

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Є. Г. Пономаренко, Т. В. Дмитренко**

**ДЖЕРЕЛА ТА ПРОЦЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**

УДК 502.51(28):502.171:502.14

**Пономаренко Є. Г.** Джерела та процеси забруднення водних ресурсів : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія / Є. Г. Пономаренко, Т. В. Дмитренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 56 с.

Автори

канд. техн. наук, доц. Є. Г. Пономаренко,  
канд. техн. наук, доц. Т. В. Дмитренко

Рецензент

**Ю. Л. Коваленко**, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 2 від 28 серпня 2023 р.*

© Є. Г. Пономаренко, Т. В. Дмитренко, 2024  
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ. ПИТНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	6
1.1 Водні об'єкти, класифікація, можливість їх використання.....	6
1.2 Види водокористування.....	10
1.3 Централізоване та децентралізоване питне водопостачання.....	12
1.4 Якість води. Показники якості води.....	13
1.5 Нормування якості води. Норми якості води, загальні вимоги до складу та властивостей води.....	14
1.6 Гранично допустимі концентрації речовин у воді, нормовані речовини, лімітуючі ознаки шкідливості, класи небезпеки речовин.....	16
1.7 Алгоритм оцінки якості води. Методика оцінки якості води для господарсько-побутової, питної та рибогосподарської категорій водокористування.....	19
1.8 Визначення класу та категорії якості води водних об'єктів на основі екологічної класифікації.....	20
1.9 Якість питної води. Норми постачання води для населення.....	23
1.10 Вимоги до джерел питного водопостачання. Зони санітарної охорони джерел водопостачання.....	24
2 ДЖЕРЕЛА ВПЛИВУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ.....	27
2.1 Класифікація джерел впливу на поверхневі водні об'єкти.....	27
2.2 Утворення господарсько-побутових та міських стічних вод.....	28
2.3 Поверхневий стік з міської території й територій промислових підприємств.....	30
3 ВНУТРІШНЬОВОДОЙМНІ ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД.....	35
3.1 Загальні відомості щодо внутрішньоводоймищних процесів формування якості води .....	35
3.2 Консервативні та неконсервативні речовини.....	36
3.3 Гідралічні процеси формування якості води.....	37
3.4 Самоочищення водних об'єктів.....	38
3.5 Евтрофування водних об'єктів. Алохтоні та автохтонні чинники...	40

3.6 Шкідливий вплив вод.....	42
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД.....	44
4.1 Прогноз якості води на заданій відстані від випуску стічних вод за методом Фролова – Родзіллера.....	44
4.1.1 Визначення кратності основного розведення.....	45
4.1.2 Визначення кратності початкового розведення. ....	47
4.1.3 Методика підбору параметрів водовипуску для забезпечення початкового розведення.....	50
4.2 Модель Стрітера – Фелпса.....	52
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	54

## ВСТУП

Конспект лекцій складено відповідно до робочої програми навчальної дисципліни «Джерела та процеси забруднення гідросфери». Програма освітньої компоненти «Джерела та процеси забруднення гідросфери» розроблена відповідно до освітньої програми «Екологія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 101 – Екологія.

Метою вивчення навчальної дисципліни є надання студентам теоретичних знань та практичних навичок щодо оцінювання якості поверхневих вод, умов та процесів формування якості води й методів її прогнозування.

Для вивчення цієї дисципліни потрібно використовувати відомості, отримані під час вивчення таких навчальних дисциплін, як «Природні процеси в геосфері», «Загальна екологія», «Хімія», «Системний аналіз довкілля», «Природоохоронне законодавство та екологічна експертиза», «Моделювання та прогнозування стану довкілля», «Загально-екологічна практика».

Дисципліна «Джерела та процеси забруднення гідросфери» складається із трьох змістових модулів:

Змістовий модуль 1 Загальні питання водокористування та водовідведення. Питне водопостачання.

Змістовий модуль 2 Джерела впливу на поверхневі водні об'єкти. Внутрішньоводоймищні процеси формування якості поверхневих вод.

Змістовий модуль 3 Моделі якості поверхневих вод.

«Джерела та процеси забруднення гідросфери» як навчальна дисципліна надає відомості щодо оцінювання якості поверхневих вод, джерел забруднення природних вод та змінювання їхнього стану внаслідок дії антропогенних факторів, умов та процесів формування якості води й методів її прогнозування.

У конспекті лекцій пропонується стислий зміст лекційного курсу, що відповідає робочій програмі з навчальної дисципліни, та наводиться список рекомендованих джерел.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ. ПИТНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

## 1.1 Водні об'єкти, класифікація, можливість їх використання

Гідросфера – це сукупність водних об'єктів: океанів та морів, водотоків та водойм, льодовиків, підземних вод. Загальний об'єм гідросфери, яка освоєна людством, становить приблизно 1,5 млрд км<sup>3</sup>, поверхня гідросфери – 89 % загальної площі Земної кулі.

Вода у гідросфері розподілена таким чином: в морях та океанах – 91,3 %, у підземних водах – 6,8 %, у льодовиках – 1,7 %, поверхневі води суші складають лише 0,2 % загального обсягу гідросфери.

Спостереження вказують на те, що внаслідок глобального потепління маса льодовиків зменшується, поповнюючи поверхневу та підземну складову.

Існує ще так зване Ювенільне море, яке розташовується на глибині 10–12 км від земної поверхні, виходячи в деяких місцях на поверхню у вигляді гейзерів. Об'єм Ювенільного моря оцінюється в 11–13 млрд км<sup>3</sup>. З Ювенільного моря щорічно до «видимої» гідросфери завдяки гейзерам та вулканам надходить близько 1 км<sup>3</sup> води. Атмосферні опади, що випадають у вигляді дощу та снігу, також надходять до гідросфери як поверхневий стік.

Людство користується, головним чином, прісною водою, обсяг якої, придатний для використання, складає приблизно 20 тис. км<sup>3</sup> на рік, тобто приблизно 3 тис. м<sup>3</sup> на одного мешканця планети, що зовсім небагато враховуючи те, що кількість людей на планеті постійно збільшується, а обсяг придатної для використання води зменшується внаслідок антропогенного забруднення водних об'єктів.

Поверхневі води суші містяться у поверхневих водних об'єктах, до яких належать річки, струмки, канали, естуарії, лимани, озера, водосховища і ставки, льодовики. Канали, водосховища і ставки – це штучні водні об'єкти.

Річки, струмки та канали мають значну швидкість течії води й належать

до водотоків.

Річки поділяються на малі, середні та великі (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація річок за розміром

Категорія річки	Загальна площа водозбору, км <sup>2</sup>	Витрата води *, м <sup>3</sup> /с	Швидкість течії *, м/с	Коливання рівня *, м
Мала	до 2 000	до 5	до 0,2	до 1
Середня	2 000–50 000	5–100	0,2–1	1-2
Велика	понад 50 000	понад 100	понад 1	понад 2
* У непаводковий період.				

У паводковий період витрати води, швидкість течії та коливання рівня істотно збільшуються, особливо в гірських районах.

Витрати води річок як статистичні величини визначаються ймовірною відсотковою забезпеченістю, наприклад: у середній за кількістю опадів рік витрати річкового стоку оцінюються як 50 % забезпеченості, у маловодні роки – 95 % і більше, у багатоводні – 2-3 % і більше.

*Канали* – штучні водотоки, що прокладаються для судноплавства, перерозподілу стоку річок або для запобігання повеням при згінно-нагінних явищах. Русло каналу, як правило, укладають із залізобетону, зрідка з кам'яного мурування, в окремих місцях канал забирають у трубу.

*Струмки* – невеликі водотоки, що починаються із джерела.

*Естуарій* – це гирлова частина річки, що впадає в море безрукавним річищем.

В естуаріях напрям течії зазвичай співпадає з напрямом вітру.

Естуарії класифікуються переважно за гідрологічним режимом: стокові, приливно-відливні, згінно-нагінні, а також за коливанням рівня: до 0,5 м – малі, від 0,5 м до 1 м – середні, понад 1 м – великі.

Озера, лимани, водосховища та ставки, де помітна течія води відсутня, належать до *водойм*.

*Лиман* – це водойма, що утворилася шляхом відокремлення від річки або моря.

Водойми за розміром розподіляються на IV категорії (табл. 1.2).

Водойми характеризуються коливанням рівня води та кратністю водообігу.

Таблиця 1.2 – Класифікація водойм за морфометричними параметрами

Категорія водойм	Площа поверхні, км <sup>2</sup>	Обсяг, км <sup>3</sup>	Максимальна глибина, м
Мала	до 10	до 0,5	до 5
Середня	10–100	0,5–1	5–10
Велика	100–1 000	1–10	10–50
Дуже велика	понад 1 000	понад 10	понад 50

Коливання рівня води та водообіг озер є результатом притоку водотоків, що впадають в озеро, випаровування і витрат водотоків, що витікають з озера, з урахуванням витрат води, що забирається для водопостачання і зрошення.

