процесів, може бути використана так само для зіставлення стану водного середовища різних водних об'єктів.

Комплексні індекси, на основі яких здійснюється оцінка, розраховуються за всіма показниками якості вод або за їхніми частинами. Вони характеризують стан води в цілому, при цьому інформація по окремих показниках губиться.

Послідовність виконання оцінки складається із двох етапів: на першому етапі здійснюється розрахунок значення показника, а на другому за розрахованим значенням індексу й за шкалою якості дається словесна характеристика води. Оцінка має декілька балів.

Розглянемо деякі з методик.

### 4.1 Індекс забруднення вод

*Індекс забруднення води (ІЗВ)* розраховується за шістьма показниками ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ , НП,  $C_6H_5OH$ ,  $O_2$ , БСК<sub>5</sub>) згідно з формулою [23]:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (4.1)$$

де  $C_i$  – середнє арифметичне значення показника якості води;

$ГДК_i$  – гранично допустима концентрація.

У формулі (4.1) для  $O_2$  ГДК ділиться на середнє значення його концентрації.

Модифікований ІЗВ [23] розраховується теж за шістьма показниками: БСК<sub>5</sub> і  $O_2$  є обов'язковими, а інші чотири показники беруть за найбільшми відношеннями до ГДК зі списку:  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ , ХСК,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Fe$  загальний,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $As^{3+}$ , НП, СПАР.

Критерії оцінки якості вод за ІЗВ наведені в табл. 4.1.

До *I класу* відносяться води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Величини їх гідрохімічних і гідробіологічних показників близькі до природних значень для даного регіону.

Для вод *II класу* характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги.

Таблиця 4.1 – Критерії оцінки якості вод за ІЗВ [23]

Клас якості води	Характеристика класу	Величина ІЗВ
<i>Для поверхневих вод суші</i>		
I	Дуже чиста	$\leq 0,30$
II	Чиста	0,31 – 1,00
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50
IV	Забруднена	2,51 – 4,00
V	Брудна	4,01 – 6,00
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0
VII	Надзвичайно брудна	$> 10,0$
<i>Для морських вод</i>		
I	Дуже чиста	$\leq 0,25$
II	Чиста	0,26 – 0,75
III	Помірно забруднена	0,76 – 1,25
IV	Забруднена	1,26 – 1,75
V	Брудна	1,76 – 3,00
VI	Дуже брудна	3,01 – 5,00
VII	Надзвичайно брудна	$> 5,00$

До *III* класу відносяться води, які знаходяться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем.

Води *IV* – *VII* класів – це води з порушеними екологічними параметрами, їхній екологічний стан оцінюється як екологічний регрес.

Приклад оцінки якості вод за наведеною методикою представлений в дод. М.

## 4.2 Комбінаторний індекс забруднення

Згідно з методикою [23], оцінка на основі комбінаторного індексу забруднення (КІЗ) включає декілька етапів:

- визначення характеру забруднення за величиною умовного коефіцієнта комплексності;
- встановлення рівня і класу якості води за величиною комбінаторного індексу забруднення;
- виділення пріоритетних забруднювальних компонентів за кількістю і складом лімітуючих показників забруднення;
- проведення диференційованої оцінки лімітуючих ЗР.

Умовний коефіцієнт комплексності розраховується за формулою:

$$K_{\%} = \frac{m'}{m} \cdot 100\% , \quad (4.2)$$

де  $m'$  – кількість речовин, вміст яких перевищує ГДК;

$m$  – загальне число нормативних інгредієнтів, обумовлених програмою досліджень.

При  $K < 10\%$  проводиться обстеження по конкретних забруднювальних речовинах. Визначаються максимальні концентрації і забезпеченість перевищень ГДК (1, 10, 100 ГДК).

Перший ступінь класифікації заснований на встановленні міри стійкості забруднення (повторюваності  $P$  випадків перевищення ГДК)

$$P_i = N_{ГДК_i} / N_i, \quad (4.3)$$

де  $N_{ГДК_i}$  – число результатів аналізу, в яких вміст  $i$ -го інгредієнта перевищує його гранично допустиму концентрацію;

$N_i$  – загальне число результатів аналізу  $i$ -го інгредієнта.

Другий ступінь класифікації ґрунтується на встановленні рівня забруднення, мірою якого є кратність  $K$  перевищення ГДК:

$$K_i = C_i / ГДК_i. \quad (4.4)$$

Оціночні бали визначаються згідно з табл. 4.2 і 4.3.

Таблиця 4.2 – Класифікація водних об'єктів за повторюваністю забруднення

Повторюваність, %	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0 ÷ 10	одиничне	$a$	1
10 ÷ 30	нестійке	$b$	2
30 ÷ 50	стійке	$c$	3
50 ÷ 100	характерне	$d$	4

Таблиця 4.3 – Класифікація водних об'єктів за рівнем забруднення

Кратність перевищення нормативів	Характеристика рівня забруднення	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0 ÷ 2	низький	$a_1$	1
2 ÷ 10	середній	$b_1$	2
10 ÷ 50	високий	$c_1$	3
50 ÷ 100	дуже високий	$d_1$	4

При визначенні першого і другого ступенів класифікації води по кожному з інгредієнтів розраховують узагальнені оцінки якості води (табл. 4.4).



Таблиця 4.4 – Оцінка стану вод водних об'єктів за окремими показниками

Комплексна характеристика стану забруднення води водних об'єктів	Загальні оціночні бали		Характеристика якості води водних об'єктів
	виражені умовно	абсолютні значення	
Одинична забрудненість низького рівня	$a x a_1$	1	слабо забруднена
– “ – середнього рівня	$a x v_1$	2	забруднена
– “ – високого рівня	$a x c_1$	3	брудна
– “ – дуже високого рівня	$a x d_1$	4	брудна
Нестійка забрудненість низького рівня	$v x a_1$	2	забруднена
– “ – середнього рівня	$v x v_1$	4	брудна
– “ – високого рівня	$v x c_1$	6	дуже брудна
– “ – дуже високого рівня	$v x d_1$	8	дуже брудна
Стійка забрудненість низького рівня	$c x a_1$	3	брудна
– “ – середнього рівня	$c x v_1$	6	дуже брудна
– “ – високого рівня	$c x c_1$	9	дуже брудна
– “ – дуже високого рівня	$c x d_1$	12	неприпустимо брудна
Характерна забрудненість низького рівня	$d x a_1$	4	брудна
– “ – середнього рівня	$d x v_1$	8	дуже брудна
– “ – високого рівня	$d x c_1$	12	неприпустимо брудна
– “ – дуже високого рівня	$d x d_1$	16	неприпустимо брудна

Для заключного, третього ступеня класифікації КІЗ розраховується шляхом складання узагальнених оціночних балів  $S_i$  по усіх  $n$  показниках:

$$KIZ = \sum_{i=1}^n S_i . \quad (4.5)$$

Класифікація якості води (табл. 4.5) виконується в залежності від значення КІЗ і кількості лімітуючих показників забруднення (ЛПЗ). До ЛПЗ води відносять будь-який показник, по якому значення  $S_i$  більш або дорівнює 11. Приклад оцінки якості вод за наведеною методикою представлений в дод. М.

### 4.3 Коефіцієнт забруднення $\chi$

Коефіцієнт забруднення  $\chi$  розраховується за формулою (4.6), наведеною у [26]:

$$\chi = \sum [(N_i / C_{i,d}) \varphi(i)] / \sum \varphi(i), \quad (4.6)$$

Таблиця 4.5 – Класифікація якості води водних об'єктів за значенням КІЗ

Клас якості води	Розряд класу якості	Характеристика забрудненості води	Величина КІЗ з урахуванням ЛПЗ					
			без ЛПЗ	1ЛПЗ ( $k=0,9$ )	2ЛПЗ ( $k=0,8$ )	3ЛПЗ ( $k=0,7$ )	4ЛПЗ ( $k=0,6$ )	5ЛПЗ ( $k=0,5$ )
I	–	Слабо забруднена	1n	0,9n	0,8n	0,7n	0,6n	0,5n
II	–	Забруднена	1n÷2n	0,9n÷1,8n	0,8n÷1,6n	0,7n÷1,4n	0,6n÷1,2n	0,5n÷1,0n
III	–	Брудна	2n÷4n	1,8n÷3,6n	1,6n÷3,2n	1,4n÷2,8n	1,2n÷2,4n	1,0n÷2,0n
III	а	Брудна	2n÷3n	1,8n÷2,7n	1,6n÷2,4n	1,4n÷2,1n	1,2n÷1,8n	1,0n÷1,5n
III	б	Брудна	3n÷4n	2,7n÷3,6n	2,4n÷3,2n	2,1n÷2,8n	1,8n÷2,4n	1,5n÷2,0n
IV	а	Дуже брудна	4n÷6n	3,6n÷5,4n	3,2n÷4,8n	2,8n÷4,2n	2,4n÷3,6n	2,0n÷3,0n
IV	б	Дуже брудна	6n÷8n	5,4n÷7,2n	4,8n÷6,4n	4,2n÷5,6n	3,6n÷4,8n	3,0n÷4,0n
IV	в	Дуже брудна	8n÷10n	7,2n÷9,0n	6,4n÷8,0n	5,6n÷7,0n	4,8n÷6,0n	4,0n÷5,0n
IV	г	Дуже брудна	10n÷11n	9,0n÷9,9n	8,0n÷8,8n	7,0n÷7,7n	6,0n÷6,6n	5,0n÷5,5n

де  $N_i$  – значення показника забрудненості;

$i$  – номер показника забрудненості в ранговій послідовності з  $m$  показників;

$C_{i,d}$  – норматив (ГДК) показника;

$\varphi(i) = i / 2^{i-1}$  – вагова функція;

$\Sigma\varphi(i)$  – приведена кількість показників.

Як основні, беруться такі показники забрудненості з відповідною ранговою послідовністю ( $i$ ): БСК<sub>5</sub> ( $i = 1$ );  $NH_4^+$  ( $i = 2$ ); нафтопродукти ( $i = 3$ );  $O_2$  ( $i = 4$ ). Ранги іншим показникам встановлюють експертно або за співвідношенням  $N_i / C_{i,d}$ .

В залежності від значення коефіцієнта  $\chi$  складено атестаційну шкалу оцінки ступеня забрудненості водного середовища (табл. 4.6).

Приклад оцінки якості вод за наведеною методикою представлений в дод. М.

Таблиця 4.6 – Інтегральна оцінка забрудненості водного середовища

Коефіцієнт забруднення вод $\chi$	Якісна оцінка ступеня забрудненості
до 1,00	Нешкідлива (чиста)
1 – 1,99	Мала
2 – 2,99	Припустима
3 – 3,99	Істотна
4 – 5,00	Інтенсивна
Більш 5,00	Катастрофічна

#### 4.4 Комплексний показник екологічного стану

Середнє значення комплексного показнику екологічного стану (КПЕС) розраховується за формулою (4.7), наведеною у [28, 29]:

$$КПЕС_{сер} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m КПЕС_i, \quad (4.7)$$

де  $m$  – кількість блоків показників якості вод (значень КПЕС<sub>*i*</sub>).

З  $m$  блоків показників якості вод до першого входять показники, які не мають ефекту спільної дії, до інших блоків входять показники, які мають цей ефект.

Для першого блоку комплексний показник розраховується за формулою

$$КПЕС = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ПЕС_i, \quad (4.8)$$

де  $n$  – кількість показників у першому блоці;

ПЕС<sub>*i*</sub> – показник екологічного стану, розрахований для  $i$ -го показника якості.

Значення ПЕС<sub>*i*</sub> для  $i$ -го показника розраховуються за формулами:

$$ПЕС_i = a_i(H_i - П_i) / H_i, \quad (4.9)$$

$$ПЕС_i = a_i(П_i - H_i) / H_i, \quad (4.10)$$

де  $a_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника;

$П_i, H_i$  – значення показника (концентрація речовини) і його норматив.

Формула (4.9) використовується при обмеженні значень показника зверху. Для показників, обмежених знизу ( $O_2$ ), використовується формула (4.10). При нормуванні показника ( $pH$ ) у вигляді допустимого інтервалу [ $H_{min} < П_i \leq H_{max}$ ] значення ПЕС<sub>*i*</sub> розраховується за формулою (4.9), якщо значення показника перевищує  $H_{max}$ ; якщо значення показника нижче за  $H_{min}$ , то ПЕС розраховується за формулою (4.10). Якщо показник знаходиться в середині інтервалу, то розрахунок виконується за формулами (4.9) і (4.10), а як ПЕС<sub>*i*</sub> береться мінімальне з одержаних значень.

Коефіцієнт вагомості  $a$   $i$ -го показника пов'язаний з класом небезпеки. Якщо ступінь небезпеки зростає зі збільшенням номера класу (кл), то  $a_i = кл$ ; якщо ступінь небезпеки зменшується зі збільшенням номера класу, то  $a_i = 1/кл$ . Якщо клас небезпеки не вказано, то береться клас на один розряд нижче від мінімально небезпечного класу.

Для блоків з показниками якості, які мають ефект спільної дії, КПЕС розраховується за формулою

$$КПЕС = 1 - \sum (P_i / H_i). \quad (4.11)$$

За санітарними нормами ефект сумарної дії мають показники 1 і 2 класів небезпеки з однаковою (ЛОШ), за рибогосподарськими – з однаковою ЛОШ (без урахування класу небезпеки).

Екологічний стан водного об'єкта класифікується таким чином:

- при  $КПЕС_{\text{МІН}} < 0$  і  $КПЕС_{\text{СЕР}} < 0$  стан нестійкий;
- при  $КПЕС_{\text{МІН}} > 0$  і  $КПЕС_{\text{СЕР}} > 0$  – стійкий;
- при  $КПЕС_{\text{МІН}} < 0$  і  $КПЕС_{\text{СЕР}} > 0$  – стійкий з ознаками нестійкості.

Приклад оцінки якості вод за наведеною методикою представлений в дод. М.

#### 4.5 Узагальнений екологічний індекс $I_E$

Оцінка якості поверхневих вод суші за узагальненим екологічним індексом повинна обов'язково включати три блоки показників  $I_E$  [30]: сольового складу; трофо–сапробіологічні (еколого–санітарні); специфічні токсичної і радіаційної дії.

Вихідні дані аналізуються по кожному блоку окремо. Результати подаються у вигляді єдиної екологічної оцінки, яка складається із заключних висновків по трьох блоках.

Екологічна оцінка якості води може бути орієнтовною і ґрунтовною.

**Орієнтовна екологічна оцінка** виконується на основі разових вимірів окремих показників якості води, які найточніше характеризують екологічний стан водного об'єкта (чи його ділянки) і відповідно цьому стану якість води. Ці разові значення окремих показників якості води зіставляються з відповідними критеріями якості води, представленими в таблицях системи екологічної класифікації. На основі такого зіставлення визначаються категорії і класи якості води за окремими показниками, взятими для разового виміру. Об'єднання результатів разових вимірів для узагальненої оцінки якості води не допускається. Клас і категорія води в цілому встановлюються за показником з найбільшим номером категорії.

Процедура виконання **ґрунтовної екологічної оцінки** якості поверхневих вод складається з чотирьох послідовних етапів, а саме: 1) *етап групування* і обробки вихідних даних; 2) *етап визначення класів і категорій* якості води за окремими показниками; 3) *етап узагальнення оцінок якості* води за окремими показниками (вираженими в класах і категоріях) по окремих блоках з визначенням інтегральних значень класів і

категорій якості води; 4) *етап визначення об'єднаної оцінки* якості води (з визначенням класів і категорій) для певного водного об'єкта в цілому чи окремих ділянок за визначений період спостережень.

1. Вихідні дані за окремими показниками *групується* у просторі і часі в певному, чіткому порядку: окремо для різних пунктів спостережень, або ж вкупі (з різних пунктів спостережень) для певних ділянок водного об'єкта, або ж для водного об'єкта в цілому за певний відрізок часу (місяць, сезон, рік, кілька років підряд тощо). Вихідні дані про якість води за окремими показниками *групується* в межах трьох блоків. Згруповані по блоках щодо кожного наявного показника якості води, вихідні дані (вибірки) піддаються певній обробці: обчислюються середньоарифметичні значення, визначаються мінімальні та максимальні (найгірші) значення, які всі разом характеризують мінливість величин кожного з показників якості води в реальних умовах виконання і аналізу результатів спостережень. Серед вихідних даних трапляються поодинокі дані, котрі своїми екстремальними значеннями виходять за межі окресленого діапазону мінливості величин цієї вибірки, досить далеко від максимальних (найгірших) значень. Екстремальні значення окремих показників якості води підлягають спеціальному аналізу: з'ясуванню природних чи антропогенних причин, які могли спричинити їх появу. Після такого аналізу приймаються рішення про використання чи вилучення екстремальних значень певних показників якості води.

2. *Етап визначення класів та категорій* якості води для окремих показників полягає у виконанні таких дій:

- середньоарифметичні (середні) значення для кожного показника окремо зіставляються з відповідними критеріями якості води, представленими в таблицях системи її екологічної класифікації;

- найгірші значення якості води (максимальні чи мінімальні) серед цих показників кожного блоку також зіставляються з відповідними критеріями якості води;

- на основі проведеного зіставлення середньоарифметичних та найгірших значень для кожного показника окремо визначаються категорії якості води за середнім і найгіршим значеннями (найбільшим за номером) для кожного показника окремо;

- зіставлення середніх і найгірших значень з критеріями спеціалізованих класифікацій та визначення класів і категорій якості води за окремими показниками теж (як і на першому етапі) виконується в межах відповідних блоків.

3. *Етап узагальнення оцінок* якості води за окремими показниками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води виконується лише на основі аналізу показників в межах відповідних блоків. Це *узагальнення* полягає у визначенні середніх і найгірших значень для *трьох блокових індексів* якості води, а саме: для індексу забруднення

компонентами сольового складу ( $I_1$ ), для трофо–сапробіологічного (еколого–санітарного) індексу ( $I_2$ ), для індексу специфічних показників токсичної і радіаційної дій ( $I_3$ ). Таким чином, повинно бути визначено шість значень блокових індексів, а саме:  $I_{1CER}$  та  $I_{1MAX}$ ;  $I_{2CER}$  та  $I_{2MAX}$ ;  $I_{3CER}$  та  $I_{3MAX}$ . Маючи значення блокових індексів якості води, легко визначити їх приналежність до певного класу та категорії якості води за допомогою системи екологічної класифікації.

*Середні значення* для трьох блокових індексів якості води визначаються шляхом обчислення середнього номера категорії за всіма показниками даного блоку; при цьому категорія 1 має номер 1, категорія 2 – номер 2 і т.д.

Середні значення блокових індексів можуть бути дробовими числами. Це дозволяє диференціювати оцінку якості води, зробити її більш точною і гнучкою. Для визначення субкатегорій якості води, які відповідають середнім значенням блокових індексів, треба весь діапазон десятичних значень номерів (поміж цілими числами) розбити на окремі частини і позначити їх таким чином:

Середні значення субкатегорій якості вод	Позначення відповідних блокових індексів
1,0 – 1,2	1
1,3 – 1,4	1 (2)
1,5 – 1,6	1 – 2
1,7 – 1,8	2 (1)
1,9 – 2,2	2
2,3 – 2,4	2 (3)

і т.д. для категорії 3 – 7.

*Найгірші значення* для трьох блокових індексів якості води визначаються за відносно найгіршим показником (з найбільшим номером категорії) серед всіх показників даного блоку.

4. *Етап визначення об'єднаної оцінки* якості води для певного водного об'єкта в цілому або для окремих його ділянок *полягає в обчисленні інтегрального або екологічного індексу  $I_E$* . Використання екологічного індексу якості води доцільно в тих випадках, коли зручніше користуватися однозначною оцінкою: для планування і опрацювання водоохоронної діяльності, здійснення екологічного і еколого–економічного районування, екологічного картографування тощо. Значення екологічного індексу якості води визначається за формулою (4.12):

$$I_E = \{I_1 + I_2 + I_3\} / 3, \quad (4.12)$$

де  $I_1$  – індекс забруднення компонентами сольового складу;

$I_2$  – індекс трофо–сапробіологічних показників;

$I_3$  – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Екологічний індекс якості води, як і блокові індекси, обчислюється для середніх і для найгірших значень категорій окремо. Він може бути дробовим числом.

Визначення субкатегорій якості води на основі екологічного індексу здійснюється так само, як для блокових індексів.

Сольовий склад поверхневих вод суші та естуаріїв оцінюється за сумою іонів та окремими інгредієнтами. При групуванні даних у просторі і часі оцінка дається за середніми і максимальними (найгіршими) значеннями показників. Клас води визначається за переважаючими аніонами ( $Cl^-$ ;  $SO_4^{2-}$ ;  $HCO_3^-$ ), група – за переважаючими катіонами ( $Ca^{2+}$ ;  $Mg^{2+}$ ;  $Na^+ + K^+$ ), тип води визначається за співвідношеннями між іонами (в еквівалентах):

- I –  $HCO_3^- > (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ ;
- II –  $HCO_3^- < (Ca^{2+} + Mg^{2+}) < (HCO_3^- + SO_4^{2-})$ ;
- III –  $(HCO_3^- + SO_4^{2-}) < (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  або  $Cl^- > Na^+$ ;
- IV –  $HCO_3^- = 0$ .

Один грам-еквівалент  $Cl^-$  дорівнює 35,45;  $SO_4^{2-}$  – 48,03;  $HCO_3^-$  – 61,02;  $Ca^{2+}$  – 20,04;  $Mg^{2+}$  – 12,15;  $Na^+$  – 22,99;  $K^+$  – 39,10.

Для позначення видів природних вод вживаються символи, наприклад:

- гідрокарбонатний клас, група кальцію, тип другий –  $C^{Ca}_{II}$ ;
- сульфатно-хлоридно-кальцієві води другого типу –  $SCl^{Ca}_{II}$ .

Прісні гіпо- і олігогалінні та солонуваті  $\beta$ -мезогалінні води оцінюються також за критеріями їх забруднення компонентами сольового складу, а саме за значеннями суми іонів, хлоридів і сульфатів.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод та естуаріїв за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями виконується на основі середніх та найгірших значень кожного з гідрофізичних, гідрохімічних, бактеріологічних показників, а також індексів сапробності. Для цього блоку бажана узагальнена оцінка, оскільки більшість показників є взаємопов'язаними і в кінцевому підсумку вони відповідають певному ступеню трофності та зоні сапробності вод. Загальна кількість показників цього блоку для забезпечення обґрунтованих висновків не повинна бути меншою, ніж 10. Інтегрування показників при узагальненій оцінці пов'язане з втратою інформації. Тому поряд з узагальненою оцінкою обов'язково мають наводитись значення категорій для всіх тих показників, які перевищують узагальнені (середні) значення.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод та естуаріїв за специфічними показниками токсичної і радіаційної дії виконується за кожним показником окремо. Для даних, згрупованих у часі й просторі, оцінка дається за середнім та найгіршим значеннями кожного з показників.

Назви класів і категорій якості вод, дані про їх стан та ступінь їхньої

чистоти (забруднення), а також ступінь трофності і зона сапробності оцінюваних поверхневих вод представлені у табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Класи та категорії якості поверхневих вод суші та естуаріїв України за екологічною класифікацією [30]

Клас якості вод	I	II		III		IV	V
Категорія якості вод	1	2	3	4	5	6	7
Назва класів і категорій якості вод за їх станом	відмінні	добрі		задовільні		погані	дуже погані
	відмінні	дуже добрі	добрі	задовільні	посередні	погані	дуже погані
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти	дуже чисті	чисті		забруднені		брудні	дуже брудні
	дуже чисті	чисті	досить чисті	слабо забруднені	помірно забруднені	брудні	дуже брудні
Трофність (переважно тип)	оліготрофні	мезотрофні		евтрофні		політрофні	гіпертрофні
	оліготрофні оліго-мезотрофні	мезотрофні	мезо-евтрофні	евтрофні	евполітрофні	політрофні	гіпертрофні
Сапробність	олігосапробні		$\beta$ -мезосапробні		$\alpha$ -мезосапробні		полісапробні
	$\beta$ -олігосапробні	$\alpha$ -олігосапробні	$\beta'$ -мезосапробні	$\beta''$ -мезосапробні	$\alpha'$ -мезосапробні	$\alpha''$ -мезосапробні	полісапробні

Екологічна оцінка є неодмінною умовою екологічного нормування якості поверхневих вод, його попереднім етапом. Тому при виконанні екологічної оцінки треба передбачити зіставлення одержаних результатів зі значеннями екологічних нормативів, встановленими для даного водного об'єкта. Це необхідно для аналізу відповідності (чи невідповідності) якості вод значенням усіх тих показників, які встановлені у результаті екологічного нормування якості вод для конкретного водного об'єкта.

Результати екологічної оцінки якості поверхневих вод суші та естуаріїв подаються у вигляді таблиць, графіків і карт. Найбільш наочним засобом подання результатів екологічної оцінки якості води є картографічний.

На наш погляд ця методика має деякі недоліки:

1. Не враховані рибогосподарські ГДК по показниках *Zn*, *Mn*, *Hg*. Права границя третьої категорії («досить чиста» вода) по *Zn* перевищує ГДК в 2 рази, по *Mn* – в 5 разів, а по *Hg* – в 20 разів. Тобто вода, в якій



вміст *Zn* буде перевищувати рибогосподарські норми в 2 рази, *Mn* – в 5 разів, а *Hg* – в 20 разів, буде характеризуватися як «досить чиста».

Рибогосподарські ГДК наближені до екологічних, однак їх не можна вважати такими, тому що риба не є самою слабкою ланкою водних екологічних систем. Наприклад, зоопланктон найбільш чутливо реагує на всі зміни складу й властивостей водного середовища, ніж риба. А екологічні ГДК повинні бути орієнтовані на самі слабкі ланки. Якщо риба є самою слабкою ланкою по якомусь показнику, то екологічна ГДК по цьому показнику буде дорівнювати рибогосподарській. Тобто екологічна ГДК повинна бути не більше рибогосподарської.

2. *Перелік показників якості вод у методиці досить обмежений, і при оцінці стану вод не представляється можливим урахувати ті показники, які не входять у цей перелік.* У переліку рибогосподарських ГДК міститься біля тисячі забруднювальних речовин. У методиці екологічної оцінки якості поверхневих вод їх близько 30. Будь-яка забруднювальна речовина із тисячі, що не входить у методику, не буде врахована при оцінці якості води, навіть якщо її концентрація дуже велика.

3. *Не враховується ефект сумарної дії речовин.* Наприклад, наявність у воді фенолів і нафтопродуктів зі значеннями концентрації, близькими до правої границі категорії 2 відповідно до методики, дозволяє зробити висновок про те, що за даними показниками вода відноситься до категорії «чиста». Однак відповідно до рибогосподарських норм нафтопродукти й феноли мають ефект сумарної дії (вони нормовані з рибогосподарською ЛОШ). Сума значень концентрації цих речовин у частках від ГДК складе приблизно 1,5. Таке водне середовище не відповідає вимогам рибогосподарських норм і повинно оцінюватися як «забруднене». Зазвичай групи сумарної з токсикологічною і з санітарно-токсикологічною ЛОШ об'єднують значно більше речовин, ніж у прикладі.

4. *На другому етапі оцінки кожному показнику привласнюється номер категорії (індекс), що не залежить від значення показника в границях цієї категорії.* Наприклад, по показнику «залізо» категорія 4 має границі від 101 до 500 мкг/дм<sup>3</sup>. Це означає, що значення показника може становити 101 або 500 мкг/дм<sup>3</sup>, однак для подальшої обробки він одержить індекс 4.

Далі в існуючій методиці рекомендується усереднити індекси по показниках усередині блоків і між блоками для одержання узагальненого індексу, значення якого розраховується з точністю до сотих часток для того, щоб «гнучко» оцінити субкатегорію якості.

У цьому випадку говорити о гнучкості пізно. Оцінка субкатегорії дорівнює спробі знайти середню вагу декількох предметів з точністю один грам, зважуючи ці предмети набором стограмових гир.

Наприклад, є чотири предмети вагою 2, 2, 2 й 102 г (їхню вагу ми не знаємо). При зважуванні предметів набором стограмових гир, прийнявши

вагу цих гир за умовну 1, одержимо – 1, 1, 1 й 2, середнє значення складе 1,25, округлимо до цілого – 1. Дійсне середнє значення ваги предметів становить 27 г і відповідає умовної 1. При такому підході середнє значення необхідно представляти з точністю до цілого числа (про субкатегорії мова йти не може).

Точний збіг оцінки із дійсним середнім значенням буде спостерігатися лише в тому випадку, коли вага предметів буде кратною 100 г (коли значення показників якості води будуть близькі до правих границь категорій якості, за винятком категорії 7).

5. *Максимальний індекс, що одержує показник якості води, використовуваний надалі при узагальненні, дорівнює 7 (відповідно до номера категорії).* Наприклад, індекс 7 одержить показник «нафтопродукти» при значенні 0,31 мг/дм<sup>3</sup> (перевищення рибогосподарської ГДК у 6 разів), при значенні 5,0 мг/дм<sup>3</sup> (перевищення ГДК у 100 разів) він теж одержить індекс 7. Не важно у скільки разів перевищується норматив, аби тільки його значення було більше лівої границі сьомої категорії. Це приводить до того, що узагальнений індекс стає незалежним від значень показника в категорії 7 (від значень показника з найбільшим перевищенням ГДК).

6. *Присвоєння цілого значення індексу (номера категорії) показнику якості на другому етапі повинне приводити до граничної (убік погіршення) узагальненої оцінки якості водного середовища.* Однак, відсутність урахування ефекту сумарної дії речовин, подвійне осереднення індексів (при визначенні блокових індексів й узагальненого індексу) і незалежність узагальненого індексу від значень показників в категорії 7 в підсумку прикрашує оцінку стану водного середовища.

Розрахунки по ріках Дунай, Дністер, Південний Буг, Інгулець й ін. показали, що через перераховані недоліки розглянута методика не дозволяє адекватно характеризувати стан водного середовища. Оцінка прикрашується, якщо у воді є речовини з ефектом сумарної дії й зі вмістом, який у багато разів перевищує рибогосподарські нормативи. Більше того, у деяких випадках підсумкова оцінка для одного і того ж самого пункту залишалася колишньою при виключенні показників, що надають основний внесок у забруднення води (з найбільшим перевищенням ГДК) [31].

Приклад оцінки якості вод за наведеною методикою представлений в дод. М.

#### 4.6 Узагальнений індекс стану вод $I_{CB}$

Методика комплексної оцінки якості вод за допомогою узагальненого індексу їх стану  $I_{CB}$  (методика ОДЕКУ) [31] розроблена на основі аналізу розглянутих вище методик. У ній враховано всі виявлені недоліки: використовуються рибогосподарські ГДК; перелік показників не обмежений; враховується ефект сумарної дії; узагальнюються співвідношення значень показників якості з їх ГДК. Розроблено нову шкалу категорій якості (табл. 4.8) на основі одиниць хронічної токсичності [30].

Таблиця 4.8 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод за  $I_{CB}$

Категорія якості	1	2	3	4	5	6	7
$I_{CB}$	$\leq 0,25$	$0,26 \div 0,50$	$0,51 \div 1,00$	$1,01 \div 2,00$	$2,01 \div 4,00$	$4,01 \div 8,00$	$> 8,00$
Характеристика якості	дуже чиста	чиста	досить чиста	слабо забруднена	помірно забруднена	брудна	дуже брудна

Назва категорій якості співпадає з наведеними у [30].

В методиці ОДЕКУ для врахування ефекту сумарної дії речовин розглядається вісім блоків показників: 1) мінералізація; 2) трофосапробіологічні; 3) із загальносанітарною ЛОШ; 4) із токсикологічною ЛОШ; 5) із санітарно-токсикологічною ЛОШ; 6) із органолептичною ЛОШ; 7) із рибогосподарською ЛОШ; 8) радіаційної дії.

Для другого та восьмого блоків узагальнений блоковий індекс розраховується як середнє значення ряду з  $n$  показниками за формулою (4.13), а для третього – сьомого блоків осереднення не здійснюється, і розрахунок блокового індексу виконується за формулою (4.14):

$$I_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (4.13)$$

$$I_j = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}. \quad (4.14)$$

При розрахунку  $I_j$  використовуються рибогосподарські ГДК і ЛОШ. Якщо деякий показник не нормований у рибогосподарських нормах, але він є в методиці [30], то для нього як норму можна прийняти значення межі між 3 і 4 категоріями (табл. 4.9).

Узагальнена оцінка визначається у результаті осереднення  $m$  блокових індексів:

$$I_{CB} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m I_i. \quad (4.15)$$

Категорія якості поверхневих вод встановлюється за значенням  $I_{CB}$  і табл. 4.8.

Таблиця 4.9 – Критерії якості поверхневих вод

Показник	Межа між 3 і 4 категоріями	ГДКрг
<b>Мінералізація</b>		
Сума іонів, мг/дм <sup>3</sup>	1000	-
<b>Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) показники</b>		
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	20	фон+0,75
Прозорість/, м	>0,60	-
Перманганатне окислення, мг/дм <sup>3</sup>	8,0	-
Біхроматне окислення (ХСК), мг/дм <sup>3</sup>	25,0	-
Фосфор фосфатів, мг/дм <sup>3</sup>	0,05	-
Біомаса фітопланктону, мг/дм <sup>3</sup>	2,0	-
Індекс самоочищення-самозабруднення (A/R)	0,8-1,2	-
Чисельність бактеріопланктону, млн.кл./см <sup>3</sup>	2,5	-
Чисельність сапрофітних бактерій, тис.кл./см <sup>3</sup>	5,0	-
<b>Показники з токсикологічною ЛОШ</b>		
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	0,002	фон+0,001
<b>Показники радіаційної дії</b>		
Сумарна β-активність, Ку/дм <sup>3</sup>	1,0*10 <sup>-11</sup>	-
<sup>90</sup> Sr, Ку/дм <sup>3</sup>	3,0*10 <sup>-12</sup>	-
<sup>137</sup> Cs, Ку/дм <sup>3</sup>	5,0*10 <sup>-12</sup>	-

#### 4.7 Оцінка якості вод джерел питного водопостачання

Колектив авторів під керівництвом академіка НАН України В.В. Гончарука розробив ДСТУ 4808 - Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання (Держспоживстандарт України, 2007) [32].

В цьому документі наводиться класифікація якості *поверхневих вод України* – джерел централізованого питного водопостачання за гігієнічними і екологічними критеріями (додаток И), яка охоплює 80 показників, які застосовують для оцінювання якості питної води згідно з санітарним законодавством і має сім окремих груп (блоків): I група – 4 органолептичних показники; II група – 17 загально-санітарних показників хімічного складу води; III група – 6 гідробіологічних показників; IV група - 6 мікробіологічних показників; V група – 2 паразитологічних

показники; VI група – 9 показників радіаційної безпеки; VII група – 36 пріоритетних токсикологічних показників хімічного складу води (з них: 25 – неорганічних та 11 – органічних компонентів).

Класифікація якості *підземних вод України* – джерел централізованого питного водопостачання за гігієнічними і екологічними критеріями (додаток I) охоплює 71 показник, що застосовують для оцінювання якості питної води відповідно до санітарного законодавства, і має сім окремих груп: I група – 4 органолептичних показники; II група – 14 загально-санітарних показників хімічного складу води; III група – 2 гідробіологічних показники; IV група – 6 мікробіологічних показників; V група – 2 паразитологічних показники; VI група – 9 показників радіаційної безпеки; VII група – 34 пріоритетних токсикологічних показники хімічного складу води (з них: 27 – неорганічних та 7 – органічних компонентів).

Діапазон величин показників (критеріїв) якості води в обох класифікаціях поділений на *чотири класи*: 1 клас – відмінна, бажана якість води; 2 клас – добра, прийнятна якість води; 3 клас – задовільна, прийнятна якість води; 4 клас – посередня, обмежено придатна, небажана якість води.

Показники складу і властивостей води у поверхневих і підземних джерелах, долучені до дод. II і I, є обов'язковими для визначення.

Крім цього, розроблено класифікацію якості поверхневих і підземних вод України – джерел централізованого питного водопостачання за *факультативними* речовинами токсичної дії (додаток II) для періодичного контролювання представниками санітарних і водоохоронних органів імовірної присутності цих токсичних речовин, небезпечних для здоров'я населення (необхідність проведення, періодичність та сезонність контролювання таких показників визначають у кожному конкретному випадку).

*Критерії якості води гігієнічні* - органолептичні властивості, хімічний склад, мікробіологічні, паразитологічні, токсикологічні, радіологічні та інші показники води джерел централізованого водопостачання, за кількісними значеннями яких встановлюють відповідність їх води санітарному законодавству.

*Критерії якості води екологічні*. Критерії якості води, за якими її класифікують та оцінюють як компонент екосистеми з урахуванням умов її функціонування; кількісні значення елементарних гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, мікробіологічних та токсикологічних показників, зокрема комплексні кількісні показники, які побудовані на інтегруванні елементарних ознак якості води; на основі елементарних і узагальнюючих критеріїв визначають класи, категорії та індекси якості води, сапробність та трофність, які відображають стан водних екосистем.

Розробники ДСТУ 4808 пропонують такий порядок оцінювання якості води у поверхневих і підземних джерелах централізованого питного водопостачання за *гігієнічними і екологічними критеріями*:

1. Кількісною основою оцінювання якості води у джерелах централізованого питного водопостачання є класифікації якості поверхневих і підземних вод за гігієнічними і екологічними критеріями (дод. И - І).

2. Оцінювання якості води у поверхневих і підземних джерелах залежно від її конкретної призначеності можна виконувати, зважаючи на три методичні підходи: а) за значеннями окремих показників; б) за значеннями інтегральних блокових індексів (без урахування загального рівня хронічної токсичності води, який визначають у виняткових випадках); в) за значеннями інтегрального комплексного індексу.

3. Оцінювання (орієнтовне) якості води у поверхневих і підземних джерелах централізованого питного водопостачання за значеннями окремих показників виконують тоді, коли необхідно одержати попереднє уявлення щодо якості води у місцях водозабору в будь-який час. Таке уявлення можна отримати на підставі аналізування кількісних характеристик деяких найпріоритетніших показників якості води, які чітко демонструють благополучний або неблагополучний стан джерел питного водопостачання і перелік яких встановлюють виходячи із конкретної санітарної ситуації та екологічного стану на території зон санітарної охорони.

Наприклад, якщо величина такого гідрохімічного показника як біхроматна окисність (ХСК) у поверхневому джерелі є меншою за  $9 \text{ мгО/дм}^3$ , а в підземному джерелі – меншою за  $4 \text{ мгО/дм}^3$ , то це свідчить про низький загальний вміст органічних речовин у воді, отже про благополучний стан відповідних джерел. І навпаки, якщо величина такого органолептичного показника як мутність води в поверхневому джерелі перевищує  $5000 \text{ мг/дм}^3$ , а в підземному джерелі –  $5 \text{ мг/дм}^3$ , що характеризує 4 клас якості вод, то такий високий вміст завислих речовин у воді свідчить про певне гігієнічне і екологічне неблагополуччя цих джерел. Орієнтовне оцінювання якості води за величинами окремих показників виконують на підставі разових або серійних вимірювань величин цих показників, здійснюваних одночасно або протягом короткого відрізка часу (доба, тиждень).

4. Оцінювання якості води в поверхневих і підземних джерелах за величинами інтегральних блокових індексів (грунтовне) виконують задля переконливих і відповідальних висновків і рішень щодо якості води в цих джерелах на підставі арифметичного оброблення емпіричних величин усіх (повне оцінювання) або кількох (неповне оцінювання) показників I, II, III, IV, V, VI і VII груп. Емпіричні величини показників якості води, належні до кожного з цих блоків, одержують у результаті систематичних

досліджень (моніторингу) гігієнічного і екологічного станів поверхневих і підземних джерел.

5. Ґрунтовне оцінювання якості води в поверхневих і підземних джерелах питного водопостачання за величинами групових індексів виконують за процедурою, що складається з трьох послідовних етапів: а) етап групування і оброблення вихідних даних гігієнічних та екологічних показників якості води; б) етап визначання класів якості води джерела водопостачання; в) етап узагальнення оцінювання якості води і погодження їх з технологічними прийомами кондиціонування поверхневих і підземних вод залежно від фізико-хімічної та мікробіологічної природи забруднювальних домішок.

Вихідні дані щодо якості води за окремими показниками об'єднують у межах груп I – VII. Подані у відповідних групах (дод. II - I) вихідні дані (вибірki) щодо кожного наявного показника піддають певному обробленню: обчислюють середні та найгірші значення. Вони характеризують межі діапазону мінливості величин кожного з показників якості води у реальних умовах виконання і аналізування результатів спостережень.

*Етап визначання класів якості води за окремими показниками* полягає у виконанні таких дій:

- середні та найгірші значення для кожного показника окремо зіставляють з відповідними критеріями якості води, поданими в дод. II - I;

- на основі проведеного зіставлення середніх і найгірших значень для кожного показника окремо визначають класи якості води для кожного показника окремо;

- зіставлення середніх і найгірших значень з критеріями класифікацій якості води (дод. II - I) та визначення класів якості води за окремими показниками виконують (як і на першому етапі) у межах відповідних груп показників (I – VII).

*Етап узагальнення оцінювання якості води за окремими показниками з визначенням інтегрального показника* теж виконують лише на основі аналізування і обчислювання величин у межах окремих груп показників. Це узагальнення полягає у визначенні середніх і найгірших значень для семи групових індексів якості води, а саме: 1) для індексу органолептичних показників –  $I_{Iсер.}$  та  $I_{Iнг.}$ ; 2) для індексу загально-санітарних хімічних показників –  $I_{IIсер.}$  та  $I_{IIнг.}$ ; 3) для індексу гідробіологічних показників –  $I_{IIIсер.}$  та  $I_{IIIнг.}$ ; 4) для індексу мікробіологічних показників –  $I_{IVсер.}$  та  $I_{IVнг.}$ ; 5) для індексу паразитологічних показників –  $I_{Vсер.}$  та  $I_{Vнг.}$ ; 6) для індексу показників радіаційної безпеки –  $I_{VIсер.}$  та  $I_{VIнг.}$ ; 7) для індексу токсикологічних показників –  $I_{VIIсер.}$  та  $I_{VIIнг.}$ .

Середні значення блокових індексів якості води визначають обчисленням середньоарифметичного значення середніх величин усіх

наявних показників у межах кожної групи показників не за абсолютними, а за відносними значеннями, вираженими номерами класів (1 – 4). Найгірші значення групових індексів якості води визначають за найгіршими величинами (з найбільшим номером класів) серед інших значень показників даної групи. Маючи середні й найгірші значення групових індексів якості води, визначають їх приналежність до певного класу якості води за допомогою дод. И - І.

Величини блокових індексів якості води у поверхневих і підземних джерелах питного водопостачання можуть бути виражені як цілими, так і дробовими числами. Використання дробових значень блокових індексів і обчислених на їх основі підкласів якості води дозволяє диференціювати оцінювання якості води, робити його гнучкішим і точнішим. Для визначення підкласів якості води треба діапазони дробових значень (з точністю до сотих) у межах окремих груп показників поділити на рівні частини і позначити відповідним чином згідно з наведеною нижче схемою визначення класів і підкласів якості води у поверхневих і підземних водних об'єктах – джерелах централізованого питного водопостачання.

Схема визначення класів і підкласів якості води у поверхневих і підземних водних об'єктах – джерелах централізованого питного водопостачання наведений в додатку К.

Приклад обчислення величин індексу ( $I_{II}$ ) за загально-санітарними хімічними показниками (неповне оцінювання якості поверхневих вод) наведений в додатку Л.

*Узагальнене оцінювання якості води у поверхневих і підземних джерелах централізованого питного водопостачання за величинами інтегрального індексу доцільне в тих випадках, коли зручніше мати однозначне і в той же час узагальнене оцінювання якості води у поверхневих та підземних водних об'єктах – джерелах централізованого питного водопостачання, а саме: для порівняння різних варіантів розташування водозабору станцій водопідготовки у випадку проектування їх будівництва чи реконструкції; для картографування стану поверхневих джерел централізованого питного водопостачання; для планування водоохоронних заходів щодо захисту поверхневих джерел централізованого питного водопостачання.*

Значення узагальненого інтегрального індексу якості води визначають за формулою:

$$I_{\text{интегр.}} = \frac{I_I + I_{II} + I_{III} + I_{IV} + I_V + I_{VI} + I_{VII}}{7}, \quad (4.16)$$

де  $I_I - I_{VII}$  – величини групових індексів, виражених у класах;

7 – кількість групових індексів.



Технологічні прийоми кондиціювання поверхневих і підземних вод обирають залежно від фізико-хімічної, хімічної та мікробіологічної природи забруднювальних домішок і вони є спільними для поверхневих і підземних вод.

**1 клас – відмінна, бажана якість води.** Для обробки води I класу потрібне її знезаражування із застосуванням одного з таких реагентів: хлору гіпохлориту, діоксиду хлору, хлораміну; знезаражування ультрафіолетовим опроміненням у комбінації з  $O_2$ ;  $H_2O_2$ ; обробка озоном і фільтрування з коагулюванням; на перспективу – очищення фільтруванням через біологічно активне вугілля або через повільні фільтри, а також очищення і знезаражування іншими реагентами і способами, дозволеними державною санітарно-епідеміологічною службою Міністерства охорони здоров'я України.

**2 клас – добра, прийнятна якість води, 3 клас – задовільна, прийнятна якість води.** Для обробки води 2 і 3 класів якості потрібно кондиціювання за різними показниками.

1. Кондиціювання за органолептичними показниками: присмак, запах - аерування, окиснення, адсорбція на активованому вугіллі; забарвленість - окиснення, коагуляція – флокуляція, відстоювання, фільтрування; ультрафільтрування; завислі речовини - відстоювання, мікропроціджування; мікрофільтрування, ультрафільтрування, фільтрування через допоміжний наливний шар, коагуляція – флокуляція, відстоювання або флотація, фільтрування, контактна коагуляція.

2. Кондиціювання за показниками хімічного складу води: азот амонійний, нітратний, нітритний - біологічне очищення на фільтрах з фіксованою гетеротрофною біомасою, біосорбція, іонний обмін за фільтрування через іоніти - аніоніти для нітратів, катіоніти для іонів амонію, нанофільтрування; фосфор фосфатів - дефосфотування фільтруванням через активований оксид алюмінію, обробляння вапном; окисність перманганатна, окисність біхроматна (ХСК), БСК<sub>n</sub>, загальний органічний вуглець - біологічне передочищення у природних умовах, біоочищення на твердих носіях з іммобілізованою мікрофлорою, передокиснення, коагуляція – флокуляція з наступними флотацією або відстоюванням і фільтруванням, вуглевання, контактна коагуляція, озонування з наступною біосорбцією на біологічно активному вугіллі, повільне фільтрування, знезаражування, мембранне фільтрування.

3. Кондиціювання за мікробіологічними, паразитологічними та гідробіологічними показниками: фітопланктон - мікропроціджування, мікрофільтрування, передхлорування з наступною коагуляцією-флокуляцією, передхлорування і напірна реагентна флотація, фільтрування через швидкі фільтри, фільтри з активним вугіллям; мікробіологічні та паразитологічні показники - знезаражування з використанням одного з реагентів (хлору, гіпохлориту, діоксиду хлору, хлораміну, бактерицидне

опромінювання, коагуляція, ультрафільтрування, нанофільтрування); для кондиціонування води використання дезінфектантів, які дозволені до застосування в Україні.

4. Кондиціонування за показниками вмісту неорганічних речовин токсичної дії: алюміній (для 3 класу); барій, берилій (для 3 класу); кадмій, миш'як, нікель, ртуть (для 3 класу), свинець, сурма, талій (коагуляція – флокуляція, відстоювання, фільтрування; контактна коагуляція; нанофільтрування; іонний обмін на селективних сорбентах; бор - освітлювання води на швидких фільтрах і фільтрування через іонітові фільтри з бороселективною смолою в ОН-формі, доочищення на активованому вугіллі і знезаражування; залізо, марганець - застосування сильних окисників з утворенням гідроксидів, коагуляція, фільтрування, фільтрування через модифіковані сорбенти, нанофільтрування, сорбція на активованому вугіллі, силікагелі, гранітній та мармуровій крихтах; фтор - фторування введенням у воду порошку або розчину сполук фтору; дефторування – іонний обмін на селективних у відношенні до фтору іонітах; сорбція на поверхні свіжоутворених гідроксидів алюмінію або магнію; сорбція на гідроксилапатиті; на модифікованому кліноптилоліті.

5. Кондиціонування за показниками вмісту органічних речовин токсичної дії: фізико-хімічне передочищення; біологічне передочищення на твердих носіях з іммобілізованою мікрофлорою або через піщані дюни, штучні водойми; окиснювання діоксидом хлору, озоном, пероксидом водню, УФ-опромінюванням з наступним фільтруванням крізь активоване вугілля; повільне фільтрування, нанофільтрування.

6. Кондиціонування за показниками радіаційної безпеки: сорбція на природних сорбентах у натрієвій формі (кліноптилоліті, вермікуліті); обробка бентонітом із наступною коагуляцією-флокуляцією; обробка пероксидом водню в присутності іонів двовалентного заліза з наступною коагуляцією; обробка сумішшю пилоподібних сорбентів (бентоніту, кліноптилоліту, вапна) з наступною коагуляцією; сорбція на активованому модифікованому вугіллі; сорбція на селективних іонітах; сорбція на змішаних композиційних сорбентах, селективних для радіонуклідів; аерація для летких компонентів ( $^{222}Rn$ ).

**4 клас - посередня, обмежено придатна, небажана якість води.** За умови відсутності інших джерел водопостачання і у разі економічної доцільності для обробки обмежено придатної води 4 класу якості використовують весь комплекс заходів, перелічених у ДСТУ 4808. При цьому витрати реагентів, час перебування води в очисних спорудах збільшують відповідно до технологічних вимог і можливості використання вод 4 класу.

Вибірання нових поверхневих і підземних джерел централізованого питного водопостачання здійснюють на підставі: оцінювання умов формування ресурсів та якості поверхневих і підземних вод у місцях

розташування наявних або запроектованих водозаборів; оцінювання якості води у місцях водозабору, що виконують за результатами гігієнічного та екологічного аналізування в межах вимог; оцінювання санітарного стану місця водозабору і самого джерела вище і нижче водозабору – для поверхневих джерел централізованого питного водопостачання; оцінювання ступеня можливого негативного впливу промислових, комунальних сільськогосподарських чи інших об'єктів, розташованих поблизу водозабірних споруд на санітарний стан поверхневого вододжерела та прилеглої території – для підземних джерел централізованого питного водопостачання; оцінювання радіаційної безпеки поверхневих і підземних вод; оцінювання будь-якої іншої інформації, яка уможливить найповніше та об'єктивніше з'ясувати санітарну та епідемічну безпеку споживання питної води, отриманої з даного джерела централізованого питного водопостачання; оцінювання придатності передбаченої до використання технології підготовки води для отримання якісної питної води; у разі підозри, що джерело водопостачання забруднюють невідомі хімічні речовини токсичної дії, для визначання яких немає доступних і чутливих методів, тимчасово можна використовувати інтегральний показник якості води – індекс її токсичності щодо біологічних тест-об'єктів.

Для централізованого питного водопостачання використовують насамперед поверхневі і підземні джерела з якістю води 1 – 3 класів, оцінка якої одержана за гігієнічними і екологічними критеріями (дод. И - І). У виняткових випадках, коли якість води джерела водопостачання відповідає критеріям 4 класу якості, такі поверхневі і підземні джерела можуть бути використані лише з дозволу міжвідомчої комісії, яка складається з представників центральних органів виконавчої влади з питань житлово-комунального господарства, охорони здоров'я, Держспоживстандарту, НАН України за наявності методів обробляння води, надійність яких підтверджена спеціальними технологічними і гігієнічними дослідженнями. У разі проведення специфічних досліджень, виконання яких вимагає використання складного обладнання, спеціальної підготовки та особливих засобів захисту персоналу, можуть залучати на договірних засадах фахівці дослідних центрів (наукових організацій), акредитованих і атестованих на їх компетентність у системі Міністерства охорони здоров'я і Держспоживстандарту України.

*Оцінювання результатів досліджень якості води* за показниками епідемічної безпеки здійснюють у такій послідовності: у разі виявлення бактеріального забруднення (ЗМЧ, сапрофітні мікроорганізми, БГКП) води у місцях водозабору вище допустимих нормативів слід терміново організувати повторний відбір проб води та провести додаткові досліджування індексу ТКБ, патогенних мікроорганізмів і колифагів.

У разі повторного виявлення бактеріального забруднення у двох послідовно взятих пробах води в одній і тій самій точці спостереження

необхідно провести додаткові досліджування якості поверхневих водних об'єктів за санітарно-хімічними показниками і у випадку їх невідповідності нормам (виявлення джерел техногенного впливу на якість води та умов їх формування у джерелах водопостачання) у місці відбору проб посилити контроль за дотриманням режиму в зонах санітарної охорони і технологією очищення та знезаражування води; проведення спеціального контролю епідемічної безпеки питної води до надходження її у зовнішню розподільну мережу і в системи внутрішнього водопроводу. З метою об'єктивного оцінювання та прогнозування епідемічної ситуації щодо стану джерел питного водопостачання, розробки обґрунтованих комплексних планів протиепідемічних і профілактичних заходів та визначення їх пріоритетності територіальні органи і установи державного санітарно-епідеміологічного нагляду збирають та зберігають відповідну інформацію, опрацьовують її та узагальнюють, зокрема з урахуванням даних державної та відомчих систем екологічного моніторингу.