Коливання рівня води та водообіг у водосховищах оцінюється величиною притоку у верхній б'єф і скидною витратою у нижній б'єф з урахуванням забору води для господарських цілей, а також розміром випаровування з поверхні водосховища та ймовірної фільтрації води в борти й у підземні горизонти. Розмір коливань рівня води озер і водосховищ визначають за різницею між найбільшими та найменшими рівнями, що утворюються за період спостережень. Коливання рівня поверхні водойми до 3 м вважається малим; коливання рівня від 3 до 20 м – середнім, понад 20 м – великим. Інтенсивною є кратність водообігу, що становить п'ять разів за рік; помірною – від 5 до 0,1; уповільненою – до 0,1.

*Підземні води* розподіляються на водоносні горизонти та комплекси, з яких формуються басейни й родовища підземних вод.

Підземні води, що виходять на земну поверхню, називаються *джерелами*.

*Моря* поділяються на замкнені та відкриті.

Азовське та Чорне моря замкнені. Відкриті моря мають безпосередній контакт з океаном.

Людські поселення з давніх часів виникали по берегах річок, що слугували джерелом водопостачання, а також зручним транспортним шляхом. Одночасно річки використовувалися для видалення рідких та твердих відходів



життєдіяльності людей і домашньої худоби, що призводило до їхнього забруднення, позбавляючи розташовані нижче за течією населені пункти можливості користуватися цим джерелом питного водопостачання. Річки ставали розповсюджувачами інфекційних захворювань, зокрема холери, дизентерії, черевного тифу та ін. Пройшло декілька тисячоліть перш ніж людство опанувало можливість запобігати забрудненню водних об'єктів шляхом очищення та знезараження рідких відходів.

Зі зростанням благоустрою міст розташовані в міській зоні водойми й водотоки набувають усе більш важливого архітектурно-планувального, рекреаційного та естетичного значення. Завдяки комфортному мікроклімату і привабливій естетиці міські набережні стали найбільш престижним районом поселення, улюбленим місцем прогулянок громадян. Чистота водних об'єктів, архітектурна облаштованість, озеленення берегів і прибережної частини – важливе завдання міської адміністрації.

Вода – один із найбільш поширених природних ресурсів, що споживаються. Її використовують для таких потреб:

- задоволення питних та побутових запитів населення;
- як сировину та компонент технологічних процесів у промисловості;
- зрошування рослинності;
- транспортування сировини та відходів;
- санітарне оздоблення міських територій;
- гасіння пожеж тощо.

Основні види використання водних об'єктів:

- забір води для питного і технічного водопостачання, для зрошування та інших потреб;
- рибальство та риборозведення;
- судноплавство;
- вироблення електроенергії;
- рекреація;
- приймання стічних та інших зворотних вод.

Кожен вид водокористування здійснюється з дотриманням вимог економної витрати води та захисту водних об'єктів від забруднення й виснаження. Ці вимоги регламентуються чинним водоохоронним законодавством.

## **1.2 Види водокористування**

Згідно з Водним кодексом України, водокористування у правовому відношенні поділяється на загальне та спеціальне.

*Загальне водокористування* здійснюється громадянами для задоволення власних потреб: купання, плавання на човнах, аматорське і спортивне рибальство, напування тварин, забір води з водних об'єктів без застосування споруд або технічних пристроїв та з криниць. Загальне водокористування здійснюється безкоштовно, без надання відповідних дозволів. У деяких випадках можливе обмеження загального водокористування з метою охорони життя і здоров'я громадян та захисту навколишнього природного середовища. Місцеві органи самоврядування встановлюють правила загального водокористування та вказують місця його здійснення.

До спеціального водокористування належать забір води з водних об'єктів із застосуванням споруд або технічних пристроїв та скидання зворотних вод у водні об'єкти. Спеціальне водокористування здійснюється, насамперед, для задоволення питних потреб населення, а також для господарсько-побутових, лікувальних, оздоровчих, сільськогосподарських, промислових, транспортних, енергетичних, рибогосподарських та інших державних і громадських потреб.

*Спеціальне водокористування* є платним і здійснюється на підставі дозволу, що видається в установленому порядку. Видача дозволу на спеціальне водокористування здійснюється за клопотанням водокористувача. У клопотанні на погодження умов і отримання дозволу на спеціальне водокористування вказується:

- найменування підприємства-водокористувача та його реквізити;

- виробнича потужність підприємства, кількість робітників, робочих днів на рік;
- мета водокористування;
- найменування водного об'єкта та його характеристика (мінімальна середньомісячна витрата води у річці  $P = 95 \%$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ; склад води в створі водокористування за даними гідрометслужби;
- створ водозабору, або місце розташування свердловин, що використовуються для водопостачання;
- перелік та потужність споруд для забору води;
- наявність та конструкція рибозахисних споруд;
- зона санітарної охорони водозабору;
- забір води з поверхневих, підземних джерел, із водопроводу (у  $\text{м}^3/\text{добу}$  і тис.  $\text{м}^3/\text{рік}$ );
- витрати води на виробничі та господарсько-питні потреби;
- передача води іншим підприємствам;
- витрата води в системах оборотного та повторного водопостачання;
- кількість стічних вод, що скидаються у водний об'єкт загалом, окремо по кожному випуску;
- кількість стічних вод, що скидаються до міської каналізації;
- засоби очищення стічних вод, проектна потужність очисних споруд;
- кількість стічних вод, що скидаються на поля фільтрації, поля зрошення тощо;
- якісна характеристика стічних вод по кожному випуску з переліком нормованих речовин згідно з розрахунками ГДС, які додаються;
- засоби обліку вод, що надходять з різних джерел та скидаються;
- перелік заходів з охорони та раціонального використання вод, із зазначенням термінів виконання, кошторисної вартості, водоохоронного ефекту, що очікується.

Дозвіл на спеціальне водокористування видається на підставі клопотання державних органів з охорони навколишнього природного середовища на певний термін.

Терміни спеціального водокористування:

- короткострокове – до трьох років;
- довгострокове – до двадцяти п'яти років.

У разі скиду стічних вод до водного об'єкта дозвіл видається на термін не більш ніж до 3-х років. Довготерміновий дозвіл видається для здійснення централізованого питного водопостачання. Продовження терміну спеціального водокористування здійснюється за поданням клопотання.

### **1.3 Централізоване та децентралізоване питне водопостачання**

Комунальне господарство, яке забезпечує водою питної якості населення та промисловість, є одним з основних споживачів водних ресурсів і одночасно одним із потенційних забруднювачів природних вод, оскільки здійснює водовідведення стічних і більшості інших зворотних вод населених пунктів у водні об'єкти.

Централізоване водопостачання полягає у заборі води з водних об'єктів – джерел водопостачання, обробки її відповідно до вимог нормативів якості питної води та подачі води споживачам – населенню, промисловим підприємствам та іншим установам. Централізоване питне водопостачання має пріоритетність щодо інших видів спеціального водокористування.

Джерелами централізованого водопостачання можуть бути як поверхневі, так і підземні води. Для міст, які потребують значної кількості води, одночасно використовують поверхневі й підземні джерела.

Якість води, що подається до осель мережею централізованого водопостачання, на жаль, не завжди відповідає нормативним вимогам якості питної води. Це може бути пов'язано з надмірним забрудненням води джерела водопостачання, технічним зносом устаткування водопідготовки та водогінної мережі, аваріями тощо.

Потреба людини у воді для пиття з урахуванням приготування їжі не перевищує 3-4 л/добу. Таку кількість води високої якості можна забезпечити за допомогою децентралізованого водопостачання. Існують і впроваджуються такі види децентралізованого водопостачання:

- водопостачання з колодязів;
- забір води з артезіанських джерел, що розташовуються в межах або поблизу населеного пункту;
- доставлення води спецавтотранспортом до житлових масивів;
- розбудова мережі бюветів, якісна вода до яких надходить з глибоких, надійно ізольованих горизонтів;
- продаж питної води у герметичних пляшках, що наповнюються у заводських умовах.

Децентралізоване водопостачання безперечно сприяє загальному оздоровленню населення і використанню якісної підземної води переважно для питних потреб.

#### **1.4 Якість води. Показники якості води**

Якість води – це характеристика складу і властивостей води, яка визначає її придатність для конкретних видів використання і як середовища безпечного існування гідробіонтів.

Якісний склад води визначається фізичними, хімічними та біологічними показниками.

Фізичні показники: температура, °С; запах, бали; прозорість, см вод. ст.; кольоровість, градуси забарвлення води; вміст завислих речовин, мг/дм<sup>3</sup>.

Хімічні показники: рН; концентрація розчинених мінеральних та органічних сполук, мг/дм<sup>3</sup>; хімічне споживання кисню (ХСК), мгО/дм<sup>3</sup>; біохімічне споживання кисню (БСК), мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; мінералізація, мг/дм<sup>3</sup>.

Біологічні показники поділяються на бактеріологічні та гідробіологічні.

Бактеріологічні показники визначають можливу наявність у воді

хвороботворних мікроорганізмів, які потрапляють у воду з організму хворої людини. Ймовірне мікробне зараження води визначається за допомогою тест-об'єктів – кишкових паличок, які постійно мешкають у людському організмі. Наявність у воді кишкових паличок вказує на те, що до водного об'єкта потрапила певна кількість побутових стічних вод.

Гідробіологічні показники складаються з певних особливостей поведінки та життєдіяльності гідробіонтів у зв'язку з наявністю і ступенем забруднення водних об'єктів. Це може бути перехід окремих гідробіонтів із забруднених зон в незабруднені, їх видове різноманіття, розвиток окремих форм і пригнічення інших, коливання загальної чисельності й біомаси водних організмів та водоростей.