У разі повторного виявлення токсикологічного забруднення у двох послідовно взятих пробах води (у тій самій точці спостереження) вживають заходи щодо посилення контролю за дотриманням режиму в зонах санітарної охорони джерел водопостачання, а також проведення спеціальних типів контролю – токсичної і радіаційної безпеки питної води. У разі повторного виявлення у питній воді токсичних забруднень суб'єкт господарювання зобов'язаний вжити спеціальних заходів на спорудах системи водопостачання (зокрема здійснити їх реконструкцію), оповістити в установленому порядку споживачів, які є найуразливішими об'єктами ризику, а також виконати екологічне обстеження зон санітарної охорони та джерел надходження забруднень в їх межах.

Територіальні установи державного санітарно-епідеміологічного нагляду використовують результати досліджень якості води за показниками її складу і властивостей для погоджування відомчих графіків періодичності проведення досліджень, визначення загальної кількості проб, необхідних для цих досліджень та для з'ясування обсягу виробничого контролю джерел централізованого питного водопостачання. Залежно від конкретної санітарної та екологічної ситуацій у межах передбачуваних зон санітарної охорони та у місці водозабору можуть здійснюватись додаткові дослідження окремих показників якості води, перелік та частоту визначення яких погоджують з органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду та природоохоронними органами.

*Нові джерела централізованого питного водопостачання, відповідно до їх надійності, обирають у такому порядку: 1) міжпластові напірні води; 2) міжпластові безнапірні води; 3) ґрунтові води (перший від поверхні водоносний горизонт); 4) поверхневі води (річки, водосховища, озера, канали). У разі вибирання нових джерел господарсько-питного водопостачання перевагу надають найбільш надійним. У разі недостатніх*

запасів води в них або неможливості їх використання (з технічного та/або економічного погляду) дефіцит води слід поповнювати за рахунок менш надійних водних джерел з урахуванням розрахункової якості води після їх змішування перед надходженням у розподільчу мережу. Вибір нових джерел централізованого питного водопостачання за наявності кількох джерел визначають техніко-економічним порівнянням можливостей одержання якісної питної води, яка відповідає вимогам санітарного законодавства. У разі експлуатування наявних та проектуванні нових підземних джерел централізованого питного водопостачання обов'язково враховують балансові запаси підземних вод, затверджені у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Запропонований стандарт характеризується з нашої точки зору деякими недоліками:

1. Пріоритет дійсного стандарту викладений у назві: вимоги до якості води й правила вибору джерел *централізованого питного водопостачання*. Тобто забезпечення безпеки населення при виборі джерел питної води. Для цього повинні використовуватися санітарні норми, гігієнічні нормативи (вимоги). Використання прикметника «екологічні» у даному документі (у назві й далі по тексту на стор. 9, 10, 11, 16, 22, 23) здається зайвим, оскільки при «екологічних» вимогах мається на увазі, насамперед, збереження водних екосистем. У даного стандарту інша мета.

2. Використовується термін «величина» показника (індексу) замість «значення» показника (індексу). Це не зовсім коректно, оскільки будь-який показник якості води (індекс) відповідно до загальноприйнятої термінології являє собою випадкову (фізичну) величину, що може мати безліч значень.

3. Показники якості води II, V, VI й VII груп у табл. 1 й 2 називаються і «гігієнічними», і «екологічними». Сенс так називати показники якості води незрозуміло. Гігієнічними, рибогосподарськими, екологічними, іригаційними й т.д. можуть бути нормативи (критерії) показників якості вод. Один показник може мати різні нормативи (наприклад, у показника нафтопродукти ГДК дорівнює 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, а рибогосподарський – 0,05 мг/дм<sup>3</sup>).

4. Рекомендується класифікація джерел централізованого водопостачання по *гігієнічних й екологічних критеріях* (стор. 11). Класифікація може бути або за гігієнічними критеріями, або за екологічними. Для показників якості вод у більшості випадків гігієнічні критерії не можуть відповідати (бути рівними) екологічним. Перші спрямовані на забезпечення безпеки людей (для нас вода не є середовищем мешкання), другі - на охорону водних екосистем. Рибогосподарські ГДК у більшості речовин набагато нижче гігієнічних. Тому екологічні нормативи тим більше повинні бути нижче гігієнічних.

5. Табл. Б1 не має сенсу тому, що оцінку узагальненого індексу за пропонованою методикою можливо зробити лише з точністю до цілого числа (недолік «г» методики екологічної оцінки).

6. Висновок у прикладі на стор. 37 не відповідає розрахунку в табл. Б2. Крім того, значення будь-якого узагальненого індексу (у тому числі й за найгіршим значенням) у даній методиці не може бути більше 4.

7. Розподіл якості вод на другий та третій класи є формальним й практичного значення не має тому, що в додатку В ці два класи розглядаються разом, і обробка вод цих класів не відрізняється. Фактично за методами обробки виділено три класи (як і в раніше діючому ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора»). Наявність чотирьох класів можливо пояснити методикою, що прийнята за основу пропонованої класифікації.

8. В основі пропонованої класифікації лежить діюча «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями». У порівнянні із цією методикою автори лише збільшили кількість показників, розбивши їх на більшу кількість блоків, забрали категорії, зменшили кількість класів якості вод (забрали п'ятий клас) і змінили за деякими показниками границі класів. Принцип розрахунку узагальненого індексу такий же як й у згаданій методиці. У такий спосіб всі основні недоліки методики екологічної оцінки залишилися колишніми (за винятком першого зауваження): обмеженість показників; відсутність урахування ефекту сумарної дії речовин; призначення показнику номера класу якості у широкому діапазоні його значень; незалежність оцінки від значень показника якості у границях класу 4; як підсумок – неадекватна оцінка.

9. Пропонується чотирьохбальна оцінка якості вод (4 класи якості): дуже чиста (1), чиста (2), слабо забруднена (3) и посередня (4). Звідси видно, що основним критерієм чистоти або забруднення води являється границя між 2 и 3 класами. Аналіз табл. 1 показує, що ця границя по одним показникам відповідає діючим гігієнічним нормативам (барій, бромід, марганець, ртуть), по другим – рибогосподарським (БСК, азот амонійний, залозо, нафтопродукти), по третім (їх більшість) – вона знаходиться між рибогосподарськими і гігієнічними нормативами (ванадій, кобальт, молібден, нікель та ін.); крім того, по бенз(а)пірену розглядувана границя перевищує гігієнічний норматив у 140 разів, по фенолах – в 10 разів. В стандарті, який претендує на роль державного, не враховано вимоги санітарних норм (гігієнічні нормативи), які ніхто не відмінює. Використовуються і гігієнічні, і рибогосподарські нормативи, якщо при розробці цих нормативів мета була різною.

10. Крім всіх згаданих недоліків головним є те, що при оцінці якості вод осереднення (так ще подвійне) *застосовувати не можна*, коли мова

йде про *безпеку людини*. Осереднена оцінка у цьому випадку не має практичного сенсу. Який сенс у середньому значенні температури пацієнтів у лікарні? При осередненні втрачається важлива інформація по окремих показниках. По цьому поводу існує дуже влучний вираз: «В середньому окрас зебри відповідає окрасу сірої миші». На додаток до усього у розглядуваній методиці ще й відсутня залежність узагальненого індексу від значень показників у класі 4 (перевищення ГДК може бути будь-яким). Наприклад, за одним показником вода небезпечна для здоров'я людини. Цей показник одержить індекс 4 (більшого значення за методикою немає). Якщо всі інші показники будуть із індексом 1, то чим більше показників, тим ближче буде середнє значення усередині блоку до 1. Якщо сюди ще додати осереднення між блоками, то вода відповідно до методики буде віднесена до першого класу – «дуже чиста». Осередненій оцінці довіряти неможна. Це розуміють і автори, тому у методиці не випадково рекомендується додатково класифікувати воду за найгіршим значенням показників, детально представляти аналіз результатів досліджень по всьому набору показників (дод. Д), вказувати усі показники, які не відповідають встановленим вимогам (п. 5.1 в дод. Е), і з урахуванням цієї інформації робити висновок про можливість використання води для господарсько-питних потреб.

11. Запропоноване узагальнення за найгіршими значеннями показників не має практичного сенсу тому, що більшість показників є незалежними між собою випадковими величинами, тобто при найгіршому значенні одного показника у пробі значення інших можуть бути самими різними. Ймовірність того, що усі показники якості води одночасно будуть мати найгірші значення, практично дорівнює нулю. Для чого оцінювати стан води, якого ніколи не було й не буде?

12. За якістю води буде наведена вичерпна інформація, якщо у додатку, аналогічному Д, для *кожного показника* записати не результат одиничного аналізу, а середнє його значення по усьому ряду спостережень (ще правильніше у відповідності з діючою методикою розрахувати фонові значення, які дорівнюють правій границі 95% довірчого інтервалу середніх значень). Далі за цими даними встановити клас води за кожним показником. І за найгіршим показником класифікувати воду у цілому. Аналогічний підхід використовується, наприклад, при класифікації ґрунтів днопоглиблення на Азово-Чорноморському басейні.

### ***Питання для самоконтролю:***

1. Як виконується оцінка якості вод за допомогою індексу забруднення води (ІЗВ)?
2. Охарактеризуйте методику оцінки на основі розрахунку комбінаторного індексу забруднення (КІЗ).

3. Як розраховується комплексний показник екологічного стану (КПЕС)?
4. У чому полягає сутність орієнтовної та ґрунтовної екологічної оцінки якості вод?
5. Що являє собою екологічний індекс ( $I_E$ ) якості води?
6. Поясніть сутність узагальненого індексу якості води.
7. Як виконується оцінка якості вод джерел питного водопостачання?
8. Дайте характеристику гігієнічних та екологічних критеріїв якості питних вод.
9. Які виділяють класи якості питних вод за ДСТУ 4808?



## 5 ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ЯК СЕРЕДОВИЩА МЕШКАННЯ ГІДРОБІОНТІВ

### 5.1 Біоіндикаційна оцінка якості вод

#### 5.1.1 Гідробіологічна оцінка якості поверхневих вод і донних відкладів.

Гідробіологічна оцінка якості вод дозволяє: визначити екологічний стан водних об'єктів; оцінити якість вод як середовища мешкання живих організмів; визначити сукупний ефект впливу забруднювальних речовин; перевірити наявність вторинного забруднення.

Біоценоз і біотоп існують як єдине ціле. На зміни, що відбуваються в біотопі (у тому числі антропогенні), біоценоз реагує зміною інтенсивності й характеру свого метаболізму, свого видового складу. У водній екосистемі особливості біоценозу визначають швидкість й інтенсивність процесів самоочищення (формування чистої води). Особливості біоценозу повною мірою відображають особливості біотопу, на цьому засновані всі методи гідробіологічного аналізу якості вод і донних відкладів [33].

Для гідробіологічної оцінки якості вод можна використовувати практично всі групи організмів, що населяють водні об'єкти: планктонні й бентосні безхребетні, найпростіші водорості, макрофіти, бактерії та риби. Кожна група організмів як біоіндикатор має свої переваги і недоліки, які визначають границі її використання при вирішенні завдань біоіндикації.

*Водоростям* належить провідна роль в індикації зміни якості води в результаті евтрофування водного об'єкта. При евтрофуванні водного середовища й відповідному погіршенні його якості sukcesія видового складу особливо сильно проявляється в угрупованні *фітопланктону*. Однак водорості не можуть бути індикаторами фекального забруднення, посередньо залежать від органічного забруднення й мають слабку чутливість до важких металів і пестицидів [33].

Значення *зоопланктону* як біоіндикатора дуже велике й обумовлено це, в першу чергу тим, що серед зоопланктонних організмів зустрічаються представники патогенної фауни, які обмежують використання водного об'єкта з метою водопостачання та рекреації [33]. Зоопланктон має вирішальне значення при біоіндикації якості води середніх шарів пелагіалі великих озер, звідки виконується забір води для водопостачання, а також у гирлових затоках річок, що впадають у водоймище в його верхній частині з великими добовими коливаннями рівня.

Індикація якості вод по *найпростіших* використовується в тих випадках, коли потрібна оцінка забруднення безпосередньо в момент відбору проби й незадовго до цього. Експрес-методи оцінки якості вод по найпростіших дозволяють одержати надійну інформацію практично

миттево [33]. Крім того, найпростіші є високочутливими індикаторами сапробного стану водного об'єкта (органічного забруднення).

Для одержання надійних оцінок води, що протікає, у водотоках або водних масах, розташованих вище специфічного придонного шару у водоймах, використовується *перифітон*. За своїм складом і розвитком організми перифітону відповідають середнім умовам, при яких існувало угруповання до моменту дослідження.

*Зообентос* є добрим й у ряді випадків єдиним біоіндикатором забруднення донних відкладів і придонного шару води. Склад біоценозів відносно постійний, поки він перебуває в умовах, у яких він сформувався. У досить чистих водах донні угруповання в добре аерованих ділянках дна характеризуються високою видовою різноманітністю, що свідчить про гарний стан водної екосистеми. У забруднених водних об'єктах зникають групи тварин, найбільш чутливих до окремих забруднювальних речовин. Відбувається видозміна складу біоценозів, іноді катастрофічна, що призводить до заміни їх іншим складом. Макрозообентос є основою багатьох систем біоіндикації, у тому числі біотичних балів і біотичного індексу.

*Макрофіти* найчастіше використовуються при рекогносцирувальному огляді водних об'єктів з метою екологічно обгрунтованого розміщення постійних пунктів контролю забруднення. У прибережно-водній рослинності легко піддається обліку домінуюча флора. При цьому за підтипом *водної рослинності*, представленої гідромезофітними, гідрофітними й гідрофотофітними видами, оцінюється якість водного середовища, а за підтипом *прибережної рослинності*, представленої гідрофітними, мезофітними й ксеромезофітними видами, оцінюється забруднення донних відкладів слаботорозчинними й малорухомими токсичними речовинами.

При забрудненні водних об'єктів змінюється видовий склад, біомаса й продукція макрофітів, виникають морфологічні аномалії, відбувається зміна домінуючих видів. Однак при використанні макрофітів як біоіндикаторів якості вод і донних відкладів, необхідно враховувати їхню більшу стійкість до короткочасного забруднення.

Особливість *бактеріологічного* аналізу води (як і хімічного) полягає в можливості характеризувати якість води тільки безпосередньо в момент відбору проб. Бактерії є незамінними індикаторами фекального забруднення, а також можуть служити добрими індикаторами органічного й токсичного забруднення. Особливості ростової реакції деяких видів бактерій дозволяють установити присутність у воді нітратних солей свинцю, міді й кадмію в концентраціях  $5 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>, окису ртуті -  $5 \cdot 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup> і срібла -  $5 \cdot 10^{-18}$  моль/дм<sup>3</sup> [33].

Висока чутливість мікробіологічних показників до фекального забруднення обумовлена великою різницею у вмісті мікроорганізмів-

індикаторів у стічних водах й у воді контрольованого водного об'єкта. Для ряду бактерій-індикаторів ця різниця досягає сотень тисяч і навіть десятків мільйонів разів. Це дозволяє використати бактеріологічні показники при контролі розповсюдження забруднення у водному об'єкті, а також при вивченні процесів самоочищення й розведення стічних вод. При біоіндикації якості вод за бактеріологічними показниками необхідно враховувати швидкість відновлення угруповань після тимчасового забруднення.

Дані по *іхтіофауні* важливі при оцінці стану в цілому водного об'єкта, який має рибогосподарське призначення. Випадки масової загибелі риби часто виявляються першими сигналами залпових, аварійних скидів забруднювальних речовин.

Відсутність риби у водних об'єктах, особливо в тих, де колись водилася риба, вказує на вкрай несприятливий стан в екосистемі, причиною якого може бути сильне (важке) забруднення. Однак наявність риби у водному об'єкті ще не свідчить про відсутність у воді або донних відкладах речовин, шкідливих для риби й людини, особливо при їхньому тривалому впливі. Тому наявність риби не може бути індикатором ні біологічної чистоти вод, ні відсутності у воді присмаку або запаху, ні придатності води для питних потреб або купання, а також для будь-яких промислових цілей [33].

Біологічні наслідки забруднення вод і донних відкладів можна дослідити за допомогою кожної з перерахованих вище груп організмів, але всебічна характеристика стану екологічної системи можлива тільки на основі аналізу й узагальнення досить повних даних по різних водних угрупованнях.

Серед методів гідробіологічного аналізу поверхневих вод сапробіологічний аналіз займає одне з найважливіших місць. Спочатку під сапробністю розумілася здатність організмів розвиватися при більшому або меншому вмісті у воді органічних забруднювальних речовин. Потім експериментально було доведено, що сапробність організму обумовлена як його потребою в органічному харчуванні, так і резистентністю стосовно шкідливих продуктів розпаду й дефіциту кисню в забруднених водах.

У класичній системі організми-індикатори поділяють на три групи:

- 1) організми сильно забруднених вод - *полісапроби*;
- 2) організми помірно забруднених вод - *мезосапроби* (із двома підгрупами  $\alpha$  і  $\beta$ );
- 3) організми мало забруднених вод - *олігосапроби*.

*Полісапробні води* в хімічному відношенні характеризуються бідністю на  $O_2$  і більшим вмістом  $CO_2$  й високомолекулярних органічних речовин, що легко розкладаються, - білків і вуглеводів. У цих водах інтенсивно протікають процеси редукції й розпаду з утворенням

сірчистого заліза в мулі й сірководню. Населення полісапробних вод має малу видову різноманітність, але окремі види можуть досягати великої чисельності. Аерофільні організми повністю відсутні. Тут особливо поширені безбарвні джгутиконосці й бактерії (більше  $10^6$  кл/см<sup>3</sup>). Полісапробні організми можуть зустрічатися в мезосапробних водах, але в олігосапробних водах не утворюють постійної картини й зустрічаються надзвичайно рідко.

Характерним для  $\alpha$ -мезосапробних вод є енергійне самоочищення. Воно відбувається в результаті окисних процесів за рахунок кисню, який виділяється хлорофілоносними рослинами. Серед цих рослин зустрічаються деякі синьо-зелені, діатомові й зелені водорості. Велику чисельність мають гриби й бактерії (більше  $10^5$  кл/см<sup>3</sup>). Тут можуть жити невимогливі до кисню види риб.

В  $\beta$ -мезосапробних водах процеси самоочищення протікають менш інтенсивно. У них домінують окисні процеси. Нерідко спостерігається пересичення киснем. Переважають такі продукти мінералізації білка, як амонійні сполуки, нітрити й нітрати. У цих водах різноманітно представлені тваринні й рослинні організми. Серед останніх зустрічаються діатомові, зелені й синьо-зелені. Число бактерій звичайно не перевищує  $10^5$  кл/см<sup>3</sup>. Багато макрофітів знаходять тут оптимальні умови для свого росту.

Олігосапробні води представляють практично чисті води. Для них характерна майже повна мінералізація органічних речовин, їхня концентрація не перевищує 1 мг/дм<sup>3</sup>. Число бактерій не більше  $10^3$  кл/см<sup>3</sup>, якщо не потрапляють випадково занесені форми. В олігосапробних водах багато представлених перидінеї, зустрічаються навіть харові водорості.

Одним з найпоширеніших і зручних методів сапробіологічного аналізу стосовно організмів планктону вважається метод Пантле й Бука в модифікації Сладечека. Для гідробіологічного аналізу забруднення вод і донних відкладів малих рік за складом донних макробезхребетних найбільш перспективним визнано метод біотичних індексів р. Трент, розроблений Вудівісом. Для оцінки стану водних екосистем у цілому використовуються також індекси видової різноманітності. Однак використання їх є спірним, оскільки незначне видове різноманіття може спостерігатися як у дуже забруднених, так і у дуже чистих водах. Крім того, коливання видового різноманіття в тих самих водах може бути пов'язане з динамікою сезонного масового вильоту імаго комах.

У системі Гідробіологічної служби колишнього СРСР був прийнятий класифікатор якості вод, що містить 6 класів (табл. 5.1). Клас якості вод визначається на основі даних по зообентосу, перифітону, фітопланктону й зоопланктону, а також по бактеріопланктону, коли цей показник використовується.

Таблиця 5.1 - Класи якості вод суши за гідробіологічними показниками

Клас	Води	Зообентос		Фітопланктон, зоопланктон, перифітон	Мікробіологічні показники		
		Чисельність олігохет, % від загальної кількості	Біотичний індекс		Індекс сапробності по Пантле-Буку (модифікація Сладечека)	Загальна кількість бактерій, млн.кл/см <sup>3</sup> (а)	Сапрофітні бактерії, тис.кл/см <sup>3</sup> (б)
I	Дуже чисті	1-20	10-8	<1,00	≤0,5	≤0,5	>10 <sup>3</sup>
II	Чисті	21-35	7-5	1,00-1,50	0,6-1,0	0,6-5,0	>10 <sup>3</sup>
III	Помірно забруднені	36-50	4-3	1,51-2,50	1,1-3,0	5,1-10,0	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>
IV	Забруднені	51-65	2-1	2,51-3,50	3,1-5,0	10,0-50,0	<10 <sup>2</sup>
V	Брудні	66-85	1-0	3,51-4,00	45,1-10,0	50,0-100	<10 <sup>2</sup>
VI	Дуже брудні	86-100	0	>4,00	>10,0	>100	<10 <sup>2</sup>

Примітка. Припустимо оцінювати клас вод як проміжний між II-III, III-IV та IV-V.

Остаточна експертна оцінка якості вод здійснюється з урахуванням таких показників: чисельність і біомаса організмів, загальне число видів, співвідношення різних груп організмів в окремих угрупованнях, стану макрофітів, інтенсивності продукційно-деструкційних процесів, активності мікробіологічних процесів. Загальна оцінка якості вод у кожному конкретному випадку дається по сукупності гідробіологічних показників.

### 5.1.2 Оцінка якості вод по макрозообентосу.

Організми зообентосу займають у водоймі два основних біотопи: ґрунт (поверхня й товща) і рослинність. Рухливі організми можуть відриватися від поверхні субстрату й плавати у воді, займаючи третій біотоп - водну товщу в межах придонного шару або водного простору в заростях макрофітів.

Зообентос внутрішніх водойм умовно ділять на три групи: 1) макробентос - більше 2-3 мм; 2) мезобентос - 0,5-3 мм; 3) мікробентос - менше 0,5 мм.

У макробентос попадають великі організми, наприклад, двостулкові молюски, личинки хірономід останніх віків, статевозрілі особини олігохет. По макрозообентосу визначаються такі показники: загальне число організмів; загальне число видів; загальна біомаса; кількість груп по стандартному розбору; чисельність основних груп; біомаса основних груп; число видів у групі; масові види й види-індикатори сапробності.

Мезобентос поєднує тварин, які з ростом переходять до складу

макрофауни, а також розміри яких і в дорослому стані не перевищують 2 мм.

*Мікробентос* включає дрібні організми, представлені головним чином найпростішими, коловертками, турбеляріями й гастротріхами.

Оцінка якості вод по показниках зообентосу проводиться за багатьма методиками. Найпоширенішим є метод біотичних індексів, у якому об'єднані принцип індикаторного значення окремих таксонів і принцип зміни розмаїтості фауни в умовах забруднення.

У робочій шкалі біотичного індексу (табл. 5.2) використовується найбільш часто зустрічаєма послідовність зникнення тварин у міру збільшення забруднення. Для врахування різноманітності фауни запропоновано умовне поняття «група» тварин, під яким для одних тварин розуміються окремі види, для інших груп, що важко визначаються, більш великі таксони. За сумою «груп» і якісним складом тварин визначаються значення біотичного індексу.

Таблиця 5.2 - Робоча шкала для визначення біотичного індексу

Показові організми	Видове розмаїття	Біотичний індекс за наявністю загального числа «груп»				
		0-1	2-5	6-10	11-15	≥16
Личинки веснянок	Більше одного виду	–	7	8	9	10
	Тільки один вид	–	6	7	8	9
Личинки одноденок (вкл. <i>Baëtis rodani</i> )	Більше одного виду	–	6	7	8	9
	Тільки один вид	–	5	6	7	8
Личинки ручейников (вкл. <i>Baëtis rodani</i> )	Більше одного виду	–	5	6	7	8
	Тільки один вид	–	4	5	6	7
Гамаруси	Всі вищеназвані види відсутні	3	4	5	6	7
Водяний ослик	Те ж	2	3	4	5	6
Тубіфіциди і (або) (червоні) личинки хірономід	Те ж	1	2	3	4	–
Всі вищеназвані групи відсутні	Можуть бути присутні деякі види, невимогливі до кисню	0	1	2	–	–

Робота зі шкалою починається з визначення позиції в першій графі при русі зверху вниз у міру відсутності в розглядуваній пробі показових організмів. Потім ураховується видова розмаїтість у показовій групі (друга графа). Після цього за сумою «груп» в останній графі «біотичний індекс...» перебуває стовпець із відповідним числом «груп» у пробі та у цьому стовпці на перетині з лінією показової групи визначається значення біотичного індексу. Далі по табл. 5.3 оцінюється стан водного середовища й донних відкладів.

Таблиця 5.3 - Оцінка стану водного середовища  
за методикою Гуднайта і Уїтлея

Стан річки	Добрий	Сумнівний	Сильно забруднений
Олігохети, % від загального числа донних організмів	<60	60 – 80	>80

Для гідробіологічного контролю якості вод використовують також біоіндикатори великих таксонів. Методика Гуднайта й Уїтлея (табл. 5.3) побудована на оцінці стану придонного шару води і донних відкладів по відносній чисельності олігохет (малоцетинкових черв'яків).

Відносна чисельність олігохет, як і біотичний індекс, використовується в класифікаторі якості вод (див. табл. 5.1).

Існують методики оцінки стану водотоків, засновані на обліку відносної чисельності олігохет і тубіфіцид, а також личинок хірономід, ортокладин і таніподин.

Поряд з викладеними методиками при визначенні якості вод по організмах зообентосу у деяких випадках використовують метод індикаторних організмів, оснований на системі сапробності. Індекс сапробності можна розрахувати по одній якій-небудь групі організмів, що домінують при даних екологічних умовах.

### **5.1.3 Оцінка якості вод по перифітону, фіто- і зоопланктону.**

Під перифітоном розуміють угруповання, що живуть на твердому субстраті за межами специфічного придонного шару води. У нього входять як співтовариства на предметах, уведених у воду людиною (судна, буї, гідротехнічні споруди й т.п.), так і на природних субстратах: каменях, корчах і макрофітах.

У прісних водоймах до складу перифітону входять бактерії, водорості, найпростіші, коловертки, личинки хірономід, нематоди, олігохети. Рідше зустрічаються моховинки, губки, гриби, молюски та інші групи організмів. Для угруповань перифітону характерна перевага форм організмів, прикріплених до субстрату. Найбільш показове значення має перифітон, що розвивається на предметах, які перебувають у проточних місцях водойми, де неможливі які-небудь випадкові застої брудної або чистої води.

*Зоопланктон* - сукупність тварин, що населяють товщу води. Зоопланктон прісних вод представлений в основному найпростішими, коловертками, веслоногими й гілчастовусими раками. Організми зоопланктону в основному мікроскопічні форми. Залежно від лінійних розмірів прісноводний планктон прийнято ділити на такі групи:

- 1) *мезопланктон* - найбільш великі організми, видні неозброєним оком, їхні розміри досягають декількох міліметрів (циклопи, дафнії й т.п.);
- 2) *мікропланктон* - організми з розмірами від 50 до 1000 мкм

(клардоцери, копеподи й ін.);

3) *нанопланктон* - організми, довжина тіла яких менше 50 мкм;

4) *ультрапланктони* - у край дрібні організми з довжиною тіла менше 20 мкм.

Залежно від типу водойми розрізняють: евлімнопланктон - планктони озер; гелеопланктон - планктони ставків; тельмапланктон - планктон калюж; кренопланктон - планктони джерел; потамопланктон - планктон річок.

*Фітопланктон* - мікроскопічні організми, що вільно плавають у товщі води й здійснюють фотосинтез. Угруповання фітопланктону є одним з найважливіших елементів водних екосистем. Асоціації реофільного планктону представлені головним чином діатомовими й зеленими протококковими водоростями. У складі лимнофільних комплексів найбільш масовими, такими, що спричиняють «цвітіння» водойм, є ціанобактерії.

Для оцінки якості вод по перифітону, фіто- і зоопланктону використовується метод індикаторних організмів Пантле й Букка в модифікації Сладечека [33]. Цей метод заснований на використанні індексу сапробності, що розраховується за формулою:

$$S = \sum (sh) / \sum h, \quad (5.1)$$

де  $s$  – індикаторна значущість виду живих організмів;

$h$  – відносна частота зустрічальності виду.

Індикаторну значущість  $s$  визначають для кожного виду по списках сапробних організмів [33]. Частоту зустрічальності  $h$  оцінюють за окомірною шкалою (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 - Співвідношення значень відносного достатку і частоти зустрічальності організмів

Частота	Кількість екземплярів одного виду, % загальної кількості екземплярів	$h$
Дуже рідко	<1	1
Рідко	2 – 3	2
Нерідко	4 – 10	3
Часто	10 – 20	5
Дуже часто	20 – 40	7
Маса	>40	9

#### 5.1.4 Індекси видового різноманіття.

Індекс видового багатства Маргалефа визначається за формулою:

$$d = (s - 1) / \ln N, \quad (5.2)$$



де  $s$  – число видів;

$N$  – число особин.

Індекс Менхінкка визначається за формулою:

$$d_M = (s - 1) / N^{1/2}. \quad (5.3)$$

Одним з показників стану екосистеми є індекс видового різноманіття Шенона [9]:

$$H = - \sum_{i=1}^m (n_i / N) \ln(n_i / N), \quad (5.4)$$

де  $m$  – число видів;

$n_i$  – число (біомаса) особин певного виду в одиниці об'єму води;

$N$  – загальне число (біомаса) особин в одиниці об'єму води.

### **5.1.5 Токсобність вод.**

*Токсобністю* характеризують кількість токсичних речовин у воді, здатних впливати на водну флору й фауну. За вмістом токсичних речовин води можуть бути оліго-, мезо- та політоксобними. Мезотоксобні води мають дві підгрупи:  $\beta$ -мезотоксобні та  $\alpha$ -мезотоксобні.

Відповідно [34] оцінка токсобності вод виконується по наявності у водному об'єкті видів-індикаторів різної токсобності. Фрагмент довідника, що відноситься до зоопланктону й зообентосу, наведено у табл. 5.5.

Відповідно до табл. 5.5, води одержують певний клас токсобності, якщо не порушується відтворення, продуктивність та якість таксономічних груп, які є індикаторами даного класу токсобності, а також всіх груп, розташованих у стовпцях праворуч.

## **5.2 Оцінка якості вод методом біотестування**

*Біотестування* – це метод, який дозволяє досліджувати сумісний вплив усіх речовин, що містяться у воді (в т.ч. і полютантів), на представників живої природи, які в ній мешкають. Як тест-об'єкти використовують домінуючі та ключові види, найбільш вразливі до різних видів забруднення. Ці організми або вирощують в лабораторних умовах, або беруть із досліджуваного водного об'єкта (району моря) і адаптують до лабораторних умов.

Таблиця 5.5 - Розподіл організмів за токсобністю [34]

Екологічна група	Таксономічна група	Оліго-токсоби	$\beta$ -мезо-токсоби	$\alpha$ -мезо-токсоби	Полі-токсоби
Зоо-планктон	Остракоди		Всі види	Всі види	
	Водні кліщі			Всі види	Всі види
	Кладоцера	Дафніди, сідіди, хижаки, кладоцера	Хідоріди, босмініди		
	Веслоногі		Каланіди	Циклопоїди	
	Коловратки		Всі, окрім мезотоксобів	Бделлаїди	
	Инфузорії			Рухливі форми	Рухливі форми
	Безбарвні джгутикові			Всі види	Всі види
Зообентос	Ракоподібні	Гаммаріди, мізиди, корофіїди, річковий рак	Ізопода		
	Харпактіциди		Всі види	Всі види	
	Молюски		Двостулкові	Черевоні	
	Водні комахи	Одноденки	Одноденки, бабки, ручейники	Хірономіди, жуки, клопи, мокриці, куліциди	
	Черва		Олігохети	Олігохети, крім політоксобів, п'явки, планарії	Тубіфіциди, люмбріциди, нематоди

Як правило, тестування природних та стічних вод [35] проводять на різних представниках фіто- і зоопланктону (біотестування донних відкладів, що піддаються антропогенному впливу, проводять на представниках зообентосу):

1) на дафніях проводять тестування стічних вод, що утворюються на різних етапах технологічного процесу, а також стічних вод іншого походження, які скидаються у водні об'єкти;

2) на парамеціях проводять тестування стічних вод, що відводяться на очисні споруди;

3) за допомогою каланусів, акартій та пенілій (а також одноклітинних водоростей) досліджується вплив ґрунтів, що скидаються в районах підводних звалищ у Чорному морі [36], на якість водного середовища.

Перед початком експериментів [35] зазвичай перевіряється придатність організмів для тестування за допомогою *еталонної речовини*

(речовини з відомою токсичністю). Як еталонна речовина для культури дафній використовується  $K_2Cr_2O_7$ , для культури парамецій –  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

*Придатність дафній для тестування* [35] проводять шляхом визначення середньої летальної концентрації розчину  $K_2Cr_2O_7$  за 24 години ( $LC_{50-24}$ ). Готують розчин  $K_2Cr_2O_7$  на дистильованій воді з концентрацією 1 г/дм<sup>3</sup>. Із нього методом розводження, використовуючи дехлоровану питну воду, готують серію розчинів з концентраціями від 0,5 до 3,0 мг/дм<sup>3</sup> з інтервалом 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Біотестування розчинів проводять протягом 24 годин. Через 24 години для кожного розчину з відомою концентрацією  $K_2Cr_2O_7$  розраховують відносну кількість загиблих дафній ( $A$ ) за формулою:

$$A = 100(X_K - X_D) / X_K, \quad (5.5)$$

де  $A$  – кількість загиблих дафній, %;

$X_K$  – середнє арифметичне значення кількості живих дафній у контролі;

$X_D$  – середнє арифметичне значення кількості живих дафній у досліджуваній воді.

Далі пробіт-методом визначають  $LC_{50-24}$ . Якщо  $LC_{50-24}$  перебуває у діапазоні 1,0 – 2,5 мг/дм<sup>3</sup>, то культура дафній придатна для тестування.

*Придатність культури парамецій для біотестування* проводять шляхом [35] визначення середньої летальної концентрації розчину  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  за 1 годину ( $LC_{50-1}$ ). Виготовляють розчин  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  на дистильованій воді з концентрацією 1 мг/дм<sup>3</sup>. Із нього методом розводження готують серію розчинів з концентраціями від 0,5 до 2,0 мг/дм<sup>3</sup> з інтервалом 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, використовуючи дехлоровану питну воду. Тестування розчинів проводять протягом 1 години. Через 1 годину для кожного розчину розраховують показник  $A$  за формулою:

$$A = 100X_2 / X_1, \quad (5.6)$$

де  $A$  – кількість загиблих парамецій, %;

$X_1$  та  $X_2$  – середнє арифметичне значення кількості живих парамецій на початку тестування і загиблих парамецій наприкінці тестування, шт.

Далі за допомогою пробіт-методу оцінюють  $LC_{50-1}$ . Якщо  $LC_{50-1}$  знаходиться у діапазоні 1,0 – 1,5 мг/дм<sup>3</sup> – культура парамецій придатна для тестування.

При перевірці придатності організмів для тестування, а також часто у процесі обробки результатів тестування необхідно визначити концентрацію (кратність розводження) речовин у водному середовищі, за якої значення (змінення) показника реагування організмів становить 50%. Для цього обробку даних проводять, використовуючи [36] відомий в біометрії *пробіт-аналіз*.

Концентрації (кратності розводження) речовини переводять у десяткові логарифми, а значення показника реагування, що їм відповідають - у пробіти (табл. 5.6). Одержані дані наносять на графік, відкладаючи на осі абсцис логарифми концентрацій речовини, а на осі ординат – пробіти, що їм відповідають. По точках проводять пряму лінію.

Таблиця 5.6 – Переведення відсотків летальних наслідків у пробіти [36]

A, %	Десяті частки, %									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2,67	2,71	2,74	2,77	2,80	2,83	2,86	2,88	2,90	2,93
2	2,95	2,97	2,99	3,00	3,02	3,04	3,06	3,07	3,09	3,10
3	3,12	3,13	3,15	3,16	3,18	3,19	3,20	3,21	3,23	3,24
4	3,25	3,26	3,27	3,28	3,29	3,30	3,32	3,33	3,34	3,35
5	3,36	3,36	3,37	3,38	3,39	3,40	3,41	3,42	3,43	3,44
6	3,45	3,45	3,46	3,47	3,48	3,49	3,50	3,50	3,51	3,52
7	3,52	3,53	3,54	3,55	3,55	3,56	3,57	3,57	3,58	3,59
8	3,59	3,60	3,61	3,61	3,62	3,63	3,63	3,64	3,65	3,65
9	3,66	3,67	3,68	3,68	3,69	3,70	3,70	3,70	3,71	3,71
A, %	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

Ця пряма дозволяє визначити  $LC_{50}$  (пробіт = 5), тобто концентрацію, за якої значення показника реагування дорівнює 50%.

Після виконання підготовчих робіт *приступають до біотестування*, яке полягає в тому, що в хімічні посудини з досліджуваною та контрольною водою поміщують тест-об'єкти і слідкують за їх реакцією. Звичайно експеримент проводять з трикратною повторюваністю, тобто готують 3 ємності з контрольною водою і по 3 ємності для досліджуваної води і кожного її розводження, якщо такі необхідні. Умови тестування (температура води, вміст кисню, освітлення і т.д.) повинні бути оптимальними для життєдіяльності організмів.

Тривалість експерименту становить не більше 96 годин. Стан водного середовища оцінюють за порушенням життєдіяльності тест-об'єктів. Індикація цих порушень здійснюється за такими ознаками: смертність у зоопланктоні і швидкість споживання радіоактивного вуглецю (радіовуглеводний метод) у одноклітинних водоростей.

Після закінчення експерименту результати підлягають статистичній обробці. Якщо середні значення показника реагування організмів (кількість загиблих організмів (%)) або зниження швидкості споживання радіоактивного вуглецю (%) у контрольному та досліджуваному середовищах) відрізняються мало, то перевіряють статистичну значущість [36] відмінності експериментальних даних по цих середовищах, використовуючи критерій Стьюдента:

$$t_P = |X_{СЕРД} - X_{СЕРК}| / \sqrt{(D_D + D_K) / n},$$

$$X_{СЕР} = (\sum X_i) / n, \quad D = (\sum (X_i - X_{СЕР})^2) / (n - 1), \quad (5.7)$$

де  $X_{СЕРД}$  і  $X_{СЕРК}$  – середнє значення показника в досліджуваному та контрольному середовищах;

$D_D$  і  $D_K$  – дисперсія значень показника для досліджуваного та контрольного середовищ;

$n$  – повторюваність у експерименті.

Перевірку можна виконати подвійно.

а) Розраховують значення критерію ( $t_P$ ) за формулою (5.7), використовуючи експериментальні дані, і порівнюють з табличним значенням при ймовірності 0,95 і ступеню свободи ( $n - 1$ ). Для трикратної повторності табличне значення критерію дорівнює 2,92.

Якщо  $t_P > 2,92$ , то розходження середніх значень показника у досліджуваному середовищі і у контролі вважається статистично значущим. У цьому випадку результат використовують у подальшій статистичній обробці. При  $t_P < 2,92$  відхилення не є статистично значущим. Результат експерименту не використовується у подальшій статистичній обробці.

б) Визначається абсолютне  $\Delta X_P$  різниці  $X_D$  і  $X_K$ :  $\Delta X_P = |X_D - X_K|$ .

Використавши формулу (5.7), визначають, яке відхилення відповідає табличному значенню  $t_T$ -критерію:

$$\Delta X = t_T \sqrt{(D_D + D_K) / n} = 2,92 \sqrt{(D_D + D_K) / n}. \quad (5.8)$$

Якщо  $\Delta X_P > \Delta X$ , відхилення статистично значуще. У протилежному випадку – незначуще.

Межі 95-відсоткового інтервалу [9] – праву ( $LC_{50П}$ ) і ліву ( $LC_{50Л}$ ) визначають за формулами:

$$LC_{50П} = LC_{50} \cdot F(LC_{50}), \quad LC_{50Л} = LC_{50} / F(LC_{50}), \quad (5.9)$$

$$F(LC_{50}) = S^{2,77 / \sqrt{N}}, \quad (5.10)$$

$$S = 0,5 [(LC_{84} / LC_{50}) + (LC_{50} / LC_{16})], \quad (5.11)$$

де  $LC_{16}$  і  $LC_{84}$  – концентрації, за яких значення показника реагування дорівнюють 16 і 84%;

$N$  – загальна кількість організмів, які використовуються при тестуванні і які попали до інтервалу  $LC_{16}$  і  $LC_{84}$ .

### 5.2.1 Біотестування вод на різних етапах технологічного процесу.

Метою тестування [35] є визначення найбільш токсичних стічних вод, що утворилися на різних етапах технологічного процесу, для вжиття необхідних заходів щодо зменшення їх токсичності, а також запобігання зменшенню ефективності біологічного очищення стічних вод, які відводяться з підприємства.

Для виявлення, зіставлення та контролю токсичності стічних вод на різних етапах технологічного процесу використовуються дафнії (*Daphnia magna* Straus).

Метод біотестування засновується на визначенні відносної кількості загиблих дафній у воді, яка аналізується, порівняно з контрольною водою (контролем).

Ступінь токсичності стічної води оцінюється тривалістю періоду часу (але не більше 96 годин), протягом якого проявляється гостра летальна токсичність. Чим менший період часу, протягом якого гине не менше 50% дафній, тим більш токсична вода (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Класифікація гострої летальної токсичності стічних вод на різних етапах технологічного процесу

Клас токсичності	Характеристика стічної води	Час завершення біотестування, год	Кількість загиблих дафній, %
1	Не виявляє гострої летальної токсичності	96	< 50
2	Слаботоксична	96	$\geq 50$
3	Помірно токсична	48	–“–
4	Середньо токсична	24	–“–
5	Високотоксична	6	–“–
6	Надзвичайно токсична	1	–“–

Для біотестування використовуються дафнії віком до 24 годин. Середня летальна концентрація двохромовоокислого калію для культури дафній за 24 години ( $LC_{50-24} K_2Cr_2O_7$ ) повинна перебувати у діапазоні 1,0 – 2,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Тестування проводять у приміщенні без шкідливої пари та газів при розсіяному освітленні, температура води 18 – 22° С, концентрація  $O_2$  у воді на початку тестування повинна становити не менш 6 мг/дм<sup>3</sup>, наприкінці – не менш 2 мг/дм<sup>3</sup>. Кількість загиблих дафній у контролі після закінчення тестування повинна бути не більше 10% від їх початкової кількості. Для контролю використовують дехлоровану питну воду.

Проби досліджуваної та контрольної води наливають у спеціально призначений хімічний посуд об'ємом 100 см<sup>3</sup>. Усього заповнюють по 3 досліджуваних і контрольних ємності. У кожній із досліджуваних і контрольних ємностей розміщують по 10 екземплярів дафній. Їх переносять за допомогою скляної трубки діаметром 5 – 7 мм.

Через 1, 6, 24, 48 та 96 годин з початку біотестування у кожній із досліджуваних і контрольних ємностей візуально підраховують кількість живих дафній, які вільно переміщуються у товщі води або спливають із дна ємності не пізніше, ніж через 15 с після її струшування. Решту дафній вважають такими, що загинули. Якщо в будь-який із моментів спостереження у досліджуваних ємностях гине не менше 50% дафній, тестування завершують.

Відносну кількість загиблих дафній розраховують за формулою (5.5)

Висновок про наявність або відсутність гострої летальної токсичності проби стічної води виконують відповідно до величини  $A$ : при  $A \geq 50\%$  вважається, що проба води проявляє гостру летальну токсичність; при  $A < 50\%$  – не проявляє. Клас токсичності встановлюють за тривалістю періоду часу, коли проявилася гостра летальна токсичність (табл. 5.7).

Форму подання результатів тестування наведено у табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – ПРОТОКОЛ виявлення на дафніях гострої летальної токсичності проб води

Назва підприємства \_\_\_\_\_

Місце відбору проби \_\_\_\_\_

Дата і час відбору проби \_\_\_\_\_

Дата і час початку тестування \_\_\_\_\_

$LC_{50-24} K_2Cr_2O_7$

Ємності	Повтор-ність	Час тесту-вання, год.	Концентрація розчиненого кисню, мг/дм <sup>3</sup>	Кількість живих дафній, шт.	Середня арифметична кількість живих дафній, шт.	$A$ , %
Конт- рольні	1					
	2					
	3					
Дослід- жувані	1					
	2					
	3					

Висновок про токсичність проби стічної води: \_\_\_\_\_

Клас токсичності \_\_\_\_\_

### 5.2.2 Біотестування стічних вод.

Для виявлення та контролю гострої летальної токсичності стічних вод, що відводяться [35] на біологічні очисні споруди, використовують парамеції (*Paramecium caudatum Ehrenberg*).

Метод біотестування засновано на визначенні відносної кількості загиблих парамецій у воді, яку аналізують, наприкінці тестування та на початку.

Критерієм токсичності води є прояв гострої летальної токсичності за 1 годину тестування (загибель не менш як 50% парамецій).

Для біотестування використовується лабораторна культура парамецій.  $LC_{50-1}$  міді сірчаної кислоти п'ятиводної ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) для культури парамецій повинна знаходитись у діапазоні 1,0 – 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. На предметному столику стереомікроскопа розміщують пластинку з ямками. У 6 ямках піпеткою розміщують по 10 – 11 парамецій. При цьому у ямках об'єм перенесеної рідини з парамеціями повинен бути не більше за 0,02 см<sup>3</sup>.

Після розсадки парамецій у 3 контрольні ямки наливають по 0,3 см<sup>3</sup> дехлорованої питної води, в інші 3 – по 0,3 см<sup>3</sup> досліджуваної води. Пластинку поміщують у чашку Петрі. За годину у трьох досліджуваних ямках визначають середню арифметичну кількість загиблих організмів ( $A$ ) згідно з формулою (5.6).

Якщо  $A > 50\%$ , вважають, що проба проявляє гостру летальну токсичність. Така вода не є безпечною для біоценозу активного мулу і здатна вплинути негативно на процес очищення. Потрібно вжити заходів щодо зниження її токсичності.

Форму подання результатів тестування наведено у табл. 5.9.

Таблиця 5.9 – **ПРОТОКОЛ**  
виявлення на парамеціях гострої летальної токсичності проби стічної води

Назва підприємства \_\_\_\_\_  
Місце відбору проби \_\_\_\_\_  
Дата і час відбору проби \_\_\_\_\_  
Дата і час початку тестування \_\_\_\_\_  
 $LC_{50-1} CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Ємності	Повторність	Кількість парамецій		Середньоарифметична кількість парамецій		A, %
		живих на початку тестування	загиблих наприкінці тестування	живих на початку тестування	загиблих наприкінці тестування	
Досліджувані	1					
	2					
	3					

Висновок про токсичність проби стічної води: \_\_\_\_\_

### 5.2.3 Біотестування очищених стічних вод.

Метою тестування є визначення кратності розводження ( $N$ ) стічної води, за якої у цій воді буде забезпечено 100% виживання тест-об'єктів за



період часу 96 годин.

Якщо при розрахункових [17] гідрологічних умовах кратність розводження стічних вод ( $n$ ) у контрольному створі водного об'єкта, що розглядається, більша або дорівнює  $N$  ( $n \geq N$ ), то можна стверджувати, що стічні води на контрольній відстані від місця їх скиду стають нетоксичними. У протилежному випадку ( $n < N$ ) стічні води у контрольному створі будуть мати токсичні властивості.

Ступінь токсичності стічної води оцінюється по різниці поміж  $N$  та  $n$ . У згаданій інструкції ця різниця зазначена як необхідна кратність розводження (НКР) стічної води. Вона визначається як середнє арифметичне значення ряду спостережень і прирівнюється до фактичної токсичності.

Характеристику токсичності стічної води наведено у табл. 5.10.

Таблиця 5.10 – Класифікація токсичності стічних вод

Клас токсичності	Характеристика стічної води	Значення необхідної кратності розводження
1	нетоксична	$\leq 0$
2	слабко токсична	$0 < \div \leq 2$
3	помірно токсична	$2 < \div \leq 5$
4	середньо токсична	$5 < \div \leq 10$
5	високотоксична	$10 < \div \leq 25$
6	надзвичайно токсична	$> 25$

Слід зазначити, що необхідною кратністю розводження правильніше було б назвати  $N$  (якщо вода токсична, необхідне  $N$ -кратне розводження, щоб вона стала нетоксичною), а різницю ( $N - n$ ) – фактичною токсичністю стічної води у контрольному створі. Це більшою мірою буде відповідати фізичному значенню розглядуваних величин.

При встановленні  $N$  користуються методикою виявлення гострої летальної токсичності, критерієм якої є загибель 50% і більше тест-об'єктів у воді, що аналізується, порівняно з контрольною водою (контролем) при тривалості тестування 96 годин.

Біотестування проб води рекомендується проводити одразу або не пізніше, як через 6 годин після їх відбирання. Якщо зазначені строки не витримуються, то воду зберігають при температурі 4 °C не більше 72-х годин.

Як тест-об'єкт використовують лабораторну культуру дафній (*Daphnia magna Straus*). Перевірка придатності дафній до тестування і умови тестування такі ж, як і були викладені раніше.

Для виявлення гострої летальної токсичності стічних вод тестують нерозведені проби і їх розчини з різною кратністю розводження ( $Kp$ ), для чого використовують дехлоровану питну воду. Кількість розводжень повинна бути не менше п'яти.

У три ємності заливають по 100 мл дехлорованої питної води (контроль). Аналогічно заповнюють по 3 ємності нерозведеною стічною водою і її розчинами. Після цього в усіх ємностях розміщують по 10 екземплярів дафній.

Через 96 годин підраховують середню арифметичну кількість живих дафній у контролі, у досліджуваній стічній воді та її розчинах. Кількість загинувших дафній у контролі повинна бути не більша за 10%.

За формулою (5.5) визначають значення  $A_i$  для кожної кратності розводження стічної води  $Kp_i$ . За допомогою цих даних пробіт-методом оцінюють середню летальну кратність розводження ( $LKp_{50}$ ).

Кратність розводження [35]  $N$  визначають з урахуванням поправки

$$N = k LKp_{50}, \quad (5.12)$$

де  $k$  – коефіцієнт забезпечення виживаємості тест-об'єктів на рівні 100% (тимчасово встановлене значення складає 2).

Значення необхідної кратності розводження для одного спостереження (НКРС) визначають за формулою

$$НКРС = N - n, \quad (5.13)$$

де  $n$  – розрахункова кратність розводження у контрольному створі (значення  $n$  береться не більше 10, що забезпечує усунення скидів стічних вод з високими показниками токсичності, незалежно від здатності водних об'єктів до розводження).

Необхідна кратність розводження (НКР) визначається як середнє арифметичне значення ряду спостережень НКРС. Отримане значення дорівнює фактичній токсичності (ФТ).

Тимчасово узгоджена токсичність (ТУТ) дорівнює ФТ, якщо ФТ < 0, у решті випадків – найменшому значенню ряду НКРС.

Гранично допустима токсичність (ГДТ) води дорівнює ФТ, якщо ФТ менше 0, або дорівнює 0, якщо ФТ > 0.

Класи токсичності показників ФТ і ТУТ визначаються у відповідності з табл. 5.10.

За матеріалами досліджень складається пояснювальна записка, яка містить протокол біотестування (табл. 5.11), графік визначення  $LKp_{50}$  і розрахунки необхідних показників.

#### **5.2.4 Біотестування морського середовища при дампінгу ґрунтів.**

Метою тестування є оцінка впливу забруднювальних речовин, які надходять у морське середовище при дампінгу ґрунтів (скиду на підводне звалище), на умови заселення живих організмів (гідробіонтів).

Ґрунти днозаглиблення являють собою трикомпонентну систему: рідка фаза, фаза завислих частинок і тверда фаза.

Таблиця 5.11 –

## ПРОТОКОЛ

виявлення на дафніях гострої летальної токсичності проби стічної  
води, яка скидається у водний об'єкт

Назва підприємства \_\_\_\_\_

Місце відбору проби \_\_\_\_\_

Водний об'єкт (приймач) \_\_\_\_\_

Дата і час відбору проби \_\_\_\_\_

Дата і час початку тестування \_\_\_\_\_

LC<sub>50</sub>–24 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

Єм- ності (крат- ність k <sub>P</sub> )	Пов- тор- ність	Час тесту- вання, год.	Концентрація розчиненого кисню, мг/дм <sup>3</sup>	Кількість живих дафній	Середня арифметична кількість живих дафній	A, %	$\frac{\ln k_P}{\text{пробіт}}$
Кон- троль- ні	1						–
	2						–
	3						–
(1)	1						0
	2						–
	3						–
(5)	1						1,61
	2						–
	3						–

Висновок про токсичність проби стічної води: \_\_\_\_\_

Клас токсичності \_\_\_\_\_

Рідка фаза є морською водою із передбачуваного місця скиду після взаємодії цієї води з ґрунтом, відстоювання та видалення зависі за допомогою фільтрів.