Метод оцінки якості води як середовища мешкання гідробіонтів за видовим складом і показниками кількісного розвитку видів-індикаторів та за структурою утворених ними угруповань називається *біоіндикацією*.

Біоіндикатори якості води – це організми, присутність яких у водному об'єкті, їх кількість, а також особливості розвитку вказують на перебіг внутрішньоводоймищних процесів і вплив алохтонних чинників на формування якості води.

### **1.5 Нормування якості води. Норми якості води, загальні вимоги до складу та властивостей води**

Для оцінки можливостей використання води з водних об'єктів для потреб населення та галузей економіки встановлені такі нормативи екологічної безпеки водокористування:

- загальні вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів;
- гранично допустимі концентрації (ГДК) речовин у воді водних об'єктів, які використовуються для питних, господарсько-побутових та інших потреб населення (санітарно-гігієнічні нормативи);

– ГДК речовин у воді водних об’єктів, які використовуються для потреб рибного господарства (рибогосподарські нормативи).

Загальні вимоги до складу і властивості води водних об’єктів (табл. 1.3) містять санітарно-гігієнічні та рибогосподарські нормативи фізичних, узагальнених хімічних та бактеріологічних показників, а також низку декларативних заборон.

Таблиця 1.3 – Загальні вимоги до складу і властивостей води водних об’єктів

Показники складу і властивостей води водного об’єкта	Види водокористування			
	Господарсько-питне водопостачання	Рекреація, а також водні об’єкти в межах населених пунктів	Рибогосподарські	
			вищої та I категорії	II категорії
Завислі речовини	При скиді зворотних вод концентрація завислих речовин у контрольному створі не повинна збільшуватися на: 0,25 мг/л   0,75 мг/л   0,25 мг/л   0,75 мг/л Для водотоків, що містять понад 30 мг/л завислих речовин природного походження, допускається їх збільшення у воді до 5 %. Вміст у воді завислих речовин техногенного походження, зокрема пластівці гідроксидів металів, частки азбесту, скловолокна, базальту, капрону, лавсану та ін., нормується за ГДК			
Плаваючі домішки (речовини)	На поверхні води не повинні виявлятися плівка нафтопродуктів, жирів, мастил та скупчення інших домішок			
Кольоровість	Не повинна виявлятися у стовпчику води: 20 см   10 см		Вода не повинна набувати іншого кольору	
Запахи, присмаки	Вода не повинна набувати запахів інтенсивністю понад 1 бал, що виявляються безпосередньо або при хлоруванні чи при інших засобах обробки		безпосередньо Вода не повинна надавати запахів та присмаків, не притаманних м’ясу риби	
Температура	Внаслідок скиду підігрітих вод температура води у водному об’єкті не повинна підвищуватися: улітку більш ніж на 3 °С порівняно із середньомісячною температурою води найтеплішого місяця за останні 10 років		улітку більше ніж від 28 °С і до 8 °С узимку	
Водневий показник рН	Не повинен виходити за межі 6,5–8,5			
Мінералізація	Не повинна перевищувати 1 000 мг/л		Не нормується	
Розчинений кисень	Концентрація у воді не повинна бути нижчою ніж 4 мг/л		Концентрація у воді не повинна бути нижчою, ніж: 6 мг/л   4 мг/л – узимку 6 мг/л – улітку	
	Відбір проб води на вміст кисню повинен здійснюватися до 12-ї години ранку			

Біохімічне споживання кисню	При температурі 20 °С не повинен перевищувати:		
	3 мг/л	6 мг/л	3 мг/л
Хімічне споживання кисню	Не повинен перевищувати:		Не нормується
	15 мг/л	30 мг/л	
Хімічні речовини	Вміст у воді водних об'єктів не повинен перевищувати нормативи ГДК для відповідного виду водокористування		
Збудники захворювань	У воді водних об'єктів не повинні визначатися збудники захворювань, зокрема життєздатні яйця гелмінтів та цисти патогенних кишкових найпростіших		
Лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП)	не більше		Не нормуються
	10 000 в 1 л води	5 000 в 1 л води	
Коліфаги (у бляшкоутворюючих одиницях)	не більше		Не нормуються
	100 в 1 л води		
Токсичність води	Не нормується		Зворотні води при скиданні у водний об'єкт не повинні чинити гострого токсичного впливу на тестові гідробіонти. У контрольному створі водного об'єкта не повинен здійснюватися хронічний токсичний вплив на тестові гідробіонти

## 1.6 Гранично допустимі концентрації (ГДК) речовин у воді, нормовані речовини, лімітуючі ознаки шкідливості, класи небезпеки речовин

Нормативи прийнятого для певних видів водокористування вмісту розчинених у воді водних об'єктів хімічних речовин визначаються за переліками гранично допустимих концентрацій (ГДК). Нормативи ГДК та інші нормативи екологічної безпеки розробляються і затверджуються:

– для водних об'єктів, вода яких використовується для питних, господарсько-побутових та інших потреб населення, установами та організаціями Міністерства охорони здоров'я;

– для водних об'єктів, вода яких використовується для рибогосподарських потреб, установами та органами рибного господарства.

Перелік санітарно-гігієнічних ГДК на сьогодні налічує понад 2 000 речовин, рибогосподарських – понад 1 500 речовин. Переліки ці постійно збільшуються, бо, згідно з водоохоронним законодавством, скид стічних вод,



що містять речовини, для яких не встановлено нормативів ГДК, у водні об'єкти заборонено.

Нормативи ГДК для деяких найбільш поширених у виробництві та побуті речовин наведені у таблиці 1.4.

Нормативи екологічної безпеки використовуються для поточного контролю якості води водних об'єктів, для розрахунків гранично допустимих скидів зворотних вод у водні об'єкти та планування на цій підставі водоохоронних заходів для конкретних водокористувачів. В особливих випадках, наприклад, при використанні водних об'єктів для лікувальних, курортних, оздоровчих, рекреаційних та інших цілей, можуть встановлюватися більш суворі нормативи екологічної безпеки.

Таблиця 1.4 – Скорочений перелік нормативів ГДК

Найменування речовин	Господарсько-питне			Рибогосподарське	
	ГДК, мг/л	Лімітуюча ознака шкідливості	Клас небезпеки	ГДК, мг/л	Лімітуюча ознака шкідливості
1	2	3	4	5	6
1. Азот амонійний	2,0	с-т	3	0,5	токс.
2. Алюміній	0,5	с-т	2	0,04	токс.
3. Ацетон	2,2	заг.	3	0,05	токс.
4. Барій	0,1	с-т	2	2,0	орг.
5. Бензол	0,5	с-т	2	0,5	токс.
6. Гідрохінон	0,2	орг.	4	0,001	токс.
7. Гліцерин	0,5	заг.	4	1,0	с-т.
8. ДДТ (технічний)	0,1	с-т	2		
9. Діетиленгліколь	1,0	с-т	3	0,05	токс.
10. Залізо загальне	0,3	орг.	3	0,05	токс.
11. Жири рослинні та тваринні	нормуються за БСК				
12. Ізопрен	0,005	орг.	4	0,01	с-т.
13. Кадмій	0,001	с-т	2	0,005	токс.
14. Капролактам	1,0	заг.	4	0,01	токс.
15. Карбофос	0,05	орг.	4	0	токс.
16. Кобальт	0,1	с-т	2	0,005	токс.
17. Ксилол	0,05	орг.	3	0,05	орг.

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6
18. Фарбники синтетичні (кислотні)	0,02–0,2	орг.	4	0,25	с-т.
19. Латекс ЛМФ	6,0	орг.	4	0,1	орг.
20. Марганець	0,1	орг.	3	0,01	токс.
21. Мідь	0,1	орг.	3	0,005	токс.
22. Метанол	3,0	с-т	2	0,1	с-т.
23. Метафос	0,5	орг.	4	0	токс.
24. Мочевина	1,0	заг.	4	80,0	с-т.
25. Миш'як	0,05	с-т	2	0,05	токс.
26. Натрій	200,0	с-т	2	–	–
27. Нафта та нафтопродукти	0,3	орг.	4	0,05	рибгосп.
28. Нікель	0,1	с-т	3	0,01	токс.
29. Нітрати	45,0	с-т	3	40,0	с-т.
30. Нітрити	3,3	с-т	2	0,08	токс.
31. Поліакриламід	2,0	с-т	2	0,41	токс.
32. Ртуть	0,000 5	с-т	1	0,000 1	токс.
33. Свинець	0,03	с-т	2	0,1	токс.
34. Селен	0,01	с-т	2	0,001 6	токс.
35. СПАР	0,5	орг.	4	–	–
36. Стирол	0,1	орг.	3	0,1	орг.
37. Стронцій	7,0	с-т	2	10,0	токс.
38. Сульфати	500,0	орг.	4	100,0	с-т.
39. Сульфід	0	заг.	3	–	–
40. Тіофос	0,003	орг.	4	–	–
41. Титан	0,1	заг.	3	–	–
42. Толуол	0,5	орг.	4	0,5	орг.
43. Оцтова кислота	1,0	заг.	4	0,01	токс.
44. Фенол	0,001	орг.	4	0,001	рибгосп.
45. Формальдегід	0,05	с-т	2	0,01	заг.
46. Фосфати	3,5	заг.	4	–	–
47. Хлориди	350,0	орг.	4	300,0	с-т.
48. Хром тривалентний	0,5	с-т	3	–	–
49. Хром шестивалентний	0,05	с-т	3	0,001	с-т.
50. Ціаніди	0,1	с-т	2	0,05	токс.
51. Цинк	1,0	заг.	3	0,01	токс.
52. Етанол	–	–	–	0,01	токс.