Фаза завислих частинок відрізняється від рідкої фази лише наявністю у воді тонкодисперсної зависі, яку у рідкій фазі відстоюють та видаляють за допомогою фільтрів.

Тверда фаза – це матеріали скиду, що осіли на дно. Кожна із цих фаз може по-різному впливати на гідробіонтів, тому проводять біотестування усіх трьох фаз.

Для одержання із проби ґрунту рідкої фази і завислих частинок необхідно частину ґрунту змішати з нефільтрованою морською водою, яку відібрано на місці скиду, у об'ємному співвідношенні проба-вода 1 : 4 й перемішувати струшуванням протягом 30 хвилин. Після струшування дати відстоятися одержаній суспензії протягом 1 години. Надсадкова частина і є фазою завислих частинок. Рідку фазу одержують шляхом послідовного фільтрування фази завислих часток через фільтри з різними розмірами пор. Останнім повинен бути фільтр з розміром пор 0,45 – 0,50 мкм.

Досліди проводять з представниками фіто- і зоопланктону: каланусами, акартіями, пеніліями та одноклітинними водоростями.

Для заповнення контрольних ємностей та розводження фаз ґрунтів,

що скидаються, при тестуванні, а також для утримання живих організмів в лабораторних умовах використовується вода, яка відбирається пластмасовими батометрами у районі передбачуваного скиду з глибини 3 – 10 м. Якщо немає можливості взяти воду з місця скиду, її можна відібрати в інших відкритих частинах акваторії. Доставлену в лабораторію морську воду зберігають у скляних посудинах при температурі 4<sup>0</sup>С.

Ця природна вода може забезпечити виживання гідробіонтів протягом 96 годин. Якщо до природної морської води додати збагачуючої речовини, то в ній зможуть виростати одноклітинні водорості. Тим самим будуть створені умови задля виживання безхребетних протягом усього періоду акліматизації.

Якщо неможливо одержати природну морську воду, готують штучну морську воду. У штучну воду також додають збагачуючі речовини.

Експерименти з одноклітинними водоростями [36] є обов'язковими не лише при дослідженні впливу скидів ґрунтів, але й стічних вод, оскільки лише за їх допомогою можна оцінити евтрофувальний ефект, який спричиняють забруднювальні речовини.

Як тест-об'єкт використовуються природні угруповання або лабораторні культури одноклітинних водоростей.

Перед початком експериментів готують ємності з контрольною морською водою, з досліджуваною фазою та її розводженнями. Мінімальний набір варіантів досліду з процентним вмістом фази в розчинах такий: 100, 50 і 10% (кратність розводження відповідно 1, 2 і 10). Повторність у експерименті трикратна.

Під час тестування використовуються конічні або круглі колби об'ємом 100 мл для дрібних видів водоростей або маленькі чашки Петрі для крупних форм діатомових водоростей.

Ємності з водою заселяють водоростями. Густина культури в дослідах з зеленими водоростями повинна становити 30 – 50 тис. кл./мл, з більш великими перидінієвими 300 – 500 кл./мл і з діатомовими – 10 – 30 клітин у кожній чашці Петрі.

Далі ємності вміщують у люмінолат і експонують протягом деякого часу. Після цього додають радіоактивний вуглець і продовжують експонувати протягом 4 годин. Коли мине зазначений час, водорості відфільтровують крізь мембранні фільтри, вимірюють радіоактивність на радіометричній установці і визначають відносну фіксацію радіовуглецю клітинами водоростей у досліді порівняно з контролем. У короткострокових дослідах з природними угрупованнями фітопланктону вуглець вносять водночас з досліджуваною фазою і експонують протягом половини або цілого світлового дня.

Результати дослідів подають у вигляді залежності ефекту від концентрації і часу. Знаючи про процентне зниження фотосинтетичної активності для кожного розчину з відомим вмістом досліджуваної фази, пробіт-методом визначають ЕК<sub>50</sub> (концентрацію, за якої відбувається

зниження фотосинтетичної активності на 50%).

Досліди з представниками зоопланктону проводять в умовах (температура, солоність), близьких до очікуваних в період скиду ґрунтів. Вміст кисню не повинен падати нижче за 4 мг/дм<sup>3</sup>. Період “світло–темнота” повинен складати 14 і 10 годин відповідно.

Досліди ставлять з триразовою повторюваністю. Мінімальний набір варіантів розводження досліджуваної фази такий же, як і в експериментах з одноклітинними водоростями. При необхідності повторність і кількість варіантів розводження збільшують.

У кожную посудину з контрольною водою і досліджуваним розчином (100 – 150 мл чашки Коха і 1 – 1,5 л стакани або акваріуми) вміщують по 10 організмів приблизно одного розміру. Для перенесення організмів використовують піпетки.

Після розміщення тварин у посудинах їх накривають кришкою. Експеримент триває 96 годин. Протягом цього часу тварин не годують і експериментальний розчин не змінюють. Неприпустиме також перемішування середовищ.

Спостереження проводять через 4, 8, 24, 48, 72 і 96 годин після початку експерименту. Кожен раз тварин перераховують, реєструють при цьому лише живі організми. Мертві організми видаляють.

Визначають відсоток летального наслідку як у досліджуваному середовищі, так і у контролі. При загибелі в контролі більш як 10% особин великих і 15% дрібних форм зоопланктону дослід припиняють і ставлять заново. Якщо смертність у контролі наприкінці дослідження менша за зазначені межі, дослід вважається дійсним і його результати піддають статистичній обробці.

Перш за все, згідно з формулами (5.7) або (5.8) встановлюють, чи є статистично значущим відхилення виживання в 100-відсотковій фазі від виживання у контролі за результатами 96-годинного дослідження.

Якщо не з'ясовано статистичної відмінності, то немає підстави очікувати негативного впливу досліджуваної фази на організми під час скиду ґрунтів. За наявності статистично значущого зниження виживання біологічні дослідження розглядають разом з даними по зміщенню, якого очікували у місці скиду.

Імовірність негативного впливу оцінюють згідно з кривою смертності в координатах «час – концентрація”, яку побудовано за даними тестування, і по кривій розводження матеріалу скиду, яку одержано розрахунковим способом.

Побудову кривої смертності [36] починають з визначення пробіт-методом  $LC_{50}$  для кожного моменту спостережень (для якого це можливо зробити); при цьому значення показника  $A$  розраховуються за формулою (5.2). Далі за формулами (5.6) – (5.8) оцінюють межі 95% довірчого інтервалу. Як ГДК фази у морському середовищі використовують  $0,01LC_{50}$ . Одержані  $0,01LC_{50}$  наносять на графік і по точках проводять лінію.

Після цього розраховують об'єм ( $W_4$ ) зони початкового змішування, тобто тієї зони, де досліджувана фаза матеріалу, що скидається, рівномірно розподіляється після 4-х годинного періоду. Визначають об'єм ( $W_\phi$ ) досліджуваної фази у загальному об'ємі скиду. Відповідно до цих даних оцінюють, якою буде в зоні початкового змішування концентрація ( $C_4$ ) фази через 4 години після скиду:

$$C_4 = C_0 W_\phi / W_4, \quad (4.14)$$

де  $C_0$  – концентрація фази після скиду (100%).

Значення  $C_4$  наносять на графік і проводять лінію розводження, яку зіставляють з кривою смертності. У відповідності з нормами якості води, коли минуло 4 години, ні в зоні початкового змішування, ні тим більш за її межами концентрація досліджуваної фази не повинна перевищувати 0,01 її середньої летальної концентрації, одержаної за даними тестування.

Припускається перевищення  $0,01LC_{50}$  фази лише в зоні початкового змішування [36] протягом перших 4-х годин після скиду. Якщо ця умова не виконується, скид ґрунтів забороняється.

#### ***Питання для самоконтролю:***

1. Як виконується гідробіологічна оцінка якості поверхневих вод і донних відкладів?
2. На які групи поділяються організми-індикатори?
3. У чому полягає оцінка якості вод по макрзообентосу?
4. Поясніть сутність оцінки якості вод по перифітону, фіто- та зоопланктону?
5. Які існують індекси видового різноманіття?
6. Поясніть суть терміну «токсобність вод».
7. У чому полягає сутність методу біотестування?
8. Які види біотестування існують?
9. У чому полягає особливість біотестування морських вод при дампінгу ґрунтів?

## 6 ПОКАЗНИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ І МІНЛИВОСТІ ЯКОСТІ ВОДИ

### 6.1 Показники середнього навантаження водних об'єктів забруднювальними речовинами

Показник загального навантаження характеризує середню насиченість потоку забруднювальними речовинами [13] нижче місця скиду стічних вод

$$C_{\Pi} = (Q_{CT}C_{CT} + Q_E C_E) / (Q_E + Q_{CT}). \quad (6.1)$$

Якщо використовуються приведені концентрації (перевищення над фоном), то

$$C_{\Pi.ПР.} = Q_{CT}C_{CT.ПР.} / (Q_E + Q_{CT}). \quad (6.2)$$

Мінливість  $C_{\Pi}$  у часі можна представити як функцію забезпеченості ( $P$ ) добових витрат річки багаторічного ряду спостережень. При  $Q_{CT} = \text{const}$  і  $C_{CT} = \text{const}$  ця функція має вигляд

$$P(C_{\Pi}) = 1 - P(Q_E), \quad (6.3)$$

де  $C_{\Pi} = f(Q_E)$ .

Для різних  $Q_E$  визначаються  $C_{\Pi i}$  і по кривій забезпеченості добових витрат визначаються значення  $P_i(Q_E > Q_{Ei})$ . Ці значення відповідають імовірності  $P_{*i}$  того, що деяке значення  $C_{\Pi}$  буде меншим ніж  $C_{\Pi i}$ :

$$P_i(Q_E > Q_{Ei}) = P_{*i}(C_{\Pi} < C_{\Pi i}). \quad (6.4)$$

Оскільки залежність  $C_{\Pi}$  від  $Q_E$  зворотна, то для того, щоб перейти до забезпеченості  $C_{\Pi}$ , тобто до імовірності перевищення, необхідно від одиниці відняти  $P_{*i}$ :

$$P_i(C_{\Pi} \geq C_{\Pi i}) = 1 - P_{*i}(C_{\Pi} < C_{\Pi i}) = 1 - P_i(Q_E > Q_{Ei}). \quad (6.5)$$

Показники відносної тривалості забрудненого і чистого стоків [13] ( $\tau_3$  і  $\tau_4$ ) впродовж року дорівнюють:

$$\tau_3 = T_3 / 365 \quad \text{та} \quad \tau_4 = 1 - \tau_3. \quad (6.6)$$

Попередньо домовимось, що чистим стоком будемо називати стік води, у якому

$$C / \Gamma ДК \leq 1 \quad \text{або} \quad \psi = \sum_{i=1}^m (C_i / \Gamma ДК_i) \leq 1. \quad (6.7)$$

Час  $T_3$  визначається за хронологічним графіком  $C_{П}(t)$  або  $\psi(t)$ , на якому викреслюються прямі горизонтальні лінії нормативних значень  $\Gamma ДК$  або 1 (якщо використовуються  $\psi$ ). На цих лініях фіксуються моменти часу переходу від чистого стоку до забрудненого і навпаки. Інтервали часу між цими переходами будуть по черзі відноситись до періоду забрудненого  $\Delta T_{3i}$  і чистого  $\Delta T_{чi}$  стоків, тоді:

$$T_3 = \sum_{i=1}^n \Delta T_{3i} \quad \text{і} \quad T_{ч} = 365 - T_3. \quad (6.8)$$

$$\text{Звідси} \quad \tau_3 = (\sum_{i=1}^n \Delta T_{3i}) / 365 \quad \text{і} \quad \tau_{ч} = (365 - T_3) / 365.$$

Показники відносного об'єму забрудненого і чистого стоків [13] визначаємо з формул

$$a_3 = V_3 / V_{PIK} \quad \text{і} \quad a_{ч} = 1 - a_3, \quad (6.9)$$

де  $V_3$  – стік забрудненої води за рік, якій дорівнює:

$$V_3 = \sum_{i=1}^n \Delta V_{3i}, \quad (6.10)$$

де  $\Delta V_{3i}$  – площі стоків гідрографа  $Q(t)$  за періоди часу  $\Delta T_3$ .

## 6.2 Показники відносних розмірів зон забруднення

Показники просторового забруднення водних об'єктів [13] характеризують відносні розміри зон забруднення. Вони можуть бути лінійними ( $\lambda_3$ ), двомірними ( $\eta_3$ ) і об'ємними ( $\mu_3$ ). Величини цих показників



залежать від режимних характеристик водних об'єктів і режиму скидання стічних вод. Їхня мінливість залежить від згаданих факторів. Величини цих показників можна визначити для деяких середніх чи найбільш несприятливих умов.

*Відносна довжина* зони забруднення визначається за формулами:

$$\lambda_{зв} = L_3/B \quad \text{або} \quad \lambda_{зх} = L_3/X_L, \quad (6.11)$$

де  $L_3$  – довжина зони забруднення;

$B$  – ширина розглянутої ділянки річки;

$X_L$  – лімітуюча відстань до контрольного створу.

*Відносна площа* забруднення визначається за формулою:

$$\eta_3 = \Omega_3/\Omega, \quad (6.12)$$

де  $\Omega_3$  – площа зони забруднення;

$\Omega$  – площа дзеркала водного об'єкта до контрольного створу (загальна площа водойми).

*Відносний об'єм* забруднення визначається за формулою:

$$\mu_3 = W_3/W, \quad (6.13)$$

де  $W_3$  – об'єм зони забруднення;

$W$  – об'єм води до контрольного створу (повний об'єм водойми при визначеному рівні).

*Показник відносної ефективності гідрохімічного самоочищення* характеризує внесок фізико-хімічного і мікробіологічного процесів у загальний процес самоочищення. Визначається за формулою:

$$E = \delta C/\Delta C, \quad (6.14)$$

де  $\delta C$  – зниження концентрації забруднювальних речовин за рахунок фізико-хімічних і мікробіологічних перетворень у зоні забруднення;

$\Delta C$  – загальне зниження концентрації речовини в зоні забруднення.

Величина  $\Delta C$  в зоні забруднення дорівнює:

$$\Delta C = C_{СТ} - ГДК. \quad (6.15)$$

Середню концентрацію речовини ( $C_{СЕР}$ ) в зоні забруднення можна оцінити як напівсуму  $C_{СТ}$  і ГДК:

$$C_{СЕР} = 0,5(C_{СТ} + ГДК). \quad (6.16)$$

Тоді зниження концентрації речовини в зоні забруднення за рахунок фізико-хімічних і мікробіологічних перетворень можна, використовуючи коефіцієнт неконсервативності  $k_H$ , приблизно оцінити за формулою:

$$\delta C = -0,5(C_{CT} + ГДК)k_H t_{PP}, \quad (6.17)$$

де  $t_{PP} = L_3/V^*_3$  – час проходження водяними масами зони забруднення;

$L_3$  – довжина зони забруднення;

$V^*_3$  – середня швидкість течії в зоні забруднення.

Тоді, підставляючи (6.16) і (6.17) у (6.14), одержимо

$$E = -0,5(C_{CT} + ГДК)k_H L_3 / [(C_{CT} - ГДК)V^*_3]. \quad (6.18)$$

### 6.3 Показники, що враховують зовнішній водообмін водойм

Умовний показник зовнішнього водообміну [13] характеризує період часу, протягом якого відбулася б повна зміна води у водоймі, якби не було перемішування водних мас:

$$T_{UM} = W_{ВОД}/V_B, \quad (6.19)$$

де  $W_{ВОД}$  – об'єм водойми;

$V_B$  – стік води, що витікає з водойми.

Якщо за рахунок скиду стічних вод помітно змінюється водообмін цієї водойми, то визначається змінений час водообміну:

$$T_{UM} = W_{ВОД} / (V_B + V_{CT}). \quad (6.20)$$

За час  $T_{UM}$  з водойми виноситься приблизно 63% водних мас, що знаходилися в ньому в момент початку відліку. Показник  $T_{UM}$  зручний для порівняльної оцінки проточності озер і водоймищ.

Показник відносного часу насичення водойми речовиною до рівня ГДК. Змінення концентрації речовини у водоймі при скиді стічних вод [13] можна представити рівнянням:

$$C_t = C_{ПН} [1 - \exp(-t_{ГДК} / T_{UM})], \quad (6.21)$$

де  $C_{ПН}$  – концентрація повного насичення водойми, концентрація стабілізації забруднення.

Її можна визначити з рівняння балансу речовини для проточної

водойми

$$C_{ПН}Q_B = C_{СТ}Q_{СТ} \Rightarrow C_{ПН} = C_{СТ}Q_{СТ} / Q_B. \quad (6.22)$$

Якщо  $C_{ПН} > ГДК$ , то можна визначити час насичення водойми до рівня ГДК:

$$\begin{aligned} ГДК = C_{ПН} [1 - \exp(-t_{ГДК} / T_{УМ})] \Rightarrow t_{ГДК} = -T_{УМ} \ln(1 - ГДК / C_{ПН}) \Rightarrow \\ \tau_{ГДК} = -\ln[1 - ГДК \cdot Q_B / (C_{СТ}Q_{СТ})]. \end{aligned} \quad (6.23)$$

Показник  $\tau_{ГДК}$  використовується задля порівняльної оцінки допустимого періоду скиду стічних вод у водойми, коли лімітуючою характеристикою є середня концентрація речовини. При цьому необхідно пам'ятати, що у районі скиду стічних вод концентрація речовини більше ГДК, якщо  $C_{СТ} > ГДК$ .

#### 6.4 Просторові і часові узагальнення

При узагальненні матеріалів спостережень за якістю вод [13] для окремих об'єктів існують деякі показники, а саме:  $C_{СЕР}$  лімітуючої речовини чи групи речовин у створі спостережень;  $\tau_3$ ,  $\tau_4$  (за критерієм ГДК);  $a_3$ ,  $a_4$ ;  $\lambda_3$ ,  $\eta_3$ ,  $\mu_3$ ; рівень загального навантаження озера чи водоймища лімітуючою речовиною.

Ці дані можуть бути регіонально узагальнені:

$$\lambda_{РЕГ} = \sum_{i=1}^N L_{ЗАГi} / \sum_{i=1}^M L_{ij}, \quad (6.24)$$

$$\eta_{РЕГ} = \sum_{i=1}^N \omega_{ЗАГi} / \sum_{i=1}^M \omega_{ij}, \quad (6.25)$$

$$a_{РЕГ} = \sum_{i=1}^N W_{ЗАГi} / W_{ЗАГ}, \quad (6.26)$$

де  $M$  – загальна кількість річок у регіоні;

$N$  – загальна кількість зон забруднення (скидів стічних вод).

Розрахунок фонових значень показників якості вод за даними спостережень за розглянутий період часу при відсутності кореляції між членами ряду виконується за формулами:

$$C_{CEP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i, \quad (6.27)$$

$$\sigma(C) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i - C_{CEP})^2 / (n - 1)}, \quad (6.28)$$

$$C_V(C) = \sigma(C) / C_{CEP}, \quad (6.29)$$

$$\sigma(C_{CEP}) = \sigma(C) / \sqrt{n}, \quad (6.30)$$

$$C_{\Phi} = C_{CEP} + t_P \sigma(C_{CEP}), \quad (6.31)$$

якщо закон нормальний

$$C_{\Phi} = C_{CEP} + U \sigma(C_{CEP}), \quad (6.31)$$

де  $U = 1, 2, 3$  в залежності від бажаного рівня надійної імовірності ( $C_{CEP} \pm 2\sigma(C_{CEP})$  – 95% довірчий інтервал).

***Питання для самоконтролю:***

1. Які показники середнього навантаження водних об'єктів ЗР використовують для оцінки якості поверхневих вод?
2. Які розрізняють показники відносних розмірів зон забруднення?
3. Що являє собою показник відносної ефективності процесу гідрохімічного самоочищення?
4. За допомогою якого показника враховується зовнішній водообмін водойми?
5. Як розраховуються узагальнені показники відносних розмірів зон забруднення?

## ГЛОСАРІЙ

**Антагонізм** – тип взаємодії двох або більше факторів, коли ефект сумісної (послідовної чи одночасної) їх дії менший за суму ефектів кожного з них, тобто знижується ефективність (позитивна чи негативна) дії.

**Асиміляційна ємність** – максимальна динамічна місткість такої кількості забруднювальної речовини, яка може бути за одинцю часу накопичена, зруйнована, трансформована та виведена за рахунок процесів седиментації, дифузії або інших за межі екосистеми без порушення нормального функціонування.

**Асимілююча спроможність водного об'єкта** – здатність водного об'єкта приймати певну масу речовин за одиницю часу без порушення якості води в створі чи пункті водокористування (ДСТУ 3041-95).

**Бентос** – сукупність організмів, які адаптовані до життя на дні водойм; відділяють фітобентос, зообентос та бактеріобентос.

**Біоіндикатори** - організми, популяції або біотичні угруповання, наявність, кількість або зміна стану яких свідчать про характерні особливості зовнішнього середовища та його зміни. Наявність певних гідробіонтів свідчить про ступень забруднення води (наприклад, червив роду *Tubifex* та ін.), тоді як наявність у воді інших організмів вказує на її чистоту (наприклад, бокоплавів роду *Gammarus* та ін.).

**Біоіндикація** – метод, за допомогою якого вивчають стан наземних і водних екосистем за наявністю або рівнем життєдіяльності організмів-біоіндикаторів.

**Біотестування** – метод, який дозволяє досліджувати сумісний вплив усіх речовин, що містяться у воді (в т.ч. і поллютантів), на представників живої природи, які в ній мешкають. Як тест-об'єкти використовують домінуючі та ключові види, найбільш вразливі до різних видів забруднення. Ці організми або вирощують в лабораторних умовах, або беруть із досліджуваного водного об'єкта і адаптують до лабораторних умов. Як правило, тестування природних та стічних вод проводять на різних представниках фіто- і зоопланктону.

**Біохімічне споживання кисню (БСК)** - визначається як кількість кисню, що споживається мікроорганізмами при окислюванні органічних речовин, які містяться в одиниці об'єму води, за визначений період часу. На практиці БСК оцінюють за п'ять діб (БСК<sub>5</sub>) та за двадцять діб (БСК<sub>20</sub>); зазвичай БСК<sub>20</sub> трактують як повне БСК.

**Важкі метали** – хімічні елементи, атомна маса яких звичайно перевищує масу заліза (55,847). Частина їх бере активну участь у біохімічних процесах, входячи до складу багатьох ферментів, але кількість їх (*Pb, Cu, Hg, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi* та ін.) забруднюють навколишнє

середовище та спричинюють токсичний вплив на біоту. Важкі метали містяться у водних об'єктах у вигляді вільних (гідратованих) іонів, комплексних сполук різної природи та у складі завислих речовин.

**Водний об'єкт** – зосередження природних вод на поверхні суші чи в літосфері, яке має характерні форми поширення і риси гідрологічного режиму та належить до природних ланок кругообігу води (ДСТУ 3041-95).

**Водні ресурси** - всі природні води Землі, які представлені водами річок, озер, водосховищ, боліт, льодовиків, підземних горизонтів, океанів і морів; згідно «Водному кодексу України» (1995) водні ресурси – це «обсяги поверхневих, підземних і морських вод відповідної території», а згідно ДСТУ 3041-95 – це «придатні для використання людиною в будь-яких формах і потребах запаси поверхневих вод, також вода льодовиків, вода пари атмосфери, ґрунтова волога».

**Водокористування** – використання вод (водних об'єктів) для задоволення потреб населення і галузей економіки (Водний кодекс України, 1995); використання водних об'єктів і систем водопостачання для задоволення потреб населення і народного господарства (ДСТУ 3041-95).

**Водокористування господарсько-питне** – використання водних об'єктів господарсько-питного водопостачання, а також для водопостачання харчової промисловості (ДСТУ 3041-95).

**Водокористування рибогосподарське** – використання водних об'єктів для існування, розмноження та міграції риб і інших водних організмів з метою рибоводства (ДСТУ 3041-95).

**Водокористування загальне** - використання без застосування споруд або технічних пристроїв, що впливають на якість води (ДСТУ 3041-95).

**Водокористування спеціальне** - використання із застосуванням споруд чи технічних пристроїв, що впливають на якість води (ДСТУ 3041-95).

**Водокористувач** – юридична або фізична особа, що здійснює водокористування (ДСТУ 3041-95).

**Водоспоживання** – споживання води з водного об'єкту чи системи водопостачання (ДСТУ 3041-95).

**Гідробіоти** – всі живі організми, які існують й розвиваються у воді та донних відкладах водойм і водотоків.

**Гідробіологічні показники** – кількісні та якісні характеристики різних груп гідробіотів, що використовуються для оцінювання еколого-санітарного стану водних екосистем.

**Гранично допустимі концентрації (ГДК)** – максимальні концентрації, при яких речовини не впливають безпосередньо або опосередковано на стан здоров'я населення (при дії на організм продовж всього життя) і не погіршують гігієнічні умови водокористування.

**Гранично допустимий скид (ГДС)** – кількість забруднювальних речовин у стічних водах, максимально допустима для відведення в установленому режимі у певному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення норм якості води у контрольному пункті. ГДС розраховується за найбільшими середньогодинними витратами стічних вод ( $\text{м}^3$ ) фактичного періоду їх спуску. Концентрація речовин приймається  $\text{мг/л}$  або  $\text{мг/м}^3$ , а величина ГДС розраховується в грамах на годину ( $\text{г/год}$ ). ГДС визначається за формулою:  $\text{ГДС} = q_{\text{ст}} \cdot C_{\text{д}}$ , де  $q_{\text{ст}}$  - витрата стічних вод ( $\text{м}^3/\text{год}$ );  $C_{\text{д}}$  – допустима концентрація речовини в стічних водах ( $\text{г/м}^3$ ).

**Джерело забруднення («забруднювач»)** – господарський або природний об'єкт, а також природне явище, що спричиняють забруднення води (ДСТУ 3041-95).

**Дренажна вода** – вода, яка профільтрувалась у дренаж із тіла гідротехнічної споруди чи її основи, а також із осушувального (зрошувального) земельного масиву (ДСТУ 3041-95).

**Евтрофікація** - підвищення рівня первинної продукції (фітопланктону) водних об'єктів завдяки збільшенню в них концентрації біогенних елементів під впливом антропогенних або природних факторів.

**Забруднення води** – надходження до водного об'єкта фізичних, хімічних чи біологічних речовин чи енергії, що спричинює погіршення якості води (ДСТУ 3041-95).

**Забруднення води вторинне** – хімічне забруднення водного об'єкта, що виникло внаслідок хімічних перетворень раніше внесених речовин, масового розвитку організмів чи розкладу мертвої біологічної маси, а також внаслідок оборотності процесів виведення забруднювальних речовин (ДСТУ 3041-95).

**Забруднювальна речовина (ЗР)** – речовина у воді, яка викликає погіршення якості води (ДСТУ 3041-95).

**Зворотна вода** – вода, що повертається за допомогою технічних споруд і засобів із господарської ланки кругообігу води до його природних ланок у вигляді стічної, скидної і дренажної води (ДСТУ 3041-95).

**Зона впливу джерела забруднення** – частина водойми або водотоку, в якій перевищені фонові показники якості води, але погіршення якості води не спостерігається (ДСТУ 3041-95).

**Зона санітарної охорони** - територія і акваторія, що прилягають до зони водокористування, на яких встановлюється особливий санітарно-епідеміологічний режим (ДСТУ 3041-95).

**Іригаційні води** - природні води, які використовуються для штучного зрошення сільськогосподарських угідь (агроценозів).

**Іригаційний коефіцієнт ( $K_a$ )** – показник якості зрошувальної води, який визначається за вмістом іонів в іригаційних водах.

**Колі-тітр** – найменший об'єм води, який припадає на одну кишкову паличку.

**Колі-індекс** – абсолютна кількість кишкових паличок в 1 дм<sup>3</sup> води.

**Комплексні показники** - характеризують стан водного середовища в цілому з урахуванням усіх його властивостей і всього складу.

**Критерії якості води** – характеристики складу і властивостей води, що визначають придатність її для конкретних видів водокористування.

**Критерії якості води гігієнічні** - органолептичні властивості, хімічний склад, мікробіологічні, паразитологічні, токсикологічні, радіологічні та інші показники води джерел централізованого водопостачання, за кількісними значеннями яких встановлюють відповідність їх води санітарному законодавству.

**Критерії якості води екологічні** - критерії, за якими її класифікують та оцінюють як компонент екосистеми з урахуванням умов її функціонування; кількісні значення елементарних гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, мікробіологічних та токсикологічних показників, зокрема комплексні кількісні показники, які побудовані на інтегруванні елементарних ознак якості води; на основі елементарних і узагальнюючих критеріїв визначають класи, категорії та індекси якості води, сапробність та трофність, які відображають стан водних екосистем.

**Лікувальні мінеральні води** - природні води, які містять у собі у підвищених концентраціях ті чи інші мінеральні (рідше органічні) компоненти і гази і мають які-небудь фізичні властивості (радіоактивність, температура, реакція середовища та ін.), що визначають їхню лікувальну дію на організм людини, яка відрізняється у тій чи іншій мірі від дії прісної води.

**Лімітуюча ознака шкідливості (ЛОШ)** – одна з ознак шкідливості хімічних речовин, що забруднюють воду, яка визначає їхній негативний вплив і характеризується найменшим значенням ефективної-неефективної концентрації (ДСТУ 3041-95). Встановлено такі ЛОШ: санітарно-токсикологічна, загальносанітарна, органолептична, рибогосподарська.

**Лімітуючі показники** – це всі показники, за якими визначається якість води, тобто це всі речовини, для яких визначені гранично допустимі концентрації.

**Мутність води** - вміст твердих зважених речовин в водах водотоків і водойм.

**Норма водоспоживання** - кількість споживної води, встановлена на одного мешканця чи на умовну одиницю продукції для певного виробництва (ДСТУ 3041-95).

**Норми якості води** – встановлені значення показників якості води, дотримання яких забезпечує потреби конкретних видів водокористування (ДСТУ 3041-95).

**Нормативи водокористування** - економічні, екологічні або технічні показники норм якості води, відповідно до яких здійснюється водокористування (ДСТУ 3041-95).



**Орієнтовано безпечний рівень впливу (ОБРВ)** - концентрація речовини у воді водного об'єкта, вище якої вода непридатна для водокористування (ДСТУ 3041-95).

**Оцінка якості природних вод** - визначення їх придатності для практичних цілей; здійснюється на основі державних стандартів і нормативів.

**Пестициди** - загальна назва хімічних речовин, що застосовуються для боротьби з небажаними видами рослин, тварин (насамперед комах) та мікроорганізмів.

**Перифітон** – група гідробіонтів, що живуть на межі фаз вода – твердий субстрат, який може бути дуже різним за походженням (каміння, бетон, деревина, твердий покрив тварин, вищі водорості тощо).

**Планктон** – угруповання організмів, що населяють водну товщу і не можуть протидіяти течії води через відсутність або недорозвиненість органів руху; виділяють фітопланктон, зоопланктон та бактеріопланктон.

**Поверхнево активні речовини (ПАР)** – органічні речовини, що мають різко виражену спроможність до адсорбції на поверхні поділу «повітря – рідина».

**Показник складу і властивостей води** – фізичні, хімічні, бактеріологічні та гідробіологічні характеристики води, згідно з якими роблять висновок щодо якості шляхом порівняння з нормами якості води (ДСТУ 3041-95).

**Показники якості води** - сукупність біологічних, хімічних та фізико-хімічних характеристик води (трофність, сапробність, солоність, жорсткість, водневий показник, концентрації розчинених речовин і т.д.).

**Пункт контролю якості води водойм або водотоків** – місце на водоймі або водотоці для проведення комплексу робіт з метою отримання даних щодо якості води, призначених для наступного узагальнення систематичної інформації (ДСТУ 3041-95).

**Регулювання якості води** – дія щодо чинників, що впливають на стан водного об'єкта, з метою дотримання норм якості води (ДСТУ 3041-95).

**Репрезентативні показники** - набір гідрохімічних показників, характерних для стічних вод конкретного виробництва.

**Самоочищення** - сукупність гідродинамічних, біологічних, хімічних і фізичних процесів, які приводять до зниження концентрації забруднювальних речовин у воді.

**Сапробність** – це ступінь насичення води органічними речовинами, які, як правило, не мають токсичної дії.

**Середовище існування** - сукупність абіогенних і біогенних факторів, що визначають умови існування окремого організму або біоценозу загалом, впливають на їх розвиток.

**Синергізм** – комбінований вплив двох чи більше чинників, за якого їх спільна біологічна дія значно перевищує ефект кожного компонента та їхньої суми.

**Скидна вода** – вода, що відводиться із зрошуваних сільськогосподарських угідь і поливних забудованих територій, а також вода, відведена від ділянок, на яких застосовується гідромеханізація (ДСТУ 3041-95).

**Сорбція** – поглинання домішок завислими речовинами, донними відкладами і поверхнями тіл гідробіонтів

**Стан водного об'єкту** – кількісний і якісний показники відповідності критеріям природного стану водного об'єкта або критеріям водокористування (ДСТУ 3041-95).

**Створ контрольний** – переріз потоку, у якому контролюється якість води (ДСТУ 3041-95).

**Створ фоновий** – найближчий до джерела забруднення переріз потоку, у якому не виявляється вплив цього джерела (ДСТУ 3041-95).

**Стічна вода** – різновид звітної води, що зібралась у процесі господарсько-побутової та виробничої діяльності чи при відведенні наслідку опадів із забудованих територій (ДСТУ 3041-95).

**Токсобність** - кількість токсичних речовин у воді, здатних впливати на водну флору й фауну; за вмістом токсичних речовин води можуть бути оліго-, мезо- та політоксобними.

**Трофічність** – ступінь первинної біологічної продуктивності водних екосистем, який визначається вмістом у воді фосфору, азоту і інших біогенних елементів та комплексом гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних і інших факторів.

**Фонові характеристики якості води** - характеристики, які визначаються загальними умовами формування якості води і є властивими розглянутому водотоку та його водозбірному басейну.

**Фотоліз** – перетворення молекул речовини під дією світла, що поглинається ними.

**Хімічне споживання кисню (ХСК)** - визначається як кількість хімічного окислювача у перерахунку на кисень, необхідний для окислювання органічних і мінеральних речовин, що містяться в одиниці об'єму води.

**Якість води** - характеристика складу і властивостей води, яка визначає придатність її для конкретних видів водокористування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Крайнов С.Р.* Гидрохимия: учебное пособие. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
2. *Мінеральні води України / За ред. Колесника Е.О., Бабова К.Д.* – К.: Купріянова, 2005. – 576 с.
3. *Справочное руководство гидрогеолога / Под ред. Максимова В.А.* - Л.: Недра, изд.2-е. - 1967.
4. *Садыков Ж.С., Давлетгалиева К.М.* Гидрохимические классификации и графики. – Алма-Ата, 1974. – 186 с.
5. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 443 с.
6. *Хільчевський В.К., Ромась М.І., Савицький В.М.* Про деякі сучасні напрямки гідрохімічних та гідроекологічних досліджень / *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 2003. – Вип. 251.
7. *Крайнов С.Р., Швець В.М.* Основы геохимии подземных вод. – М.: Недра, 1980. – 285 с.
8. *Самарина В.С.* Гидрогеохимия. – Л., 1977. – 359 с.
9. *Посохов Е.В.* Общая гидрогеохимия. – Л., 1975. – 207 с.
10. *Питьева К.Е.* Гидрогеохимия. – М., 1978. – 327 с.
11. *Фоменко Н.В.* Рекреаційні ресурси та курортологія. - К.: Центр навчальної літератури, 2007. - 312 с.
12. *Экология города: Учебник / Под общей ред. проф. Стольберга Ф.В.* – К.: Либра, 2000. – 464 с.
13. *Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. проф. А.В. Караушева.* Изд. 2-ое. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 285 с.
14. *Владимиров А.М.* и др. Охрана окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 424 с.
15. *Небел Б.* Наука об окружающей среде / Пер. с англ. В 2-х томах – М.: Мир, 1993.
16. *СанПиН № 4330-88.* Санитарные нормы и правила охраны поверхностных вод от загрязнения. – М., 1988.
17. *Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти зі зворотними водами:* Затв. наказом Мін. охорони навколишнього природного середовища України 15.12.94 р. № 116. – К., 1994. – 79 с.
18. *Матеріали семінару «Основи природоохоронного законодавства України та Європейського співтовариства: водні ресурси».* – К.: Державний інститут підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів Мінекобезпеки України, травень 1997 р.

19. *Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения.* – М., 1988.
20. *Правила охорони внутрішніх морських вод і територіального моря України від забруднення та засмічення.* – К., 1996.
21. *Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения. СанПиН 2.1.5. 2582-10.* - М., 2010.
22. *Иванов В.В., Невраева Г.А. Классификация природных минеральных вод.* – М., 1964. – 166 с.
23. *Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод.* – К.: Ніка-Центр, 2001. – 262 с.
24. *Якість води для зрошення. Екологічні критерії. ВНД 33-5.5-02-97.* - Видання офіційне. Державний комітет України по водному господарству. – Харків, 1998.
25. *Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-400-10).*
26. *Гігієна та екологія / За ред. Бардова В.Г.* - Вінниця: Нова Книга, 2006. - 720 с.
27. *Кирпатовский И.П. Охрана природы. Справочник для работников нефтеперерабатывающей промышленности.* – М.: Химия, 1980. – 376 с.
28. *Тимченко З.В. Методические указания по изучению дисциплины «Основы экологии».* – Симферополь, 1999. – 40 с.
29. *Позаченюк Е.А., Тимченко З.В. Учебное пособие по изучению дисциплины «Водные ресурсы и водное хозяйство Крыма».* – Симферополь, 2003. – 107 с.
30. *Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін.* – К.: Символ – Т, 1998. – 28 с.
31. *Юрасов С.М., Кур'янова С.О., Юрасов М.С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення / Український гідрометеорологічний журнал.* - 2009. – № 5 – С. 42 - 53.
32. *ДСТУ 4808 - Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання.* – К., 2007.
33. *Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных обложений / Под ред. к.б.н. В.А. Абакумова.* – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 240 с.
34. *ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.* – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1977.

35. *Методичні вказівки* по контролю токсичності промислових стічних вод на різних етапах технологічного процесу. РД 211.1.7.049–96. – К.: Мін. охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, 1996. – 23 с.
36. *Руководство* по организации наблюдений, проведению работ и выдаче разрешений на сброс отходов в море с целью захоронения. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 64 с.

## ДОДАТКИ

Додаток А

Вимоги до якості води, яка використовується для купання  
(норми якості вод країн ЄС)

Показник	Значення		Мінімальна частота відбору проб на місяць	Методи аналізу
	оптимальне	обов'язкове		
Загальні коліформи, шт./100 мл	500	10000	2	підрахунок у відповідності з найбільш імовірними числами
Фекальні коліформи, шт./100 мл	100	2000	2	–“–
Фекальні стрептококи, шт./100 мл	100	–	4	–“–
Сальмонела, шт./1дм <sup>3</sup>	–	0	4	концентрація методом фільтрування
Ентеровіруси РFU, шт./10 дм <sup>3</sup>	–	0	4	–“–
<i>pH</i>	–	6 – 9 (0)	4	електрометрія
Колір	–	відсутність незвичної зміни кольору	2	візуально
	–	–	4	фотометрія
Мінеральні масла, мг/дм <sup>3</sup>	–	відсутність плівки на поверхні та запаху	2	візуально
	–	–	4	екстракція за зважуванням сухого залишку
ПАР, мг/дм <sup>3</sup>	–	відсутність довгочасної піни	2	візуально
	0,3	–	4	абсорбційна спектрофотометрія
Феноли, мг/дм <sup>3</sup>	–	відсутність специфічного запаху	2	підтвердження відсутності
	–	0,005	4	абсорбційна спектрофотометрія
Прозорість, м	2	1(0 <sup>0</sup> )	2	диск Секкі
Розчинений кисень, % насиченості O <sub>2</sub>	80–120	–	4	електрохімічний

Продовження додатку А

Показник	Значення		Мінімальна частота відбору проб на місяць	Методи аналізу
	відсутність	–		
Смолисті опади, плаваючі матеріали	відсутність	–	2	візуальний та перевірка
Іон-амонію, мг/дм <sup>3</sup>			6	абсорбційна спектрометрія
Кейлдахазот, мг/дм <sup>3</sup>			6	метод Кейлдахла
Пестициди (паратоїн, HCH, діелдрін), мг/дм <sup>3</sup>			4	хроматографія
Важкі метали (As, Cd, Cr <sup>6+</sup> , Pb, Hg), мг/дм <sup>3</sup>			4	абсорбційна спектрофотометрія
Ціаніди, мг/дм <sup>3</sup>			4	абсорбційна спектрофотометрія
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>			4	абсорбційна спектрофотометрія
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>			4	абсорбційна спектрофотометрія

*Примітки:* позначкою (0) помічені значення, які можуть бути перевищені у випадку відповідних географічних або метеорологічних умов; вода для купання вважається такою, що відповідає нормам, якщо результати проб цієї води відповідають нормативам якості у співвідношенні: 95% проб для обов'язкових нормативів, 90% у решті випадків, за виключенням показників “загальні колі-форми” та “фекальні колі-форми”, для яких припустимим є процентне значення 80%, а також у 5, 10 і 20% проб, які не відповідають встановленим нормативам: відсутні відхилення від нормативів більше ніж на 50%, окрім мікробіологічних показників, рН та розчиненого кисню; відсутні відхилення від нормативів у пробах, послідовно відібраних одна за одною через відповідні проміжки часу.

Нормативи якості вод, які використовуються для пиття  
(норми якості вод країн ЄС)

Показник	Значення для А1		Значення для А2		Значення для А3	
	опти- мальне	обов'яз- кове	опти- мальне	обов'яз- кове	опти- мальне	обов'яз- кове
<i>pH</i>	6,5–8,5		5,5–9,0		5,5–9,0	
Загальні завислі частинки, мг/дм <sup>3</sup>	25					
Температура, °С	22	25 (0)	22	25(0)	22	25(0)
Провідність при 20 <sup>0</sup> С	1000		1000		1000	
Запах, коефіцієнт розводження при 25 <sup>0</sup> С	3		10		20	
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	25	50 (0)		50 (0)		50 (0)
Фтористі сполуки, мг/дм <sup>3</sup>	0,7–1,0	1,5	0,1–1,7		0,7–1,7	
Розчинене залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,3	1	2	1	
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,05		0,1		1	
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,05 (0)	0,05		1	
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	3	1	5	1	5
Загальний хром, мг/дм <sup>3</sup>		0,05		0,05		0,05
Свинець, мг/дм <sup>3</sup>		0,01		0,01		0,01
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	150	250	150	250 (0)	150	250 (0)
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	200		200		200	
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	0,4		0,7		0,7	
Розчинені або емульсовані вуглеводи, мг/дм <sup>3</sup>		0,05		0,2	0,5	1
ХСК, мг/дм <sup>3</sup> O <sub>2</sub>					30	
Розчинений кисень, % O <sub>2</sub>	>70		>50		>30	
БСК, мг/дм <sup>3</sup>	3		5		7	
Аміак, мг/дм <sup>3</sup> NH <sub>4</sub>	0,05		1	1,5	2	4 (0)
Загальні колі-форми /100 мл	50		5000		50000	
Фекальні колі-форми /100 мл	20		2000		20000	
Фекальні стрептококи /100 мл	20		1000		10000	
Сальмонела /5000 мл	відсут- ність		відсут- ність			

*Примітки:* Питна вода: категорії А1 – проста фізична обробка та дезінфекція; категорії А2 – нормальна фізична обробка, хімічна обробка та дезінфекція, категорії А3 – інтенсивна фізична та хімічна обробка, розширена обробка та дезінфекція. Вода вважається такою, що відповідає нормам питного водокористування, якщо 95% проб відповідають нормативам, зазначеним як обов'язкові; якщо 90% проб відповідають вимогам у решті випадків, а також, якщо у 5 і 10% проб, які не відповідають встановленим нормативам, відсутні відхилення від встановлених нормативів більш ніж на 50%, окрім *pH*, розчиненого кисню та мікробіологічних показників, відсутня загроза здоров'ю населення, відсутні відхилення від нормативів у відібраних пробах.





Продовження додатку В

Показник	Лососеві води		Карпові води		Частота відбору на місяць	Метод аналізу
	оптимальне	обов'язкове	оптимальне	обов'язкове		
Загальний амоній, мг/дм <sup>3</sup>	0,04	1,0	0,2	1,0	1	абсорбційна спектрофотометрія
Загальний хлор, мг/дм <sup>3</sup>		0,005		0,005	1	ДРД- метод
Загальний цинк, мг/дм <sup>3</sup>		0,3		1,0	1	абсорбційна спектрометрія
Розчинена мідь, мг/дм <sup>3</sup>	0,04		0,04		1	абсорбційна спектрометрія

*Примітки:* Слід зазначити, що перелік параметрів, вказаних у додатку В, не виключає використання інших параметрів, про які тут не згадується. Мається на увазі, що концентрація інших забруднювальних речовин повинна бути дуже низькою. При одночасній присутності двох або більше забруднювальних речовин ефект їх сумарної дії може бути значним. Водний об'єкт слід вважати таким, що відповідає нормам, якщо результати проб води відповідають обов'язковим і оптимальним нормативам: в 95% проб – значення параметрів: *pH*, БСК<sub>5</sub>, неіонізований аміак, загальний амоній, нітрати, хлор, цинк та мідь; відсоткових значень, перелічених в табл. 3.7 для температури та розчиненого кисню; середньої концентрації для завислих речовин. Від вимог Директиви можна відступитися: у випадку окремих параметрів з позначкою (0), які залежать від виключних погодних та географічних умов; якщо природне насичення води речовиною призводить до відхилення значень відповідних показників від нормативів.

## Додаток Г

Нормативи для цинку при різних значеннях жорсткості води  
(норми якості вод країн ЄС)

Води	Нормативи при різній жорсткості води, мг/дм <sup>3</sup> CaCO <sub>3</sub>			
	10	50	100	500
Лососеві, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,2	0,3	0,5
Карпові, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,7	1,0	2,0

## Додаток Д

Нормативи для міді при різних значеннях жорсткості води  
(норми якості вод країн ЄС)

Води	Нормативи при різній жорсткості води, мг/дм <sup>3</sup> CaCO <sub>3</sub>			
	10	50	100	300
Лососеві та карпові, мг/дм <sup>3</sup>	0,005	0,022	0,04	0,112

## Показники епідемічної безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		
			водопровідної, з пунктів розливу та бюветів	з колодязів та каптажів джерел	фасованої
<b>1. Мікробіологічні показники</b>					
1	Загальне мікробне число при $t$ 37°C - 24 год*	КУО/см <sup>3</sup>	≤ 100 (≤ 50**)	Не визначається	≤ 20
2	Загальне мікробне число при $t$ 22°C - 72 год	КУО/см <sup>3</sup>	Не визначається	Не визначається	≤ 100
3	Загальні коліформи***	КУО/см <sup>3</sup>	Відсутність	≤ 1	Відсутність
4	<i>E.coli</i> ***	КУО/см <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	Відсутність
5	Ентерококи***	КУО/см <sup>3</sup>	Відсутність	Не визначається	Відсутність
6	Синьогнійна паличка ( <i>Pseudomonas aeruginosa</i> )	КУО/см <sup>3</sup>	Не визначається	Не визначається	Відсутність
7	Патогенні ентеробактерії	Наявність в 1 дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	Відсутність
8	Коліфаги****	БУО/дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	Відсутність
9	Ентеровіруси, аденовіруси, антигени ротавірусів, реовірусів, вірусу гепатиту А та інші	Наявність в 10 дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	Відсутність
<b>2. Паразитологічні показники</b>					
10	Патогенні кишкові найпростіші: ооцисти криптоспоридій, ізоспор, цисти лямблій, дизентерійних амеб, балантидія кишкового та інші	Клітини, цисти в 50 дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	Відсутність
11	Кишкові гельмінти	Клітини, яйця, личинки в 50 дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	Відсутність

*Примітка:* \*для 95% проб води, відібраних з водопровідної мережі, що досліджувались протягом року; \*\*через 10 років з часу набрання чинності Санітарними нормами; \*\*\*для 98% проб води, відібраних з водопровідної мережі, що досліджувались протягом року; \*\*\*\*визначають додатково у питній воді з поверхневих вододжерел у місцях її надходження з очисних споруд в розподільну мережу, а також в ґрунтових водах; \*\*\*\*\*визначають під час виробничого контролю перед розливом питної води у тару.

## Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		
			водопровідної, з пунктів розливу та бюветів	з колодязів та каптажів джерел	фасованої
<b>1. Органолептичні показники</b>					
1	Запах: - при $t 20^{\circ}\text{C}$ - при $t 60^{\circ}\text{C}$	бали	$\leq 2$ $\leq 2$	$\leq 3$ $\leq 3$	$\leq 0 (2)^4$ $\leq 1 (2)^4$
2	Забарвленість	градуси	20 (35) <sup>1</sup>	35	10 (20) <sup>4</sup>
3	Каламутність	нефелометрична од. каламутності	$\leq 1,0(3,5)^1$ $\leq 2,6(3,5)^1$ – для для ПВ	$\leq 3,5$	$\leq 0,5 (1,0)^4$
4	Смак та присмак	бали	$\leq 2$	$\leq 3$	$\leq 0 (2)^4$
<b>2. Фізико-хімічні показники (неорганічні і органічні компоненти)</b>					
5	Водневий показник	одиниці рН	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5 ( $\geq 4,5$ ) <sup>5</sup>
6	Діоксид вуглецю	%	не визнач.	Не визнач.	Від 0,2 – 0,3 – до 0,41 – 0,6
7	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,2 (1,0)^1$	$\leq 1,0$	$\leq 0,2$
8	Загальна жорсткість	ммоль/дм <sup>3</sup>	$\leq 7,0$ $\leq (10,0)^1$	$\leq 10,0$	$\leq 7,0$
9	Загальна лужність	ммоль/дм <sup>3</sup>	не визнач.	Не визнач.	$\leq 6,5$
10	Йод	мкг/дм <sup>3</sup>	не визнач.	Не визнач.	$\leq 50$
11	Кальцій	мг/дм <sup>3</sup>	не визнач.	Не визнач.	$\leq 130$
12	Магній	мг/дм <sup>3</sup>	не визнач.	Не визнач.	$\leq 80$
13	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,05 (0,5)^1$	$\leq 0,5$	$\leq 0,05$
14	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 1,0$	не визнач.	$\leq 1,0$
15	Поліфосфати (за $\text{PO}_4^{3-}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 3,5$	не визнач.	$\leq 0,6 (3,5)^4$
16	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 250 (500)^1$	$\leq 500$	$\leq 250$
17	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 1000 (1500)^1$	$\leq 1500$	$\leq 1000$
18	Хлор залишковий вільний	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,05$
19	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 250 (350)^1$	$\leq 350$	$\leq 250$
20	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 1,0$	не визнач.	$\leq 1,0$
21	Хлор залишковий зв'язаний	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 1,2$	$\leq 1,2$	$\leq 0,05$
<b>3. Санітарно-токсикологічні показники (неорганічні і органічні компоненти)</b>					
22	Алюміній**	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,20 (0,50)^2$	не визнач.	$\leq 0,1$
23	Амоній	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,5 (2,6)^1$	$\leq 2,6$	$\leq 0,1 (0,5)^4$
24	Діоксид хлору	мг/дм <sup>3</sup>	$\geq 0,1$	не визнач.	не визнач.
25	Кадмій**	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,001$	не визнач.	$\leq 0,001$
26	Кремній**	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 10$	не визнач.	$\leq 10$
27	Миш'як**	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,01$	не визнач.	$\leq 0,01$
28	Молібден**	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 0,07$	не визнач.	$\leq 0,07$
29	Натрій**	мг/дм <sup>3</sup>	$\leq 200$	не визнач.	$\leq 200$

## Продовження додатку Є

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		
			водопровідної, з пунктів розливу та бюветів	з колодязів та каптажів джерел	фасованої
30	Нітрати (по $NO_3^-$ )	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 50,0	≤ 50,0	≤ 10 (5,0) <sup>4</sup>
31	Нітрити**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5 (0,1) <sup>3</sup>	≤ 3,3	≤ 0,5 (0,1) <sup>7</sup>
32	Озон залишковий	мг/дм <sup>3</sup>	0,1 - 0,3	не визнач.	не визнач.
33	Ртуть*	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,0005	не визнач.	≤ 0,0005
34	Свинець**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,010	не визнач.	≤ 0,010
35	Срібло**	мг/дм <sup>3</sup>	не визнач.	не визнач.	≤ 0,025
36	Фториди**	мг/дм <sup>3</sup>	для кліматичних зон: IV ≤ 0,7; III ≤ 1,2; II ≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5 <sup>6</sup> для кліматичних зон: IV ≤ 0,7; III ≤ 1,2; II ≤ 1,5
37	Хлорити	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,2	не визнач.	не визнач.
38	Поліакриламід ** залишковий	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 2,0	не визнач.	≤ 0,2
39	Формальдегід**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,05	не визнач.	≤ 0,05
40	Хлороформ**	мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 60	не визнач.	≤ 6
41	Перманганатна окиснюваність (інтегральний показник)	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 2,0 (5,0) <sup>4</sup>

*Примітки:* <sup>1</sup>Норматив, зазначений у дужках, установлюється в окремих випадках за погодженням з головним державним санітарним лікарем відповідної адміністративної території. <sup>2</sup>Норматив, зазначений у дужках, установлюється для питної води, обробленої реагентами, що містять алюміній. <sup>3</sup>Норматив, зазначений у дужках, установлюється для обробленої питної води. <sup>4</sup>Норматив, зазначений у дужках, установлюється для питної води фасованої газованої, питної води з пунктів розливу та бюветів. <sup>5</sup>*pH* для газованої питної води. <sup>6</sup>Норматив встановлюється виключно для питної води фасованої. Для питної води з пунктів розливу та бюветів норматив встановлюється за кліматичними зонами. <sup>7</sup>Норматив, зазначений у дужках, установлюється для негазованої питної води.