## 1.7 Алгоритм оцінки якості води. Методика оцінки якості води для господарсько-побутової, питної та рибогосподарської категорій водокористування

### *Методика оцінки якості води щодо господарсько-побутової та питної категорій водокористування*

Водні об'єкти можна вважати придатними для господарсько-побутової (г-п) і питної (п) категорій водокористування, якщо одночасно дотримані наступні умови:

- не порушуються загальні вимоги (ЗВ) щодо складу і властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- для речовин, що належать до III і IV класів небезпеки (КН), дотримуються такі умови:

$$C \leq (ГДК), \quad (1.1)$$

де  $C$  – концентрація речовини у водному об'єкті, г/м<sup>3</sup>;

- для речовин, що належать до I і II класів небезпеки з однаковими лімітуючими ознаками шкідливості (ЛОШ), дотримуються такі умови:

$$\sum \frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1. \quad (1.2)$$

### *Методика оцінки якості води щодо рибогосподарської категорії водокористування*

Вода водних об'єктів вважається придатною для рибогосподарської (р-г) категорії водокористування, якщо одночасно дотримуються такі умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу і властивостей води для відповідної рибогосподарської категорії водокористування;
- для речовин, єдиних у своїй ЛОШ, дотримуються умови, зазначені у формулі (1.1);

– для речовин, що належать до однакової ЛОШ, дотримуються умови, зазначені у формулі (1.2).

*Зауваження:*

– відповідність нормативу не вважається його порушенням;

– якщо порушені норми якості води хоча б за одним показником, вода вважається непридатною для відповідної категорії водокористування. Проте на практиці прийнято називати речовини, показники або ЛОШ, за якими відбувається порушення якості води;

– у разі порушення якості води для речовин, які нормуються за ЛОШ, вважається, що норми якості води порушені для всіх речовин, що входять до цієї ЛОШ.

Для оцінки якості води водного об'єкта необхідно:

– мати натурні дані, що характеризують значення показників якості води у водному об'єкті;

– визначити, для якої категорії водокористування проводиться оцінка;

– для кожного показника або речовини, за якою проводиться оцінка, на підставі нормативних документів визначити ЗВ або ГДК, ЛОШ, КН (для господарсько-побутової та питної категорій);

– провести оцінку якості води щодо відповідної категорії водокористування на основі наведених методик.

## **1.8 Визначення класу та категорії якості води водних об'єктів на основі екологічної класифікації**

Для оцінки стану водотоків та водойм і визначення комплексу водоохоронних заходів для підвищення їх екологічного благополуччя використовують екологічні нормативи якості поверхневих вод, які передбачають розподіл водних об'єктів на V класів та VII категорій за якістю води.

Загальна характеристика водних об'єктів за класами і категоріями якості води наведена в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Класи та категорії якості поверхневих вод за екологічною класифікацією

Клас якості води	I		II		III		IV	V
Категорія якості води	1	2	3	4	5	6	7	
Назва класів і категорій якості води за їх станом	Відмінні	Добрі		Задовільні		Погані	Дуже погані	
	Відмінні	Дуже добрі	Добрі	Задовільні	Посередні	Погані	Дуже погані	
Назва класів і категорій якості води за ступенем їх чистоти (забрудненості)	Дуже чисті	Чисті		Забруднені		Брудні	Дуже брудні	
	Дуже чисті	Чисті	Достатньо чисті	Слабко забруднені	Помірно забруднені	Брудні	Дуже брудні	
Трофність (переважаючий тип)	Оліготрофні	Мезотрофні		Евтрофні		Політрофні	Гіпертрофні	
	Оліготрофні олігомезотрофні	Мезотрофні	Мезо-евтрофні	Евтрофні	Евполітрофні	Політрофні	Гіпертрофні	
Сапробність	Олігосапробні		β-мезосапробні		α- мезосапробні		Полісапробні	
	β- олігосапробні	α-олігосапробні	β'-мезосапробні	β''- мезосапробні	α'- мезосапробні	α''- мезосапробні	Полісапробні	

Для визначення класу і категорії певного водного об'єкта використовують низку критеріїв:

- критерії забруднення компонентами сольового складу (табл. 1.6);
- еколого-санітарні критерії (табл. 1.7);
- критерії вмісту специфічних речовин токсичної дії (табл. 1.8);
- критерії специфічних показників радіаційної дії (табл. 1.9).

Екологічні нормативи якості води поверхневих вод визначаються як середньоарифметичні значення класу і категорії показників фактичного складу води водного об'єкта. При підрахунках дробові значення класів і категорій потрібно округляти до цілого, більшого числа.

Таблиця 1.6 – Класифікація якості прісних вод за критеріями забруднення компонентами сольового складу

Показники, мг/л	Клас якості води						
	I	II		III		IV	V
	Категорія якості води						
	1	2	3	4	5	6	7
Сума іонів	1 000–1 500	1 501–2 000	2 001–2 500	2 501–3 000	3 001–3 500	3 501–4 000	> 4 000
Хлориди	≤ 200	201–400	401–600	601–800	801–1 000	1 001–1 200	> 1 200
Сульфати	≤ 400	401–800	801–900	901–1 000	1 001–1 100	1 101–1 200	> 1 200

Таблиця 1.7 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод за еколого-санітарними критеріями

Показники	Клас якості води						
	I	II		III		IV	V
	Категорія якості води						
	1	2	3	4	5	6	7
Завислі речовини, мг/л	< 5	5–10	11–20	21–30	31–50	51–100	> 100
Прозорість, м	> 1,50	1,00–1,50	0,65–0,95	0,50–0,60	0,35–0,45	0,20–0,30	< 0,20
pH	6,9–7,0	6,7–6,8	6,5–6,6	6,3–6,4	6,1–6,2	5,9–6,0	< 5,9– > 8,7
Азот амонійний, мг/л	< 0,10	0,10–0,20	0,21–0,30	0,31–0,50	0,51–1,00	1,01–2,50	> 2,50
Азот нітричний, мг/л	< 0,002	0,002–0,005	0,006–0,010	0,011– 0,020	0,021–0,050	0,051– 0,100	> 0,100
Азот нітратний, мг/л	< 0,20	0,20–0,30	0,31–0,50	0,51–0,70	0,71–1,00	1,01–2,50	> 2,50
Фосфор фосфатів, мг/л	< 0,015	0,015–0,030	0,031–0,050	0,051– 0,100	0,101–0,200	0,201– 0,300	> 0,300
Розчинений кисень, мг/л	> 8,0	7,6–8,0	7,1–7,5	6,1–7,0	5,1–6,0	4,0–5,0	< 4,0
Біхроматна окислюваність, мгО <sub>2</sub> /л	< 9	9–15	16–25	26–30	31–40	41–60	> 60
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	< 1,0	1,0–1,6	1,7–2,1	2,2–4,0	4,1–7,0	7,1–12,0	> 12,0

Таблиця 1.8 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії

Показники, мкг/л	Клас якості води						
	I	II		III		IV	V
	Категорія якості води						
	1	2	3	4	5	6	7
Ртуть	< 0,02	0,02–0,05	0,06–0,20	0,21–0,50	0,51–1,00	1,01–2,50	> 2,50
Кадмій	< 0,1	0,1	0,2	0,3–0,5	0,6–1,5	1,6–5,0	> 5,0
Мідь	< 1	1	2	3–10	11–25	26–50	> 50
Цинк	< 10	10–15	16–20	21–50	51–100	101–200	> 200
Свинець	< 2	2–5	6–10	11–20	21–50	51–100	> 100
Хром загальний	< 2	2–3	4–5	6–10	11–25	26–50	> 50
Нікель	< 1	1–5	6–10	11–20	21–50	51–100	> 100
Миш'як	< 1	1–3	4–5	6–15	16–25	26–35	> 35
Залізо загальне	< 50	50–75	76–100	101–500	501–1 000	1 001–2 500	> 2 500
Марганець	< 10	10–25	26–50	51–100	101–500	501–1 250	> 1 250
Фториди	< 100	100–125	126–150	151–200	201–500	501–1 000	> 1 000
Ціаніди	0	1–5	6–10	10–25	26–50	51–100	> 100
Нафтопродукти	< 10	10–25	26–50	51–100	101–200	201–300	> 300
Феноли (леткі)	0	< 1	1	2	3–5	6–20	> 20
СПАР	0	< 10	10–20	21–50	51–100	101–250	> 250

Екологічні нормативи якості води поверхневих вод дають змогу розробляти стратегію водоохоронних заходів з метою переведення водного об'єкта з однієї категорії до іншої, більш чистої категорії. Окрім того, потрібно встановити техногенне походження забруднюючого чинника, бо в разі природного забруднення клас якості води водного об'єкта залишається незмінним.