\* Речовини I класу небезпеки. \*\* Речовини II класу небезпеки.

1. У водопровідній питній воді визначаються: хлороформ - якщо питна вода з поверхневих вододжерел; хлор залишковий вільний та зв'язаний, озон, поліакриламід - у разі застосування в процесі водопідготовки відповідних реагентів; формальдегід - у разі озонування води в процесі водопідготовки; діоксид хлору та хлорити - у разі обробки води діоксидом хлору в процесі водопідготовки.

2. У питній воді фасованій, з пунктів розливу та бюветів визначаються: хлороформ - якщо вода хлорується в процесі водопідготовки або використовується хлорована вихідна вода; формальдегід - у разі озонування води в процесі водопідготовки або якщо використовується озонована вихідна вода; срібло та діоксид вуглецю - у разі застосування в процесі водопідготовки відповідних реагентів чи речовин; поліакриламід - у разі використання в процесі водопідготовки водопровідної питної води з поверхневого джерела питного водопостачання.

## Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		
			водопровідної, з пунктів розливу та бюветів	з колодязів та каптажів джерел	фасованої
<b>1. Фізико-хімічні показники (органічні компоненти)</b>					
1	Нафтопродукти	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	не визнач.	≤ 0,01
2	ПАВ аніонні	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	не визнач.	≤ 0,05
<b>2. Санітарно-токсикологічні показники (неорганічні і органічні компоненти)</b>					
3	Кобальт**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	не визнач.	≤ 0,1
4	Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,02	не визнач.	≤ 0,02
5	Селен**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,01	не визнач.	≤ 0,01
6	Хром загальний	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,05	не визнач.	≤ 0,05
7	Бенз(а)пірен	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,005	не визнач.	≤ 0,002
8	Дибромхлорметан**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 10	не визнач.	≤ 1
9	Пестициди <sup>1,2</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,0001	не визнач.	≤ 0,0001
10	Пестициди <sup>1,3</sup> (сума)	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,0005	не визнач.	≤ 0,0005
11	Тригалогенметани <sup>4</sup> (сума)	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 100	не визнач.	≤ 10 <sup>2</sup>

*Примітка.* <sup>1</sup>Пестициди включають органічні інсектициди, органічні гербіциди, органічні фунгіциди, органічні нематоциди, органічні акарициди, органічні альгіциди, органічні родентициди, органічні слімициди, споріднені продукти (серед них регулятори росту) та їх метаболіти, продукти реакції та розпаду. Перелік пестицидів, що визначаються у питній воді, встановлюється в кожному конкретному випадку та повинен включати тільки ті пестициди, що можуть знаходитись в джерелі питного водопостачання.

<sup>2</sup>Норматив для кожного окремого пестициду. У разі наявності в джерелі питного водопостачання алдрину, діелдрину, гептахлориду та гептахлорепоксиду їх вміст у питній воді повинен становити не більше ніж 0,03 мкг/дм<sup>3</sup> для кожної з цих речовин.

<sup>3</sup>Сума пестицидів визначається як сума концентрацій кожного окремого пестициду.

<sup>4</sup>Сума тригалогенметанів визначається як сума концентрацій хлороформу, бромформу, дибромхлорметану та бромдихлорметану.

\*Речовини I класу небезпеки

\*\*Речовини II класу небезпеки.

Тригалогенметани та дибромхлорметан визначаються у водопровідній питній воді з поверхневих вододжерел, а також у питній воді фасованій, з пунктів розливу та бюветів - у разі якщо вода хлорується в процесі водопідготовки або використовується хлорована вихідна вода.

## Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		
			водопровідної, з пунктів розливу та бюветів	з колодязів та каптажів джерел	фасованої
<b>1. Фізико-хімічні показники (органічні компоненти)</b>					
1	Феноли літки	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,001	не визнач.	≤ 0,0005
2	Хлорфеноли	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,0003	не визнач.	≤ 0,003
<b>2. Санітарно-токсикологічні показники (неорганічні і органічні компоненти)</b>					
3	Берилій*	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,0002	не визнач.	≤ 0,0002
4	Бор**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	не визнач.	≤ 0,5
5	Стронцій**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 7,0	не визнач.	≤ 7,0
6	Сурма**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,005	не визнач.	≤ 0,005
7	Ціаніди**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,050	не визнач.	≤ 0,050
8	Бензол**	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,001	не визнач.	≤ 0,001
9	1,2 - дихлоретан**	мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 3	не визнач.	≤ 0,3
10	Тетрахлорвуглець**	мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 2	не визнач.	≤ 0,2
11	Трихлоретилен** та тетрахлоретилен** (сума)	мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 10	не визнач.	≤ 1
12	Загальний органічний вуглець (інтегральний показник)	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 8,0	не визнач.	≤ 3,0

*Примітки:* \*Речовини I класу небезпеки. \*\*Речовини II класу небезпеки. \*\*\*Не визначається на підприємствах питного водопостачання з об'ємом виробництва питної води менше 10000 м<sup>3</sup> на добу.

1. 1,2 - дихлоретан, тетрахлорвуглець, трихлоретилен та тетрахлоретилен (сума) визначаються у водопровідній питній воді з поверхневих вододжерел, а також у питній воді фасованій, з пунктів розливу та бюветів - у разі якщо вода хлорується в процесі водопідготовки або використовується хлорована вихідна вода.

2. Загальний органічний вуглець може визначатись замість перманганатної окислюваності.



## Додаток И

Класифікація якості поверхневих вод – джерел централізованого  
питного водопостачання за гігієнічними і екологічними критеріями [32]\*

№ з/п	Показники якості води у поверхневих водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
			1	2	3	4
<b>I. Органолептичні показники<sup>1)</sup></b>						
1	Запах	Бали	< 1	1 – 2	3 – 4	> 4
		Показник розведення (ПР) за температури 25 °С	< 2	2 – 16	17 – 23	> 23
2	Присмак	Бали	< 1	1 – 2	3 – 4	> 4
3	Забарвленість (кольоровість)	градуси Pt-Co шкали	< 20	20 – 80	81 – 120	> 120
4	Каламутність	мг/дм <sup>3</sup>	< 20	20 – 1500	1501–5000	> 5000
<b>II. Загально-санітарні хімічні показники</b>						
5	Сухий залишок (мінералізація)	мг/дм <sup>3</sup>	< 400	400 – 650	651 – 1000	> 1000
6	Сульфати <sup>1)</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	< 40	40 – 120	121 – 250	> 250
7	Хлориди <sup>1)</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	< 30	30 – 100	101 – 250	> 250
8	Магній	мг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 30	31 – 80	> 80
9	Жорсткість загальна <sup>1)</sup>	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 3	3,0 – 5,0	5,1 – 7,0	> 7,0
10	Лужність <sup>1)</sup>	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 1,5	1,5 – 4,0	4,1 – 6,5	> 6,5
11	Водневий показник <sup>1)</sup>	одиниці pH	<u>6,9 – 7,0</u> 7,1 – 7,5	<u>6,8 – 6,5</u> 7,6 – 8,1	<u>6,4 – 6,1</u> 8,2 – 8,5	<u>&lt; 6,1</u> > 8,5
12	Азот амонійний <sup>1)</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,10	0,10 – 0,30	0,31 – 1,00	> 1,00
13	Азот нітритний <sup>1)</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,002	0,002– 0,010	0,011 – 0,050	> 0,050
14	Азот нітратний <sup>1)</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,20	0,20 – 0,50	0,51 – 1,00	> 1,00
15	Фосфор фосфатів <sup>1)</sup>	мгP/дм <sup>3</sup>	< 0,015	0,015 – 0,050	0,051 – 0,200	> 0,200
16	Розчинений кисень	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	> 8,0	8,0 – 7,1	7,0 – 5,0	< 5,0
17	Насичення води киснем	%	<u>96 – 100</u> 101 – 105	<u>95 – 81</u> 106 – 120	<u>80 – 60</u> 121 – 140	<u>&lt; 60</u> > 140
18	Окислюваність перманганатна (KMnO <sub>4</sub> )	мгO/дм <sup>3</sup>	< 3,0	3,0 – 10,0	10,1 – 15,0	> 15,0
19	Окислюваність біхроматна (ХСК) K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	мгO/дм <sup>3</sup>	< 9,0	9,0 – 30,0	31,0 – 40,0	> 40,0
20	БСК <sub>п</sub> (БСК <sub>20</sub> )	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	< 1,3	1,3 – 3,0	3,1 – 7,0	> 7,0
21	Загальний органічний вуглець	мгC/дм <sup>3</sup>	< 5,0	5,0 – 15,0	15,1 – 25,0	> 25,0
<b>III. Гідробіологічні показники</b>						
22	Фітопланктон <sup>2)</sup> домінування синьо-зелених водоростей переважно у водоймах: - чисельність	тис. кл./дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 40	50 – 100	> 100

Продовження додатку И

№ з/п	Показники якості води у поверхневих водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
			1	2	3	4
23	- біомаса	мг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 4	5 – 10	> 10
24	домінування діатомових водоростей переважно у водотоках: - чисельність	тис. кл./дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 4	5 – 10	> 10
25	- біомаса	мг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 4	5 – 10	> 10
26	Загальний рівень хронічної токсичності води	одиниці хронічної токсичності	< 1	1 – 2	3 – 4	> 4
27	Мікроскопічні (недосконалі) гриби	кл./дм <sup>3</sup>	відсутн.	відсутн.	відсутн.	відсутн.
<b>IV. Мікробіологічні показники<sup>3)</sup></b>						
28	Загальне мікробне число (ЗМЧ)	КУО/см <sup>3</sup>	десятки	сотні	тисячі	десятки тисяч
29	Загальні коліформи (лактозопозитивні кишкові бактерії), індекс БГКП, не більше ніж	КУО/дм <sup>3</sup>	100	1000	10000	50000
30	Термостабільні кишкові бактерії (ТКБ), індекс	КУО/100 дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	50	500	>1000
31	Наявність патогенних ентеробактерій (сальмонели, шигели)	наявність/дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	наявність/відсутн. <sup>3)</sup>
32	Коліфаги, індекс	БУО/дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	10	100	1000
33	Ентеровіруси, аденовіруси та антигени ротавірусів, реовірусів, аденовірусів і вірусу гепатиту А	наявність/дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	наявність/відсутн. <sup>3)</sup>
<b>V. Паразитологічні показники</b>						
34	Число патогенних кишкових найпростіших у 50 дм <sup>3</sup> досліджуваної проби води	клітини, цисти/50 дм <sup>3</sup>	відсутн.	відсутн.	відсутн.	відсутн.
35	Число кишкових гельмінтів у 50 дм <sup>3</sup> досліджуваної води	клітини, яйця, личинки/50 дм <sup>3</sup>	відсутн.	відсутн.	відсутн.	відсутн.
<b>VI. Показники радіаційної безпеки</b>						
36	Сумарна активність $\alpha$ -випромінювачів ( $\Sigma\alpha$ -активність)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
37	Сумарна активність $\beta$ -випромінювачів ( $\Sigma\beta$ -активність)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 1	< 1	< 1	< 1
38	Стронцій-90 ( <sup>90</sup> Sr)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 2	< 2	< 2	< 10
39	Цезій-137 ( <sup>137</sup> Cs)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 2	< 2	< 2	< 100

Продовження додатку И

№ з/п	Показники якості води у поверхневих водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
			1	2	3	4
40	Уран (U) сумарна активність/ концентрація природної суміші ізотопів <sup>4)</sup>	Бк/дм <sup>3</sup> (мг/дм <sup>3</sup> )	< 1 (0,04) <sup>4)</sup>	< 1 (0,04)	< 1 (0,04)	< 1 (0,04)
41	Радій-226 ( <sup>226</sup> Ra)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 1	< 1	< 1	< 1
42	Радій-228 ( <sup>228</sup> Ra)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 1	< 1	< 1	< 1
43	Радон-222 ( <sup>222</sup> Rn)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 100	< 100	< 100	< 100
44	Тритій ( <sup>3</sup> H)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>
<b>VII. Токсикологічні показники хімічного складу води (пріоритетні<sup>5)</sup>)</b>						
<b>Неорганічні</b>						
45	Алюміній (Al) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 50	50 – 200	201 – 500	> 500
46	Барій (Ba)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 100	100 – 1000	1001–2000	> 2000
47	Берилій (Be)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,2	0,2 – 2,0	2,1 – 4,0	> 4,0
48	Бор (B)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 100	100 – 200	201 – 4000	> 4000
49	Броміди	мкг/дм <sup>3</sup>	< 100	100 – 200	201 – 500	> 500
50	Ванадій (V)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 2	2 – 10	11 – 20	> 20
51	Залізо загальне (Fe) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 50	50 – 100	101 – 1000	> 1000
52	Кадмій (Cd)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 0,5	0,6 – 5,0	> 5,0
53	Кобальт (Co)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 20	21 – 50	> 50
54	Літій (Li)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 50	51 – 100	> 100
55	Марганець (Mn) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 100	101 – 1000	> 1000
56	Миш'як (As)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 10	11 – 50	> 50
57	Мідь (Cu) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 25	26 – 50	> 50
58	Молібден (Mo)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 25	26 – 200	> 200
59	Нікель (Ni)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 20	20 – 50	51 – 100	>100
60	Ртуть (Hg)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,20	0,20 – 0,50	0,51 – 2,5	> 2,5
61	Свинець (Pb)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 5	5 – 20	21 – 100	> 100
62	Селен (Se)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1,5	1,5 – 5,0	5,1 – 10,0	>10,0
63	Сурма (Sb)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 0,5	0,6 – 1,0	> 1,0
64	Талій (Tl)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 0,5	0,6 – 2,0	> 2,0
65	Фториди (F)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 700	700 – 1000	1001–1500	>1500
66	Хром (III), Cr (III) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 100	100 – 250	251 – 500	> 500
67	Хром (VI), Cr (VI) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 4	4 – 10	11 – 50	> 50
68	Цинк (Zn)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 100	101 – 1000	>1000
69	Ціаніди (CN)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 10	11 – 50	> 50
<b>Органічні</b>						
70	Бенз(а)пірен	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,01	0,01 – 0,70	0,71 – 5,00	> 5,00
71	Бензол <sup>1)</sup> , ксилол <sup>1)</sup> , толуол <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 5	5 – 30	31 – 70	>70
72	Етилбензол	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5 – 2,0	2,1 – 5,0	>5,0
73	Нафтопродукти (загальні, вуглеводні) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 50	51 – 200	>200
74	Пестициди хлорорганічні (сума)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 5,0	>5,0
75	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 50	51 – 250	> 250
76	Тетрахлорбензол	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5 – 2,0	2,1 – 5,0	> 5,0

Продовження додатку И

№ з/п	Показники якості води у поверхневих водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
			1	2	3	4
77	Тетрахлорвуглець (чотирихлористий вуглець)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5 – 2,0	2,1 – 6,0	> 6,0
78	Тригалометани (ТГМ) – хлороформ, дибромхлорметан, дихлорметан (сума)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 50	50 – 100	101 – 200	> 200
79	Феноли леткі <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 10	11 – 50	> 50
80	Хлорфеноли <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,3	0,3 – 0,5	0,6 – 1,0	> 1,0

Примітки: \* Показники I, II, IV, V, VI, VII груп віднесені до гігієнічних, показники II, III, V, VI, VII груп – до екологічних.

- 1) Крім показників блоку I, органолептичні властивості (за певних умов) мають також окремі речовини з блоків II і VII.
- 2) Стосовно глибин понад 1 м від водної поверхні.
- 3) У разі виявлення фекальних коліформ у двох послідовно відібраних пробах води протягом 12 годин слід розпочати більш ґрунтовне досліджування води на наявність збудників інфекційних захворювань бактеріальної чи вірусної етіології (залежно від епідситуації).
- 4) Оскільки вміст урану визначають фотометричним методом, треба враховувати, що масова концентрація 1 Бк природної суміші урану відповідає 0,04 мг, а тому нормою можна вважати 1 Бк/дм<sup>3</sup> (0,04 мг/дм<sup>3</sup>).
- 5) Пріоритетні токсикологічні показники: найважливіші за шкідливістю і поширенням речовини токсичної дії, які потребують першочергової уваги.

## Додаток І

Класифікація якості підземних вод – джерел централізованого  
питного водопостачання за гігієнічними і екологічними критеріями [32]\*

№ з/п	Показники якості води у підземних водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
			1	2	3	4
<b>I. Органолептичні показники<sup>1)</sup></b>						
1	Запах	Бали	< 1	1 – 2	3 – 4	> 4
		Показник розведення (ПР) за температури 25 °С	< 2	2 – 16	17 – 23	> 23
2	Присмак	Бали	< 1	1	2	3
3	Забарвленість (кольоровість)	градуси Pt-Co шкали	< 15	15 – 20	21 – 35	> 35
4	Каламутність	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5 – 1,5	1,6 – 5,0	> 5,0
<b>II. Загально-санітарні хімічні показники</b>						
5	Сухий залишок (мініралізація)	мг/дм <sup>3</sup>	< 500	500 – 1000	1001 – 1500	> 1500
6	Сульфати <sup>1)</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	< 250	250 – 350	351 – 500	> 500
7	Хлориди <sup>1)</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	< 250	250 – 300	301 – 350	> 350
8	Магній	мг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 20	21 – 30	> 30
9	Жорсткість, загальна <sup>1)</sup>	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 4	4 – 7	8 – 10	> 10
10	Лужність <sup>1)</sup>	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 1,5	1,5 – 4,0	4,1 – 6,5	> 6,5
11	Водневий показник <sup>1)</sup>	одиниці pH	6,5 – 7,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,5	> 8,5
12	Азот амонійний <sup>1)</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	відсут.	0,05–0,50	0,51 – 2,00	> 2,00
13	Азот нітритний <sup>1)</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,05	0,05–0,50	0,51 – 1,00	> 1,00
14	Азот нітратний <sup>1)</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	< 5,0	5,0 – 7,0	7,1 – 10,0	> 10,0
15	Фосфор фосфатів <sup>1)</sup>	мгP/дм <sup>3</sup>	< 0,3	0,3 – 0,5	0,6 – 1,0	> 1,0
16	Окислюваність перманганатна (KMnO <sub>4</sub> ) <sup>6)</sup>	мгO/дм <sup>3</sup>	< 4,0	4,0 – 5,0	5,1 – 6,0	> 6,0
17	Окислюваність біхроматна (ХСК) <sup>6)</sup>	мгO/дм <sup>3</sup>	< 4,0	4,0 – 6,0	6,1 – 10,0	> 10,0
18	Загальний органічний вуглець	мгC/дм <sup>3</sup>	< 2,0	2,0 – 3,0	3,1 – 4,0	> 4,0
<b>III. Гідробіологічні показники<sup>7)</sup></b>						
19	Загальний рівень хронічної токсичності води	одиниці хронічної токсичності	< 1	1 – 2	3 – 4	> 4
20	Мікроскопічні (недосконалі) гриби	кл./дм <sup>3</sup>	відсутн.	відсутн.	відсутн.	відсутн.
<b>IV. Мікробіологічні показники<sup>3)</sup></b>						
21	Загальне мікробне число (ЗМЧ)	КУО/см <sup>3</sup>	одиниці	десятки	сотні	тисячі
22	Загальні коліформи (лактозопозитивні кишкові бактерії), індекс БГКП, не більше ніж	КУО/дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	1 – 10	100
23	Термостабільні кишкові бактерії (ТКБ), індекс	КУО/100 дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>

Продовження додатку І

№ з/п	Показники якості води у підземних водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
			1	2	3	4
24	Наявність патогенних ентеробактерій (сальмонели, шигели)	наявність/ дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>
25	Коліфаги, індекс	БУО/дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>
26	Ентеровіруси, аденовіруси та антигени рота вірусів, реовірусів, аденовірусів і вірусу гепатиту А	наявність/ дм <sup>3</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	відсутн. <sup>3)</sup>	наявність / відсутн. <sup>3)</sup>
<b>V. Паразитологічні показники</b>						
27	Число патогенних кишкових найпростіших у 50 дм <sup>3</sup> досліджуваної проби води	клітини, цисти/50 дм <sup>3</sup>	відсутн.	відсутн.	відсутн.	відсутн.
28	Число кишкових гельмінтів у 50 дм <sup>3</sup> досліджуваної води	клітини, яйця, личинки/ 50 дм <sup>3</sup>	відсутн.	відсутн.	відсутн.	відсутн.
<b>VI. Показники радіаційної безпеки</b>						
29	Сумарна активність $\alpha$ -випромінювачів ( $\Sigma\alpha$ -активність)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
30	Сумарна активність $\beta$ -випромінювачів ( $\Sigma\beta$ -активність)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 1	< 1	< 1	< 1
31	Стронцій-90 ( <sup>90</sup> Sr)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 2	< 2	< 2	< 10
32	Цезій-137 ( <sup>137</sup> Cs)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 2	< 2	< 2	< 100
33	Уран (U) сумарна активність/концентрація природної суміші ізотопів <sup>4)</sup>	Бк/дм <sup>3</sup> (мг/дм <sup>3</sup> )	< 1 (0,04)	< 1 (0,04)	< 1 (0,04)	< 1 (0,04)
34	Радій-226 ( <sup>226</sup> Ra)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 1	< 1	< 1	< 1
35	Радій-228 ( <sup>228</sup> Ra)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 1	< 1	< 1	< 1
36	Радон-222 ( <sup>222</sup> Rn)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 100	< 100	< 100	< 100
37	Тритій ( <sup>3</sup> H)	Бк/дм <sup>3</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>	< 3·10 <sup>4</sup>
<b>VII. Токсикологічні показники хімічного складу води (пріоритетні<sup>5)</sup>)</b>						
<b>Неорганічні</b>						
38	Алюміній (Al) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	< 500	501 – 2000	>2000
39	Барій (Ba)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 100	100 – 200	201 – 1000	>1000
40	Берилій (Be)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,2	0,2 – 1,0	1,1 – 2,0	>2,0
41	Бор (B)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 200	200 – 500	501 – 1000	>1000
42	Броміди	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 25	26 – 100	>100
43	Ванадій (V)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 50	51 – 100	>100
44	Залізо загальне (Fe) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 300	300–1000	1001–2000	>2000
45	Кадмій (Cd)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 2	3 – 4	> 4
46	Кобальт (Co)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 50	51 – 100	>100
47	Літій (Li)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 20	21 – 30	>30
48	Марганець (Mn) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 50	50 – 100	101 – 500	>500
49	Миш'як (As)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 20	21 – 50	>50
50	Мідь (Cu) <sup>1)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 2	3	>3

## Продовження додатку І

№ з/п	Показники якості води у підземних водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
			1	2	3	4
51	Молибден ( <i>Mo</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	< 200	200 – 300	301 – 500	>500
52	Нікель ( <i>Ni</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	< 20	20 – 50	51 – 100	>100
53	Ртуть ( <i>Hg</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5 – 1,0	1,1 – 2,0	>2,0
54	Свинець ( <i>Pb</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 30	31 – 100	>100
55	Сірководень ( <i>H<sub>2</sub>S</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	< 5	5 – 10	> 10
56	Селен ( <i>Se</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 10	11 – 15	>15
57	Сурма ( <i>Sb</i> )	мг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	< 10	10 – 20	>20
58	Стронцій (стабільний)	мкг/дм <sup>3</sup>	2000 – 7000	2000 – 7000	2000 – 7000	2000 – 7000
59	Талій ( <i>Tl</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	<0,5	0,5 – 1,0	>1,0
60	Фториди ( <i>F</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	<700	700–1000	1001 – 1500	>1500
61	Хром (III), <i>Cr</i> (III)	мкг/дм <sup>3</sup>	<100	100 – 200	201 – 500	>500
62	Хром (VI), <i>Cr</i> (VI)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 20	21 – 50	>50
63	Цинк ( <i>Zn</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	< 100	100 – 500	501 – 1000	>1000
64	Ціаніди ( <i>CN</i> )	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	< 10	10-50	> 50
<b>Органічні</b>						
65	Нафтопродукти (загальні, вуглеводні)	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	< 20	20 – 50	> 50
66	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР)	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	< 10	10 – 50	> 50
67	Пестициди хлорорганічні (сума) <sup>8)</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 0,2	0,3 – 0,5	> 0,5
68	Тетрахлорвуглець (чотирихлористий вуглець)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 2,0	> 2,0
69	Тригалометани (ТГМ) – хлороформ, дибромхлорметан, дихлорметан (сума)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 20	21 – 50	> 50
70	Феноли леткі	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	< 1	1 – 2	> 2
71	Хлорфеноли	мкг/дм <sup>3</sup>	відсутн.	відсутн.	відсутн.	відсутн.

*Примітки:* Показники I, II, IV, V, VI, VII груп віднесені до гігієнічних, показники II, III, V, VI, VII груп – до екологічних.

<sup>1)</sup> Крім показників блоку I, органолептичні властивості (за певних умов) мають окремі речовини з блоків II і VII.

<sup>2)</sup> Стосується лише поверхневих вод (див. дод. II).

<sup>3)</sup> У разі виявлення фекальних коліформ у двох послідовно відібраних пробах води протягом 12 годин слід розпочати досліджування води на наявність збудників інфекційних захворювань бактеріальної чи вірусної етіології (залежно від епідемічної ситуації).

<sup>4)</sup> Оскільки вміст *U* визначають фотометричним методом, треба враховувати, що масова концентрація 1 Бк природної суміші *U* відповідає 0,04 мг, а тому нормою можна вважати 1 Бк/дм<sup>3</sup> (0,04 мг/дм<sup>3</sup>).