Таблиця 1.9 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод за критеріями специфічних показників радіаційної дії

Показники, Бк/л	Клас якості води						
	I	II		III		IV	V
	Категорія якості води						
	1	2	3	4	5	6	7
Сумарна β-активність	< 0,163	0,163–0,206	0,207–0,279	0,280–0,390	0,391–5,550	5,560–9,99	> 9,99
<sup>90</sup> Sr	< 0,023	0,023–0,028	0,029–0,036	0,037–0,111	0,112–1,43	1,44–3,33	> 3,33
<sup>137</sup> Cs	< 0,004 4	0,004 4–0,009 5	0,009 6–0,018 5	0,018 6–0,185	0,186–5,55	5,56–55,5	> 55,5

### 1.9 Якість питної води. Норми постачання води для населення

Потреба у прісній воді постійно зростає, а кількість доступних до використання водних ресурсів зменшується внаслідок забруднення поверхневих вод та виснаження підземних. Спостерігається стале зростання водного дефіциту, що відбивається на життєвих умовах населення, розвитку промисловості, сільського та рибного господарства. Кількісно зростаюче людство швидко наближається до ресурсної межі використання прісних вод, а в деяких регіонах ця межа вже давно досягнута і навіть перевищена. З метою віддалення часу вичерпання ресурсів прісних вод здійснюється комплекс заходів із раціонального водокористування.

Основним споживачем якісної прісної води є населення. Фізіологічна потреба у питній воді становить до 3 л на одну людину за добу.

Споживання води для побутових потреб залежить від благоустрою житлового фонду (табл. 1.10).

Таблиця 1.10 – Питоме споживання води для побутових потреб

Особливості благоустрою житлового фонду	Споживання води одним мешканцем, л/добу
Джерело питної води розташоване за межами садиби	5–6
Джерело води розташоване в садибі за межами будинку	8–10
Централізоване водопостачання, без каналізації	25–30
Централізоване постачання холодної води й каналізація	125–160
Централізоване постачання холодної та гарячої води й каналізація	200–250

У 70–80-х роках минулого століття споживання води одним мешканцем у деяких містах сягало до 500 л/добу і більше. Починаючи з кінця ХХ століття, у зв'язку з обмеженістю водних ресурсів, питоме споживання питної води поступово зменшувалося і на тепер у деяких європейських країнах (Франція, Велика Британія) обмежено до 180 л/добу.

На жаль, при централізованому водопостачанні значні обсяги води втрачаються через витоки та аварії на водогонах. Ці витрати зазвичай відносять до питомого водоспоживання населення.

### **1.10 Вимоги до джерел питного водопостачання. Зони санітарної охорони джерел водопостачання**

Стан та якість поверхневих вод, що використовуються як джерела централізованого водопостачання, повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормативам. Охорона джерел питного водопостачання від забруднення та виснаження має бути профілактичною. З цією метою влаштовуються зони санітарної охорони джерел централізованого господарсько-питного водопостачання. У межах цих зон встановлюється особливий режим господарської діяльності, спрямований на уникнення забруднення та виснаження природних вод.

Зони санітарної охорони джерел водопостачання складаються з трьох поясів.



*Перший пояс* (суворого режиму) включає територію розміщення водозабору. На водотоках межа першого поясу встановлюється на відстані від водозабору уверх проти течії – не менше 200 м, униз за течією – не менше 100 м, по берегу – не менше 100 м від урізу води, до протилежного берега – не менше 100 м по акваторії, а при ширині річки менше ніж 100 м – уся акваторія і 50 м від урізу води по протилежному берегу. На водоймах – у радіусі 100 м від водозабору по акваторії й берегу. Межа першого поясу позначається на акваторії попереджувальними буйками, на суходолі – попереджувальними табличками з відповідним написом.

На водозаборах підземних вод перший пояс охоплює свердловину і водозабірні споруди. Радіус першого поясу становить 15–50 м залежно від захищеності горизонтів підземних вод. Територія першого поясу водозабору підземних вод обгороджується парканом. Вхід до неї сторонніх осіб заборонено.

У межах першого поясу забороняється проживання людей, зокрема працівників водозабору, скидання стічних вод, купання, вилов риби, водопій худоби та інші види водокористування, що впливають на якість води. Забороняється перебування сторонніх осіб, розміщення житлових і громадських будівель, причалів плаваючих засобів, будь-яке будівництво, за винятком такого, що потрібне для експлуатації водопроводу.

*Другий і третій пояси* (обмеження і спостереження) включають територію, що повинна забезпечити охорону джерел централізованого питного водопостачання від мікробного та хімічного забруднення.

Межа *другого* поясу встановлюється на водотоках уверх проти течії на відстані добігання води не менше 3-х діб до водозабору, униз за течією – 250 м; бічні межі 500–1 000 м залежно від рельєфу; на водоймах – у радіусі не менше 3 км від водозабору.

На водозаборах підземних вод зовнішня межа *другого* поясу встановлюється на відстані від водозабору розрахунковим шляхом виходячи з умов втрати життєдіяльності патогенними мікроорганізмами, що для ґрунтових вод становить 400 діб, для міжпластових вод 100–200 діб.

У межах другого поясу забороняється розміщувати кладовища, скотомогильники, поля асенізації та фільтрації, системи зрошування стічними водами, гноєсховища, полігони твердих відходів, біологічні ставки та мулові майданчики, тваринницькі та птахівничі підприємства, влаштовувати літні табори для худоби та випасати її не ближче ніж 300 м від берега водного об'єкта, осушувати та розорювати землі, провадити садівництво та городництво.

Межа *третього* поясу на водотоках і водоймах по акваторії поєднується з межею другого поясу, а по суходолу становить 3–5 км від урізу води.

Для водозаборів підземних вод межа третього поясу визначається розрахунковим шляхом виходячи з терміну потрапляння хімічного забруднення до водозабору за період його експлуатації, але не менш ніж за 25 років.

У межах зони санітарної охорони джерел водопостачання забороняється застосування пестицидів і мінеральних добрив, вирубка дерев, скидання стічних вод, що не відповідають санітарним нормам і правилам, розміщення складів пально-мастильних матеріалів, пестицидів і мінеральних добрив, накопичувачів промислових стічних вод, нафтопроводів, шламосховищ, звалищ твердих побутових та промислових відходів, розробка надр, видобування піску та гравію, днопоглиблювальні роботи.

У зоні санітарної охорони джерел водопостачання здійснюється постійний моніторинг за станом довкілля. Водогони, що проходять незабудованою територією, також мають мати санітарно-захисну смугу, ширина якої становить 10–50 м залежно від діаметра труби та вологості ґрунтів. На забудованих територіях ширина санітарно-захисної зони встановлюється згідно з особливостями забудови. У межах санітарно-захисної зони водогонів не повинні розміщуватися джерела забруднення ґрунтів та ґрунтових вод. Забороняється прокладання водогонів по звалищах відходів, полях фільтрації та зрошення, кладовищах, скотомогильниках, територіях підприємств.

Перш ніж потрапити з джерел до мережі централізованого господарсько-питного водопостачання вода має пройти необхідну водопідготовку й набути складу та властивостей, зазначених у ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до

води питної, призначеної для споживання людиною. Склад питної води контролюється за мікробіологічними, хімічними та органолептичними показниками, а також за радіаційною безпекою.

У питній воді не повинні виявлятися кишкові палички фекальних коліформ, коліфаги, патогенні мікроорганізми, гельмінти. Нормується вміст таких речовин, як барій – 0,1 мг/л, арсен – 0,01 мг/л, селен – 0,01 мг/л, свинець – 0,01 мг/л, нікель – 0,1 мг/л, фтор – 1,5 мг/л, мідь – 1,0 мг/л, марганець – 0,1 мг/л, залізо – 0,3 мг/л. Для деяких показників встановлено певний гранично допустимий інтервал залежно від конкретних умов, що склалися: загальна мінералізація – 1 000–1 500 мг/л, сульфати – 250–500 мг/л, хлориди – 250–350 мг/л, алюміній – 0,2–0,5 мг/л. Нормується вміст речовин, які можуть утворитися під час хлорування води: хлорфеноли – 0,000 3 мг/л, хлороформ – 0,06 мг/л, дібромхлорметан – 0,01 мг/л, тетрахлорвуглець – 0,002 мг/л.

Радіаційна безпека питної води визначається гранично допустимими рівнями: альфа-випромінювання – 0,1 Бк/л, бета-випромінювання – 1,0 Бк/л.

Контроль за якістю питної води, станом і якістю води джерел питного водопостачання здійснюється санітарно-епідеміологічною службою.

## **2 ДЖЕРЕЛА ВПЛИВУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ**

### **2.1 Класифікація джерел впливу на поверхневі водні об'єкти**

Забруднення вод – це процес змінювання складу та властивостей води у водному об'єкті внаслідок появи та накопичення у воді домішок, що призводить до порушення норм якості води. Забруднюючі домішки можуть надходити до водного об'єкта як зовні, так і утворюватися в самому водному об'єкті. Забруднюючі речовини або енергія (теплова, іонізуюче випромінювання), що надходять від зовнішніх джерел, називаються

алохтонними забруднювачами, ті, що утворюються в самому водному об'єкті, – автохтонними.

Основним зовнішнім джерелом забруднення природних вод є надходження до водного об'єкта зворотних вод: стічних, шахтних, кар'єрних, дренажних, поверхневого стоку. Певна частина забруднюючих речовин може надходити з атмосферного повітря, забрудненого пилогазовими викидами.

Забруднення підземних вод може статися внаслідок фільтрації забруднюючих речовин з накопичувачів рідких відходів, зі звалищ побутових та промислових відходів та інших забруднених територій.

Автохтонне забруднення створюють як мінеральні, так і органічні речовини. Мінеральні речовини надходять до природних вод при вимиванні надр під час протікання поверхневого чи підземного потоку. Основну масу органічних речовин в природні води надає детрит – продукт розкладу водоростей та гідробіонтів.

Таким чином, процес забруднення природних вод відбувається постійно як з алохтонних, так і з автохтонних джерел. Процесам забруднення відповідно протистоять процеси самоочищення природних вод, унаслідок чого водні об'єкти перебувають у стані, придатному для водокористування.

## **2.2 Утворення господарсько-побутових та міських стічних вод**

Відходи життєдіяльності людини, вода, використана для побутових потреб і в технологічних процесах, а також дощові та талі води з міської території видаляють за допомогою системи водовідведення (каналізації), яка діляться на внутрішню та зовнішню.

Внутрішня система каналізаційної мережі – це труби та сантехнічне обладнання, що розташовані в житлових та виробничих приміщеннях. Зовнішня мережа водовідведення починається з першого каналізаційного колодязя, що розміщується за межами приміщення або за парканом підприємства.

У системах водовідведення господарсько-побутові стічні води змішуються з виробничими, а іноді й з поверхневим стоком, утворюючи таким чином міські стічні води, які системою водовідведення подаються на загальноміські очисні споруди.

Системи водовідведення складаються з таких основних елементів: каналізаційні колектори з колодязями на них, регулюючі резервуари, насосні станції і напірні трубопроводи, очисні споруди, випуски очищених стічних вод у водні об'єкти, аварійні випуски стічних вод. Системи водовідведення розподіляються на загальносплавні, роздільні та комбіновані. Своєю чергою, роздільні системи розподіляються на повні роздільні, неповні роздільні та напівроздільні.

Дощові випуски влаштовуються так, щоб виключити можливість переповнення головного колектора під час сильного дощу.

Конструкція і розміщення дощових випусків забезпечують їхній вступ у роботу, тобто скидання вод до водного об'єкта відбувається не раніше, ніж через 30 хвилин після початку інтенсивного дощу. За цей час найбільш забруднена частина поверхневого стоку з міської території по загальносплавному колектору надходить на міські очисні споруди, а менш забруднена частина при наповненні головного колектора – безпосередньо у водний об'єкт. Одночасний випуск неочищених стічних вод у річку пов'язаний із її можливим забрудненням, тому розміри вихідних отворів дощових випусків і, відповідно, витрата неочищених вод, що скидаються через них, визначаються виходячи з асимілюючої здатності водного об'єкта – приймача стічних вод.

Господарсько-побутові стічні води подаються на загальноміські очисні споруди, де відбувається їх очищення до ступеня, що задовольняє умови скидання у водні об'єкти.

Очищення виробничих стічних вод здійснюється на локальних очисних спорудах певного промислового об'єкта або групи об'єктів, де вони утворилися. Після очищення виробничі стічні води можуть бути використані для технічного водопостачання, подані на загальноміські очисні споруди для

доочищення або скинуті у водний об'єкт. Талі та дощові води по колектору дощової каналізації подаються на очищення і далі використовуються для технічного водопостачання або скидаються у водні об'єкти.

### **2.3 Поверхневий стік з міської території і територій промислових підприємств**

Поверхневий стік є одним з видів зворотних вод, що утворюється з дощу, талого снігу та при митті вулиць і майданів.

Поверхневий стік поділяється на організований, який потрапляє в міську каналізаційну мережу, та неорганізований, який стікає по рельєфу місцевості. У наш час, коли скидання стічних вод в межах міста заборонено і всі стічні води мають очищуватися, поверхневий стік стає основним забруднювачем міських водних об'єктів, із яким надходить до 80 % забруднень.

Головними джерелами забруднення поверхневого стоку на міських територіях є:

- сміття з поверхні покриттів;
- продукти руйнування дорожніх покриттів;
- продукти ерозії ґрунтових поверхонь;
- викиди речовин в атмосферу промисловими підприємствами, автотранспортом, опалювальними системами;
- протоки нафтопродуктів на поверхні покриттів.

Для поверхневого стоку характерна епізодичність його надходження, мінливість витрати й рівня забруднення. Серед забруднювачів переважають завислі речовини.

Вміст завислих речовин у поверхневому стоку залежить від стану і різновиду міської території (табл. 2.1). Найбільший рівень забруднення спостерігається на будівельних майданчиках та на територіях торговельних центрів.

Таблиця 2.1 – Вміст завислих речовин у поверхневому стоку з території міста залежно від типу міської території

Тип міської території	Вміст завислих речовин, г/м <sup>3</sup>	
	дощовий стік	сніговий стік
Сучасна житлова забудова	1 400–1 500	2 500
Недостатньо упоряджені території з переважанням садибної забудови	1 800–2 500	2 000
Центральні упоряджені райони міста з інтенсивним дорожнім рухом	1 700–2 200	3 000
Житлова забудова з високим рівнем благоустрою і регулярного механізованого прибирання дорожніх покриттів	300–1 000	відсутність через вивіз снігу
Райони, що включають промислові підприємства і житлові квартали	1 700–2 500	4 000
Будівельні майданчики, житлові райони на території, схильній до ерозії	4 000–6 000	–

Нафтопродукти потрапляють у поверхневий стік з проїжджої частини вулиць та автомагістралей.

Водночас дощові води відрізняються порівняно меншою мінералізацією, ніж річкові або підземні, що надає перевагу поверхневому стоку при використанні для технічного водопостачання.

Орієнтовні дані про склад поверхневого стоку з міських територій наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Узагальнені дані про склад поверхневого стоку з території міста

Показник	Концентрація, г/м <sup>3</sup>		
	дощові води	снігові води	поливомийні води
Завислі речовини	1 000–2 000	2 000–4 000	3 000–5 000
Мінералізація	300	–	–
ХСК	400–600	750–1 500	–
БСК <sub>5</sub>	50–100	100–300	200 (БСК <sub>повн</sub> )
Нафтопродукти	10–15	30–40	–

Зрозуміло, що поверхневий стік потрапляє до водних об'єктів не повністю. Частина його випаровується та фільтрується у ґрунт. Для визначення втрат поверхневого стоку на шляху до водного об'єкта використовується величина коефіцієнта стоку  $\psi$ :

$$\psi = Q_{п.с.} / Q_{а.о.} , \quad (2.1)$$

де  $Q_{п.с.}$  – обсяг води, що стікає до водного об'єкта з одиниці площі такого виду водозбірної поверхні за одиницю часу;

$Q_{а.о.}$  – обсяг атмосферних опадів, що за одиницю часу потрапляє на одиницю площі.

Значення коефіцієнта стоку для різних типів поверхонь наведені у таблиці 2.3.

Коефіцієнт стоку для поливомийних вод дорівнює 0,6.

Значення коефіцієнта стоку для водозбірної площі розраховується як усереднене за формулою

$$\psi = \sum \alpha_i \psi_i , \quad (2.2)$$

де  $\alpha_i$  – частка площі, що має відповідне покриття, від загальної водозбірної площі;

$\psi_i$  – коефіцієнти стоку для різних видів покриттів.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт стоку для різних типів поверхонь

Тип водозбірної поверхні	Коефіцієнт стоку	
	дощові води	снігові води
Забудовані території	0,6	0,6
Незабудовані території	0,3	0,6
Парки, гравійні покриття	0,3	0,6
Водонепроникні поверхні	0,6–0,8	0,91–0,95
Ґрунтові поверхні	0,2	0,6
Газони, зелені насадження	0,1	0,2

При орієнтовних розрахунках обсягів поверхневого стоку з території невеличких міст або селищ коефіцієнт стоку для дощових вод може прийматися в межах 0,3–0,4, для снігових вод – 0,5–0,7.



Обсяг дощових або снігових вод за рік розраховується за формулою:

$$W = 10 \psi F H, \text{ м}^3/\text{рік},$$

де  $\psi$  – коефіцієнт стоку дощових або снігових вод;

$F$  – площа водозбірної території, га;

$H$  – прошарок опадів за теплий або холодний період року відповідно, мм.

Обсяг поливомийних вод визначається за формулою:

$$W = 10 m k F_m \psi, \text{ м}^3/\text{рік}, \quad (2.3)$$

де  $m$  – витрата води на миття одиниці площі, л/м<sup>2</sup>;

$k$  – кількість мийок за рік;

$F_m$  – площа оброблених покриттів, га;

$\psi$  – коефіцієнт стоку поливомийних вод.

Значення параметрів, що входять у цю формулу, визначають відповідно до таких нормативів:

– на миття 1 м<sup>2</sup> площі витрачається від 1,2 до 1,5 літрів води;

– кількість мийок для умов міста становить від 50 до 150 за рік;

– площа покриттів, що потребують миття, становить 20 % від усієї території міста;

– коефіцієнт стоку поливомийних вод – 0,6.