<sup>5)</sup> Токсикологічні показники пріоритетні – найважливіші за шкідливістю і поширенням речовини токсичної дії, які потребують першочергової уваги.

<sup>6)</sup> Показник застосовують за наявності гідравлічного зв'язку підземних джерел водопостачання з поверхневими водними об'єктами

<sup>7)</sup> Дозволена присутність синьо-зелених, зелених, евгленових, діатомових водоростей, найпростіших безрешетних тварин, організмів нез'ясованого походження (за узгодженням з органами держсанепіднагляду МОЗ) у ґрунтовому (першому від поверхні) і в глибших шарах водоносних горизонтів, не захищених від зв'язку з поверхневими водами (у межах нормативних значень для останніх).

<sup>8)</sup> У разі перевищення значень даного показника слід визначити вміст органічних речовин з урахуванням їх використання в аграрному та інших виробництвах.

Класифікація якості поверхневих вод – джерел централізованого питного водопостачання за факультативними токсикологічними показниками [32]\*

Показники якості води у поверхневих водних об'єктах	Одиниці виміру	Класи якості води			
		1	2	3	4
<b>Токсичні показники (факультативні)*</b>					
<b>Органічні</b>					
<b>Хлоровані алкани</b>					
1,2-дихлоретан	мкг/дм <sup>3</sup>	< 3	3 – 25	26 – 100	> 100
1,1-дихлоретан	мкг/дм <sup>3</sup>	< 200	200 – 300	301 – 1000	>1000
1,1,2-трихлоретан	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 3	4 – 5	> 5
<b>Хлоровані етилені</b>					
Вінілхлорид	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5 – 15	16 – 50	>50
1,1-дихлоретилен	мкг/дм <sup>3</sup>	< 7	7 – 30	31 – 100	>100
1,2-дихлоретилен	мкг/дм <sup>3</sup>	< 50	50 – 110	111 – 170	>170
Трихлоретилен	мкг/дм <sup>3</sup>	< 5	5 – 30	31 – 70	>70
Тетрахлоретилен	мкг/дм <sup>3</sup>	< 5	5 – 50	51 – 160	>160
<b>Елементоорганічні сполуки</b>					
Біс(трибутилолово) оксид	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,01	0,01 – 0,10	0,11 – 0,20	>0,20
Діалкілолово	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 2,0	>2,0
Оксид трибутилолова	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,2	0,2 – 2,0	2,1 – 4,0	>4,0
Тетраетилолово	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,01	0,01 – 0,10	0,11 – 0,20	>0,20
Трибутилметакрилатолово	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,01	0,01 – 0,10	0,11 – 0,20	>0,20
<b>Інші сполуки</b>					
Акриламід	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5 – 3,0	3,1 – 10,0	>10,0
Акролеїн	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 10	11 – 20	>20
Гексахлорбутадиєн	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,6	0,6 – 3,0	3,1 – 10,0	>10,0
Гексахлорциклопентадієн	мкг/дм <sup>3</sup>	< 1	1 – 20	21 – 50	>50
Ди(2-етилгексил)-адилат	мкг/дм <sup>3</sup>	< 80	80 – 200	201 – 400	>400
Ди(2-етилгексил)фталат	мкг/дм <sup>3</sup>	< 6,0	6,0 – 7,0	7,1 – 8,0	>8,0
Епіхлоргідрин	мкг/дм <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 3,0	3,1 – 10,0	>10,0
Етилендіамін тетраоцтова кислота (EDTA)	мкг/дм <sup>3</sup>	< 10	10 – 60	61 – 200	>200
Тринітрилооцтова кислота	мкг/дм <sup>3</sup>	< 50	50 – 200	201 – 500	>500

Примітка: \*Факультативні токсикологічні показники: менш шкідливі і поширені, ніж пріоритетні речовини токсичної дії, визначання яких доцільне, але здійснюють рідше і вибірково залежно від наявності методик аналізування вмісту і технічного оснащення лабораторної бази.



## Додаток К

Схема визначання класів і підкласів якості води у поверхневих і підземних водних об'єктах – джерелах централізованого питного водопостачання [32]

Позначення класів якості води	Середні значення блокових індексів якості води	Позначення відповідних підкласів якості води	Характеристика класів і підкласів якості води
1	1,00 – 1,25	1	«Відмінна», дуже чиста вода
	1,26 – 1,50	1(2)	«Відмінна», дуже чиста вода з ухилом до класу «доброї», чистої води бажаної якості
2	1,51 – 1,75	1 – 2	Вода, перехідна за якістю від «відмінної», дуже чистої до «доброї», чистої
	1,76 – 1,99	2(1)	«Добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої
	2,00 – 2,25	2	«Добра», чиста вода прийнятної якості
	2,26 – 2,50	2(3)	«Добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості
3	2,51 – 2,75	2 – 3	Вода, перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої
	2,76 – 2,99	3(2)	«Задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «доброї», чистої
	3,00 – 3,25	3	«Задовільна», слабо забруднена вода прийнятної якості
	3,26 – 3,50	3(4)	«Задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості
4	3,51 – 3,75	3 – 4	Вода, перехідна за якістю від «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості до «обмежено придатної» небажаної якості
	3,76 – 3,99	4(3)	«Обмежено придатна» небажаної якості з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої води, прийнятної якості
	4,00	4	«Посередня», «обмежено придатна» небажаної якості

Приклад обчислення величин індексу ( $I_{II}$ ) за загально-санітарними хімічними показниками (неповне оцінювання якості поверхневих вод) [32]

Водний об'єкт – р.Н у межах Н-ської області.

Період спостережень: літо (25.07 – 5.09) 2002 р.

Джерело вихідної інформації – Н-ська санітарно-епідеміологічна станція

Показники складу води	Одиниці виміру	Емпіричні значення показників складу і відповідних їм класів якості води	Обчислення середньо-арифметичних значень і визначення класів і підкласів якості води
Сухий залишок (мінералізація)	мг/дм <sup>3</sup>	365-1; 365-1; 344-1; 330-1; 339-1; 357-1; 356-1; 337-1; 482-2; <b>496-2*</b> ; 464-2; 480-2; 424-2	$\Sigma=18, n=13$ $\bar{x}=1,38 [1(2)]^{**}$
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	39,0-1; 40,6-2; 46,0-2; 37,6-1; 39,6-1; 20,5-1; 19,3-1; 22,9-1; 28,6-1; 46,0-2; <b>46,4-2</b> ; 19,9-1; 17,6-1; 26,4-1; 26,4-1; 27,6-1; 26,4-1; 42,0-2	$\Sigma=23, n=18,$ $\bar{x}=1,28 [1(2)]$
Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	26-1; 27-1; 25-1; 28-1; 28-1; 34-2; 32-2; 32-2; 34-2; 33-2; 34-2; 27,5-1; 30-2; 32-2; 32-2; 32-2; <b>45-2</b>	$\Sigma=30, n=18,$ $\bar{x}=1,67 [1-2]$
Жорсткість загальна	ммоль/дм <sup>3</sup>	5,5-3; 5,6-3; 5,4-3; 5,6-3; 5,6-3; <b>6,8-3</b> ; 6,7-3; 6,7-3; 6,2-3; 5,1-3; 5,0-2; 5,0-2; 4,8-2; 4,8-2; 5,1-3	$\Sigma=41, n=15,$ $\bar{x}=2,73 [(2-3)]$
Водневий показник	Одиниці рН	7,7-2; 8,0-2; 8,1-2; 7,91-2; 8,0-2; 7,2-1; 7,2-1; 7,45-1; 7,2-1; 8,3-3; 8,2-3; <b>8,5-3</b> ; 8,5-3; 7,7-2; 7,68-2; 7,7-2; 7,7-2; 8,0-2	$\Sigma=36, n=18$ $\bar{x}=2,0 [(2)]$
Азот амонійний	мгN/дм <sup>3</sup>	0,07-1; 0,1-2; 0,03-1; 0,05-1; 0,04-1; 0,06-1; 0,25-2; 0,33-3; 0,27-2; 0,35-3; 0,23-2; 0,3-2; 0,23-2; 0,3-2; 0,26-2; 0,34-3; 0,24-2; 0,32-3; 0,07-1; 0,09-1; 0,07-1; 0,09-1; 0,38-3; 0,5-3; 0,4-3; <b>0,52-3</b> ; 0,14-2; 0,18-2; 0,14-2; 0,19-2; 0,14-2; 0,18-2; 0,14-2; 0,18-2; 0,04-1; 0,05-1	$\Sigma=69, n=36,$ $\bar{x}=1,92 [2(1)]$
Азот нітритний	мгN/дм <sup>3</sup>	0,03-3; 0,1-4; 0,03-3; 0,1-4; 0,03-3; 0,1-4; 0,024-3; 0,08-4; 0,024-3; 0,081-4; 0,033-3; 0,11-4; 0,029-3; 0,097-4; 0,035-3; 0,117-4; 0,034-3; 0,114-4; 0,06-4; <b>0,2-4</b> ; 0,06-4; 0,2-4; 0,003-2; 0,004-2; 0,01-2; 0,015-3; 0,012-3; 0,042-3; 0,012-3; 0,04-3; 0,014-3; 0,045-3; 0,013-3; 0,042-3; 0,0015-1; 0,005-2	$\Sigma=115, n=36,$ $\bar{x}=3,19 [(3)]$
Азот нітратний	мгN/дм <sup>3</sup>	0,43-2; 1,9-4; 0,4-2; 1,77-4; 0,4-2; 1,8-4; 0,29-2; 1,28-4; 0,28-2; 1,24-4; 0,7-3; 3,1-4; 0,65-3; 2,88-4; 0,5-2; 2,21-4; 1,1-4; 4,9-4; 0,6-3; 2,6-4; 0,6-3; 2,6-4; 0,41-2; 1,8-4; 0,32-2; 1,4-4; 1,43-4; 6,33-4; 1,56-4; 6,91-4; 1,62-4; 7,0-4; 1,65-4; <b>7,3-4</b> ; 1,11-4; 4,92-4	$\Sigma=124, n=36,$ $\bar{x}=3,44 [3(4)]$

Продовження додатку Л

Показники складу води	Одиниці виміру	Емпіричні значення показників складу і відповідних їм класів якості води	Обчислення середньо-арифметичних значень і визначення класів і підкласів якості води
Розчинений кисень	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,44-3; 5,36-3; 5,76-3; 5,0-3; 4,8-4; 8,6-1; 7,2-2; 14,2-1; 6,24-3; 3,72-4; <b>3,68-4</b> ; 9,3-1; 9,0-1; 10,2-1; 9,9-1; 10,03-1; 9,88-1; 8,4-1	$\Sigma=38, n=18,$ $\bar{x}=2,1 [(2)]$
Окислюваність перманганатна	мгО/дм <sup>3</sup>	9,59-2; 8,85-2; 9,16-2; 9,0-2; 9,3-2; 7,12-2; 7,44-2; 7,28-2; 7,84-2; 8,3-2; 8,9-2; <b>9,7-2</b> ; 8,9-2; 5,14-2; 5,12-2; 5,38-2; 5,48-2; 7,04-2	$\Sigma=36, n=18,$ $\bar{x}=2,0 [(2)]$
БСК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,6-3; 5,2-3; 3,92-3; <b>8,7-4</b> ; 8,6-4; 3,68-3; 3,2-3; 3,36-3; 3,84-3; 1,52-2; 1,76-2; 2,8-2; 2,62-2; 3,28-3; 3,4-3; 3,36-3; 3,28-3; 3,54-3	$\Sigma=52, n=18,$ $\bar{x}=2,88 [3(2)]$
Підсумкові розрахунки: $\Sigma x_{\text{сер.}} = 511; n = 244; \bar{x} = 2,09 [(2)].$ $\Sigma x_{\text{нг.}} = 33; n = 11; \bar{x} = 3,0 [(3)].$			
<b>496*</b> - напівгрубим шрифтом відмічені найгірші значення показників [1(2)]** - клас і підклас якості води			

Висновок:  $I_{\text{сер.}} = 3,3$  і, згідно наведеної схеми, належить до 3 класу підкласу 3(4), тобто до «задовільної», «слабко забрудненої» води прийнятної якості з тенденцією наближення до класу обмежено придатної;  $I_{\text{нг.}} = 4,4$  і належить до 4 класу якості води, тобто не бажаної обмежено придатної.

В разі відсутності величин одного або двох групових індексів,  $I_{\text{інтег.}}$  обчислюють як частку від ділення суми величин наявних групових індексів. Значення  $I_{\text{інтег.}}$  обчислюють на підставі величин групових індексів, обчислених за середніми і найгіршими значеннями окремих показників якості води.

Індекси якості води мають чисельні значення класів і підкласів, а також мовні пояснення.

## Приклади оцінки якості поверхневих вод за різними методиками

Оцінка якості води за індексом забруднення води  
(р. Південний Буг, м. Первомайськ)

№	Показник	$ГДК_i$	$C_i$	$C_i / ГДК_i$
1	Розчинений кисень	6,0	10,9	0,55
2	БСК	3,0	3,7	1,23
3	Амоній іон	0,5	0,50	1,00
4	Нітрити	0,08	0,077	0,96
5	Нафтопродукти	0,05	0,032	0,64
6	Феноли	0,001	0,00	0,00
$\Sigma$				4,38
ІЗВ (клас 2, чиста)				0,73

Оцінка якості води за модифікованим індексом забруднення води  
(р. Південний Буг, м. Первомайськ)

№	Показник	$ГДК_i$	$C_i$	$C_i / ГДК_i$
1	Розчинений кисень	6,0	10,9	0,55
2	БСК	3,0	3,7	1,23
3	Хром (6+)	0,001	0,0109	10,9
4	Марганець	0,01	0,106	10,6
5	Цинк	0,01	0,0376	3,76
6	Залізо	0,10	0,178	1,78
$\Sigma$				28,82
ІЗВ (клас 5, брудна)				4,8

Продовження додатку М  
Оцінка якості води за комбінаторним індексом забруднення  
(р. Південний Буг, м. Первомайськ)

Показник	$C_i$	$P_i$	Бал	$K_i$	Бал	Заг. бал	Характеристика якості	ЛПЗ
БСК, мг/дм <sup>3</sup>	3,7	0,833	4	1,25	1	4	брудна	0
<i>pH</i>	8,4	0,111	2	0,99	1	2	забруднена	0
Розч. кисень, мг/дм <sup>3</sup>	10,9	0,00	1	0,55	1	1	слабо забруднена	0
Амоній, мг/дм <sup>3</sup>	0,50	0,139	2	1,00	1	2	забруднена	0
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,077	0,083	1	0,96	1	1	слабо забруднена	0
Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,18	0,917	4	1,78	1	4	брудна	0
Магній, мг/дм <sup>3</sup>	29,8	0,00	1	0,74	1	1	слабо забруднена	0
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,106	0,750	4	10,62	3	12	<b>неприп. брудна</b>	1
Свинець, мг/дм <sup>3</sup>	0,018	0,650	4	0,17	1	4	брудна	0
Хром (6+), мг/дм <sup>3</sup>	0,0109	0,833	4	10,94	3	12	<b>неприп. брудна</b>	1
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,038	0,750	4	3,76	2	8	дуже брудна	0
СПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	0,052	0,00	1	0,10	1	1	слабо забруднена	0
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	5,9	0,00	1	0,15	1	1	слабо забруднена	0
Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	21,7	0,00	1	0,17	1	1	слабо забруднена	0
Калій, мг/дм <sup>3</sup>	21,6	0,00	1	0,41	1	1	слабо забруднена	0
Кальцій, мг/дм <sup>3</sup>	77,5	0,00	1	0,43	1	1	слабо забруднена	0
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	52	0,00	1	0,17	1	1	слабо забруднена	0
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	67	0,00	1	0,67	1	1	слабо забруднена	0
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,032	0,00	1	0,64	1	1	слабо забруднена	0
<b>Σ</b>						<b>KІЗ=59</b>		<b>2</b>
<i>n = 19, 2 ЛПЗ (клас IIIб, брудна).</i>								

Продовження додатку М

Оцінка якості води за критерієм забрудненості  $\chi$   
(р. Південний Буг, м. Первомайськ)

№ п/п	Показник	$C_i / ГДК_i$	З пріоритетами			Без пріоритетів		
			Ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i)C_i / ГДК_i$	Ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i)C_i / ГДК_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	БСК	1,25	<b>1</b>	1,000000	1,24549	5	0,312500	0,38922
2	pH	0,99	9	0,035156	0,03471	7	0,109375	0,10799
3	Розч. O <sub>2</sub>	0,55	<b>4</b>	0,500000	0,27419	12	0,005859	0,00321
4	Амоній	1,00	<b>2</b>	1,000000	1,00328	6	0,187500	0,18812
5	Нітриди	0,96	10	0,019531	0,01883	8	0,062500	0,06027
6	Залізо	1,78	8	0,062500	0,11130	4	0,500000	0,89042
7	Магній	0,74	11	0,010742	0,00799	9	0,035156	0,02617
8	Марганець	10,62	5	0,312500	3,31755	2	1,000000	10,61616
9	Свинець	0,17	16	0,000488	0,00009	16	0,000488	0,00009
10	Хром (6+)	10,94	6	0,187500	2,05164	1	1,000000	10,94208
11	Цинк	3,76	7	0,109375	0,41088	3	0,750000	2,81746
12	СПАВ	0,10	19	0,000072	0,00001	19	0,000072	0,00001
13	Нітрати	0,15	18	0,000137	0,00002	18	0,000137	0,00002
14	Натрій	0,18	15	0,000916	0,00016	15	0,000916	0,00016
15	Калій	0,43	13	0,003174	0,00136	13	0,003174	0,00136
16	Кальцій	0,43	14	0,001709	0,00074	14	0,001709	0,00074
17	Хлориди	0,17	17	0,000259	0,00005	17	0,000259	0,00005
18	Сульфати	0,67	12	0,005859	0,00393	10	0,019531	0,01309
19	НП	0,64	<b>3</b>	0,750000	0,47867	11	0,010742	0,00686
<b>Σ</b>				<b>3,9999</b>	<b>8,9609</b>		<b>3,9999</b>	<b>26,0635</b>

При розрахунку  $\chi$  з пріоритетами  $\chi = 8,9609 / 3,9999 = 2,24$  (допустимо забруднена).

При ранжуванні усіх показників за співвідношенням  $C_i / ГДК_i$  без встановлення пріоритетів  $\chi = 26,0635 / 3,9999 = 6,52$  (катастрофічно забруднена).

Продовження додатку М

Оцінка якості води за комплексним показником *КПЕС*  
(р. Південний Буг, м. Первомайськ)

ЛОШ	Показник	$C_{Ei}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$ГДК_i$ , мг/дм <sup>3</sup>	$ГДК_i - C_{Ei}$	<i>ПЕС</i>	<i>КПЕС</i>
–	Завислі речовини	19,1	фон+0,25	0,25	0,013	
–	БСК	3,7	3,0	-0,7	-0,233	
–	<i>pH</i>	8,4	6,5 – 8,5	0,10	0,011	
–	Розч. Кисень	10,9	6,0	4,9	0,817	
$\Sigma$					<b>0,608</b>	<b>0,15</b>
Токси- коло- гічна	Амоній	0,50	0,50	–	1,00	
	Нітрити	0,077	0,08	–	0,96	
	Залізо	0,18	0,10	–	1,80	
	Марганець	0,106	0,01	–	10,60	
	Свинець	0,018	0,10	–	0,18	
	СПАВ	0,052	0,50	–	0,10	
	Цинк	0,038	0,010	–	3,80	
$\Sigma$					<b>18,44</b>	<b>-17,44</b>
Сани- тарно- токси- коло- гічна	Хром (6+)	0,0109	0,001	–	10,90	
	Нітрати	5,9	40,0	–	0,15	
	Натрій	21,7	120	–	0,18	
	Калій	21,6	50,0	–	0,43	
	Кальцій	77,5	80	–	0,43	
	Магній	29,8	40,0	–	0,75	
	Хлориди	52	300	–	0,17	
	Сульфати	67	100	–	0,67	
$\Sigma$					<b>13,68</b>	<b>-12,68</b>
Р/Г	Нафтопродукти	0,032	0,05	–	<b>0,64</b>	<b>0,36</b>
<i>КПЕС<sub>СЕР</sub> = (0,152–17,44–12,68+0,36)/4 = -7,4, КПЕС<sub>МИН</sub> = -17,4 (екологічний стан об'єкта нестійкий).</i>						

## Продовження додатку М

Екологічна оцінка якості вод  
(р. Південний Буг, м. Первомайськ)

Показник	Значення	Категорія	Клас	Індекс
<b>Сольовий склад</b>				
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	584	2	II	$I_1 =$ $=(2+2+3)/3 =$ $=7/3 = \mathbf{2,33}$
$HCO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup> , (мг-екв./дм <sup>3</sup> )	311 (5,02)			
$SO_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup> , (мг-екв./дм <sup>3</sup> )	67,0 (1,39)	2	II	
$Cl^-$ , мг/дм <sup>3</sup> , (мг-екв./дм <sup>3</sup> )	52,1 (1,47)	3	II	
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup> , (мг-екв./дм <sup>3</sup> )	77,5 (3,87)			
$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup> , (мг-екв./дм <sup>3</sup> )	28,0 (2,30)			
$Na^+ + K^+$ , мг/дм <sup>3</sup> , (мг-екв./дм <sup>3</sup> )	43,3 (1,49)			
<b>Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні)</b>				
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	19,1	3	II	$I_2$ $=(3+5+4+5+6+$ $+5+1+2+4)/9 =$ $=35/9 = \mathbf{3,88}$
<i>pH</i>	8,4	5	III	
$NH_4^+$ , мгN/дм <sup>3</sup>	0,39	4	III	
$NO_2^-$ , мгN/дм <sup>3</sup>	0,023	5	III	
$NO_3^-$ , мгN/дм <sup>3</sup>	1,33	6	IV	
$PO_4^{3-}$ , мгP/дм <sup>3</sup>	0,20	5	III	
Розчинений кисень, мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	10,9	1	I	
Біхроматне окислення, мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	9,5	2	II	
БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3,7	4	III	
<b>Специфічні речовини (токсичні)</b>				
Мідь, мкг/дм <sup>3</sup>	22	5	III	$I_3$ $=(5+\underline{4}+\underline{4}+\underline{5}+\underline{4}+$ $+\underline{5}+3+5)/8 =$ $=35/8 = \mathbf{4,38}$  $[ I_3 = (5+4+$ $+3+5)/4 =$ $=17/4 = 4,25 ]$
Цинк, мкг/дм <sup>3</sup>	38	<u>4</u>	III	
Свинець, мкг/дм <sup>3</sup>	18	4	III	
Хром (6+), мкг/дм <sup>3</sup>	11	<u>5</u>	III	
Залізо, мкг/дм <sup>3</sup>	178	<u>4</u>	III	
Марганець, мкг/дм <sup>3</sup>	106	<u>5</u>	III	
Нафтопродукти, мкг/дм <sup>3</sup>	32	3	II	
СПАВ, мкг/дм <sup>3</sup>	52	5	III	
$I_E = (2,3+3,9+4,4)/3 = 3,5$ (категорія 4, слабо забруднена).				



## АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

Алекін О.А. 11, 12, 13  
Балюк С.А. 60  
Бездніна С.Я. 60  
Валяшко М.Г. 12  
Гончарук В.В. 83  
Грінченко Т.О. 60  
Вернадський В.І. 11  
Зайцев І.К. 11, 12  
Іванов В.В. 52  
Костяков А.М. 60  
Курлов М. 10  
Небел Б. 37  
Невраєв Г.О. 52  
Щербаков А.В. 11  
Патін С.А. 40  
Піннекер Є.В. 11  
Ромащенко М.І. 60  
Чегринець Г.Я. 60  
Хільчевський В.К. 12

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Антагонізм 7  
Біоіндикаційна оцінка якості вод 95  
Біологічні показники якості води 25  
Біохімічне споживання кисню 28, 32  
Важкі метали 18, 29  
Властивості природних вод 8-14  
Водорозчинні гази 9  
Гідроліз 19  
Гранично допустима концентрація 6, 24, 30-48  
Групові показники якості води 29  
Додаткові показники якості води 24  
Евтрофування (евтрофікація) 21  
Жорсткість 27  
Загальні показники якості води 23  
Індекс забруднення води 30, 69  
Коефіцієнт забруднення  $\chi$  72  
Комбінаторний індекс забруднення 70  
Комплексні показники якості води 30  
Комплексний показник екологічного стану 74  
Критерії якості води 5  
Критерії якості іригаційних вод 58  
Критерії якості питних вод 65  
Лімітуючі показники якості води 30  
Лімітуюча ознака шкідливості 31, 35-48  
Макрокомпоненти 8  
Металоорганічні комплекси 8  
Метод детального аналізу 6  
Метод комплексних індексів 6  
Міжнародний стандарт питної води 67  
Мікрокомпоненти 8  
Мікроорганізми 9  
Мінералізація 10, 11, 12, 13, 27  
Мінеральні речовини 8  
Мутність 32  
Норми якості природних вод 43  
Норми якості морських вод 49  
Норми якості мінеральних вод 50  
Органічні речовини 9  
Орієнтовно безпечний рівень впливу 6  
Орієнтовно допустимий рівень впливу 6  
Основні аніони 8, 10,11

Основні катіони 8, 10, 11  
Оцінка якості вод методом біотестування 103  
Оцінка якості природних вод 6  
Оцінка якості вод джерел питного водопостачання 91  
Показники відносних розмірів зон забруднення 118  
Пестициди 24, 29, 33  
Показники середнього навантаження водних об'єктів 117  
Показники, що враховують зовнішній водообмін водоєм 120  
Показники якості води 5, 23  
Прості показники якості води 29  
Просторові і часові узагальнення 121  
Сапробність 26  
Середня летальна концентрація 6  
Середовище мешкання 6  
Синергізм 7  
Система інтегральних показників 7  
Сорбція 18  
Специфічні показники якості води 24, 28  
Трофність 26  
Узагальнений екологічний індекс  $I_E$  75  
Узагальнений індекс стану вод  $I_{CB}$  81  
Фізичні показники якості води 24  
Фонові характеристики якості води 33  
Формування якості природних вод 15-22  
Фотоліз 19  
Хімічні показники якості води 26  
Хімічне споживання кисню 28, 32  
Якість води 5

Навчальне видання

**Юрасов** Сергій Миколайович  
**Сафранов** Тамерлан Абісалович  
**Чугай** Ангеліна Володимирівна

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД**

(навчальний посібник)

Підп. до друку      Формат 60x84x/16      Папір офс.  
Умовн. друк. арк.6,0      Тираж      Зам. №  
Надруковано з готових оригінал-макетів

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

---