Якщо на водозбірній території розташовані великі парки або ділянки лісових масивів, частина атмосферних опадів утримується рослинним покривом. Обсяг поверхневого стоку, що затримується рослинністю, визначається за даними, наведеними в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Норми затримки атмосферних опадів рослинністю

Вид рослинності	Шар затриманих рослинністю атмосферних опадів Н <sub>з</sub> , мм												
	Місяці року												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	за рік
Хвойний ліс	10	10	10	18	19	20	25	22	17	16	12	10	189
Листяний ліс	1	1	1	4	10	11	14	12	8	6	4	2	79

Обсяг дощових або снігових вод визначається в цьому випадку за формулою

$$W = 10 \psi F (H - H_z), \text{ м}^3/\text{рік}, \quad (2.4)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт стоку;

$F$  – водозбірна площа, га;

$H$  – шар опадів, що випав, мм;

$H_z$  – шар опадів, що затримані рослинністю, мм.

Загальний обсяг поверхневого стоку з водозбірної території за рік визначається як сума складових:

$$W = W_d + W_c + W_{\text{пм}}, \quad (2.5)$$

де  $W_d, W_c, W_{\text{пм}}$  – обсяги дощових, снігових та поливомийних вод відповідно.

Сумарне значення виносу речовин із поверхневим стоком протягом року

$$G = W_d C_d + W_c C_c + W_{\text{пм}} C_{\text{пм}}, \quad (2.6)$$

де  $C_d, C_c$  і  $C_{\text{пм}}$  – концентрації речовин у дощових, снігових і поливомийних водах відповідно, г/м<sup>3</sup>.

Склад поверхневого стоку визначається аналізом проб. Відбір проб проводиться порційно. Інтервал між відбором проб на початку дощу становить 5–10 хв, а в наступний період – 20–30 хв. Дані про склад дощових вод одержують шляхом аналізу усередненої за період дощу проби.

Для снігових вод проби відбираються в дні сніготанення між 12 і 14 годинами з інтервалом у 30 хвилин.

## **3 ВНУТРІШНЬОВОДОЙМИЩНІ ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД**

### **3.1 Загальні відомості щодо внутрішньоводоймищних процесів формування якості води**

Якість води є наслідком двох основних процесів – потрапляння речовин їх зовнішніх джерел і внутрішньоводоймищних змін, що відбуваються з речовинами внаслідок функціонування водних екосистем.

Екосистема – це єдиний природний комплекс, утворений живими організмами та місцем їх існування, у якому живі й кісткові компоненти зв'язані обміном речовин і енергії. У водній екосистемі відбувається спільне функціонування біотичної спільноти і неживої природи. До того ж нежива природа є джерелом речовини й енергії, необхідних для існування біоти.

Потрапляючи у водний об'єкт із зовнішніх джерел, речовини стають елементами екосистеми і, таким чином, включаються в основні процеси, що відбуваються в екосистемі.

Це, насамперед, процеси *трансформування речовини*. Трансформування речовини може здійснюватися фізичним, хімічним і біологічним шляхом. Речовини, що надходять у водні об'єкти, вносять зміни в їх газовий і сольовий режими, що може призвести до порушення рівноваги екосистем. Унаслідок процесів трансформування речовин, що надійшли, в одному об'єкті може відбуватися відновлення його первинного стану або здійснюватися перехід в інший, стійкий стан.

Процеси, внаслідок яких відновлюється фоновий стан водного об'єкта, називаються процесами *самоочищення*. Самоочищення – це один із процесів,

що формують якість води у водному об'єкті. Основним постачальником речовини та енергії є водна маса.

Іншим процесом, що впливає на формування якості води, є *перенесення речовини та енергії водним потоком*. Унаслідок притаманних водному потоку фізичних особливостей у ньому відбувається безперервний перерозподіл речовини та енергії, обумовлений процесами *перемішування*.

Отже, формування якості води у водному об'єкті можна уявити так:

- 1) розчинені та завислі речовини надходять у водний об'єкт із зосереджених або дифузних джерел;
- 2) під впливом гідравлічних чинників (перенесення і перемішування) відбувається кількісний перерозподіл речовин у водному потоці;
- 3) під впливом фізичних, хімічних і біологічних чинників відбувається якісне трансформування речовин.

Склад води у водних об'єктах формується і постійно змінюється під впливом автохтонних та алохтонних чинників. Процеси забруднення та самоочищення вод відбуваються одночасно.

Склад води водних об'єктів формується здебільшого консервативними речовинами. Він повинен задовольняти умови проживання гідробіонтів і вимоги споживання води для питних та інших потреб людини. Це можна забезпечити шляхом обмеження негативного впливу алохтонних чинників та підвищення позитивного впливу на формування складу природних вод автохтонних чинників.

Однак насамперед потрібно з'ясувати ту межу, за якою вода може стати непридатною як середовище проживання або як споживаний природний ресурс. За цими ознаками визначається якість води водних об'єктів.

### **3.2 Консервативні та неконсервативні речовини**

Здатність зазнавати якісних змін під впливом екосистемних процесів властива не всім речовинам.

Речовини, що надходять до водних об'єктів від джерел забруднення, поділяються на консервативні та неконсервативні.

Консервативні речовини не зазнають деструкції у водному середовищі. Тобто внутрішньоводоймищні процеси не призводять до змінювання маси таких речовин, а впливають тільки на їх перерозподіл у водному об'єкті, що спричиняє змінювання концентрації на окремих його ділянках.

Неконсервативні речовини зазнають у водному середовищі деструкції під впливом фізичних, хімічних та біологічних чинників. Таким чином, змінюється маса неконсервативних речовин.

Характеристикою, що кількісно визначає здатність речовини зазнавати трансформування, є коефіцієнт неконсервативності ( $K$ ), який визначає швидкість зменшення маси речовини у воді.

Неконсервативні речовини поділяються на м'які, що швидко окислюються у воді ( $K > 0,13$  1/добу), жорсткі, що важко піддаються біохімічному окисленню ( $K < 0,025$  1/добу), і проміжні ( $0,025 \leq K \leq 0,13$  1/добу).

### **3.3 Гідравлічні процеси формування якості води**

Природна вода є розчином зі складним хімічним складом. Вода є тим фізичним середовищем, у якому водна екосистема здійснює кругообіг речовини і енергії. Крім того, для консервативних речовин гідравлічні процеси є єдиними із внутрішньоводоймищних, що впливають на їх концентрацію.

Різновид перенесення речовини потоком залежить від виду руху рідини, який, зі свого боку, визначається типом водного об'єкта і його гідравлічними характеристиками. У водотоках істотну роль у формуванні якості води відіграє конвективне перенесення.

Реальні водотоки є безнапірними турбулентними потоками, рух води в яких у сталих умовах нерівномірний. Це пояснюється непризматичністю русел реальних водотоків. Проте розрахункові залежності для нерівномірних потоків досить складні і незручні для практичного використання, тому в інженерно-

екологічних розрахунках припускають, що на окремих ділянках водотоків рух води рівномірний.

Складнішим завданням є врахування ефекту турбулентності. Відмінною ознакою турбулентного режиму течій є пульсація швидкостей, тобто безперервне їх змінювання в кожній точці потоку за величиною і напрямом. Основними джерелами виникнення турбулентності є зони розриву швидкостей, тобто такі області, де спостерігається різкий стрибок швидкостей між прилеглими шарами рідини. Пульсаційний рух обумовлює обмін між сусідніми шарами рідини. Цей процес отримав назву турбулентного перемішування. Турбулентне перемішування завжди спрямоване на вирівнювання концентрацій або температур. Оскільки цей процес за своїм результатом аналогічний до процесу молекулярної дифузії, то турбулентне перемішування називають також турбулентною дифузією.

Турбулентна дифузія призводить до перемішування забруднених струменів рідини із суміжними, чистішими. Результатом цього процесу є розбавлення стічних вод основним потоком. Інтенсивність і різновид перемішування стічних вод із водою водних об'єктів залежить від гідравлічних характеристик водного об'єкта, кількості і способу надходження стічних вод. Спосіб надходження стічних вод визначається типом випуску.

### **3.4 Самоочищення водних об'єктів**

Самоочищення природних вод – це процес розкладу та виведення з водного середовища забруднюючих речовин, унаслідок чого зберігається екологічне благополуччя водного об'єкта. Самоочищення відбувається внаслідок взаємодії механічних, фізичних, хімічних, фізико-хімічних та біологічних чинників.

До *механічних* чинників можна віднести перемішування та розбавлення стічних вод водою водного об'єкта, подрібнення завислих речовин, їх осадження (седиментація), фільтрацію забруднених вод крізь донні шари.

*Фізичні* чинники самоочищення: температура, сонячна радіація, газообмін між атмосферним повітрям і водною масою.

*Фізико-хімічні* чинники: розчинення мінеральних та органічних речовин, сорбція розчинених органічних домішок поверхнею завислих речовин, тіл гідробіонтів, донними відкладеннями.

*Хімічні* чинники: реакції окислення домішок розчиненим у воді киснем, хімічні реакції речовин, утворення комплексних нерозчинних сполук.

*Біологічні* чинники: біофільтрація, мінералізація органічних сполук, фотосинтетична аерація – реаерація, біоаккумуляція, біодетоксикація.

Біофільтрацію здійснюють двійчасті молюски, планктонні ракоподібні та інші організми-фільтрати, які пропускають крізь своє тіло воду і вилучають, таким чином, завислі речовини, деякі розчинені органічні та мінеральні сполуки, використовуючи ці речовини для свого годування. Відходи життєдіяльності цих організмів у вигляді слизуватих грудок осідають на дно.

Гідробіонти здатні накопичувати вилучені з води речовини. Така їх властивість називається біоаккумуляцією. Вміст забруднюючих речовин в організмах гідробіонтів (коефіцієнт накопичення) при проходженні за трофічними ланками збільшується на декілька ступенів. Зокрема, у водоростях коефіцієнт накопичення дорівнює 5, у гіллястовусих рачків – 10, у дрібних риб від 100 до 1 000, у риб-хижаків – до 10 тисяч.

Завдяки біоаккумуляції у водному середовищі зменшується вміст завислих та розчинених органічних та мінеральних речовин. При відмиранні гідробіонтів деяка частина речовин повертається у воду, але більшість із них під впливом ферментації руйнується і переходить у нетоксичну форму.

Деструкція і біоконцентрація токсичних речовин у водному середовищі внаслідок життєдіяльності гідробіонтів називається біодетоксикацією.

Мінералізація органічних речовин у воді відбувається завдяки життєдіяльності, насамперед, бактерій. Це дає змогу визначати якість води за бактеріологічними показниками, наприклад, за загальною чисельністю бактеріопланктона, бактерій групи кишкових паличок (колі-титр і колі-індекс)

та сапрофітів. Збільшення чисельності бактерій у пробах води свідчить про збільшення забруднення. Зокрема, наявність у воді кишкової палички свідчить не тільки про фекальне забруднення, але й про підвищення вмісту органічних речовин унаслідок відмирання фітопланктону та вищої водної рослинності.

Фотосинтетична аерація – це насичення води киснем, що виділяється під час фотосинтезу водних рослин. Для цього процесу доцільно використовувати хлорококові водорості-синтетики.

Послідовний процес самоочищення у водотоках супроводжується відповідним змінюванням сапробності.

За наявності течії важливу роль у процесах самоочищення відіграють прикріплені форми гідробіонтів – перифітон, який складається з нитчастих водоростей, макрофітів і зообентосу. Перифітон укриває поверхню споруд, предметів та рослин, що занурені у воду.

Зокрема, переважаючим чинником в самоочищенні водних об'єктів є біологічний, але цей чинник є і найбільш уразливим. Значне надходження у водні об'єкти токсичних речовин, нестача кисню можуть призвести до порушення здатності природних вод до самоочищення.

### **3.5 Евтрофування водних об'єктів. Алохтонні та автохтонні чинники**

Під евтрофуванням розуміють гіперпродукцію органічної речовини у водному об'єкті під дією зовнішніх (алохтонних) і внутрішньоводоймищних (автохтонних) чинників. Евтрофування є однією із серйозних екологічних проблем, з якою стикаються майже всі розвинені країни. Унаслідок антропогенного введення біогенних речовин у водні об'єкти відбувається різке пришвидшення евтрофування. Особливо інтенсивно процеси евтрофування відбуваються на урбанізованих територіях, що спричинило одну з їхніх найбільш характерних ознак, властивих міським водним об'єктам.

Основним механізмом природного процесу евтрофування є замулювання водоймищ. Антропогенне евтрофування відбувається внаслідок надходження у



воду надлишкової кількості біогенних елементів унаслідок господарської діяльності. Значний вміст біогенів стимулює автотрофну гіперпродукцію органічної речовини. Результатом цього процесу є цвітіння води унаслідок надмірного розвитку альгофлори. Серед біогенних елементів, що надходять у воду, найбільший вплив на процеси евтрофування мають азот і фосфор, оскільки їх вміст і співвідношення регулюють швидкість первинного продукування. Інші біогенні елементи зазвичай містяться у воді в достатніх кількостях і не впливають на процеси евтрофування. Для озер елементом, що лімітує, зазвичай є фосфор, а для водотоків – азот.

Трофічність водного об'єкта відповідає рівню потрапляння органічної речовини або рівню його продукування за одиницю часу і, таким чином, є наслідком одночасного впливу органічної речовини, що утворилася при фотосинтезі та надійшла ззовні. За рівнем трофічності виокремлюють два типи водних об'єктів – оліготрофні й евтрофні.

Для класифікації трофічних типів вод рекомендовано використовувати саме первинну продукцію. Але внаслідок важкості практичного визначення цього показника на практиці як критерії трофічності стали застосовувати:

- показники, які прямо або опосередковано характеризують величину первинної продукції – чисельність і біомаса фітопланктону, швидкість фотосинтезу, концентрація хлорофілу тощо;

- абіотичні умови, що визначають цю величину – навантаження чи концентрація азоту та фосфору, водообмін, температура, співвідношення поверхні водного дзеркала та глибини тощо.

Екологічний стан більшості водойм визначається фітопланктоном і залежить від низки фізичних (освітленість, температура, швидкість потоку), хімічних (розчинений кисень, біогенні елементи) і біологічних чинників евтрофування.

### 3.6 Шкідливий вплив вод

До шкідливого впливу вод належать явища і процеси, які відбуваються при прямій або опосередкованій участі вод і завдають збитків навколишньому середовищу, населенню або господарським об'єктам.

Шкідливими є:

- повені, що призвели до затоплення або підтоплення земель та населених пунктів;
- аварії гідротехнічних споруд;
- руйнування берегів, захисних дамб та інших споруд;
- заболочування, підтоплення і засолення земель, спричинені підвищенням рівня ґрунтових вод внаслідок ненормованої подачі води під час зрошення, створення ставків та водосховищ, витікання води з водопровідно-каналізаційних систем тощо;
- селеві потоки;
- затоплення і підтоплення земель в районах видобування корисних копалин, а також після закінчення експлуатації родовищ та їх консервації;
- водна ерозія ґрунтів;
- утворення ярів, зсувів, карстових воронки тощо.

До шкідливого впливу вод можуть бути також віднесені аварійне, навмисне або непередбачуване забруднення водних об'єктів, що призвело до замору риби або необхідності припинення водопостачання з цих водних об'єктів.

Державні та місцеві органи влади, господарчі об'єкти здійснюють відповідні заходи щодо запобігання шкідливому впливу вод, а якщо таке вже відбулося, негайно інформують населення і розпочинають ліквідацію наслідків стихійного лиха або аварії.

Розглянемо основні заходи щодо попередження та запобігання шкідливому впливу вод.

Основним заходом щодо запобігання руйнівним наслідкам повеней є

будівництво водосховищ. Менш кардинальним, але й менш витратним заходом є підвищення берегів у понижених місцях шляхом будівництва захисних дамб.

Аварії гідротехнічних споруд відбуваються внаслідок розмиву греблі (дамби) або порушення її контакту з підвалинами.

Руйнування та розмивання греблі може відбуватися при землетрусах, сильних повенях, унаслідок фільтрації води крізь греблю, старіння матеріалів, похибок при проектуванні, а також при терактах або бомбардуванні.

Основним заходом протидії аваріям вважається постійний контроль та оцінка стану гідротехнічних споруд і дотримання правил експлуатації гідровузлів.

Захист берегів та дамб від хвильового розмиву здійснюється за допомогою залізобетонних конструкцій, кам'яного накиду, фашин, деревинно-чагарникових насаджень.

Система горизонтального та вертикального дренажу є надійним захистом проти підтоплення та заболочування території.

Засолення земель можна уникнути, якщо не використовувати для зрошення надмірно мінералізованої води, а також за допомогою системи сівозмін із включенням галофільних культур.

Людство отримало урок через чисельні руйнування та жертви, спричинені селями. На шляху селевих потоків збудовані міцні дамби, які перехоплюють сіль і залишають його в так званій «селевій кишені».

Після закінчення експлуатації родовищ корисних копалин необхідно організувати відведення шахтних і кар'єрних вод, а за необхідності – із відповідним очищенням.

Комплекс протиерозійних заходів, який включає створення полезахисних смуг, оранку ґрунтів упоперек ухилу тощо, сприяє протидії ґрунтової ерозії та утворенню яруг.

На кожному підприємстві та об'єкті розроблено план заходів на випадок виникнення аварійної ситуації.

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

### 4.1 Прогноз якості води на заданій відстані від випуску стічних вод за методом Фролова – Родзіллера

Найважливішим чинником, що визначає концентрацію речовини в контрольному створі при випуску стічних вод у водний об'єкт, є розбавлення стоків основним потоком. Причина розбавлення – турбулентність. Залежно від джерел турбулентності розрізняють основне і початкове розведення.

Основне розведення відбувається шляхом перемішування, що є наслідком турбулентності основного потоку (водотоку). Оскільки всі природні водотоки є турбулентними потоками, основне розведення існує завжди.

Причиною початкового розведення є додаткова турбулентність, що виникає на межі струменя стічних вод і основного потоку. Ця додаткова турбулентність спричиняється різницею швидкостей руху цих двох потоків. Початкове розведення підсилює основне, проте для його виникнення потрібні певні умови.

Величина розведення оцінюється *кратністю розведення*:

$n_o$  – кратність основного розведення (див. розділ 4.1.1);

$n_n$  – кратність початкового розведення (див. розділ 4.1.2).

Загальна кратність розведення визначається, як

$$n = \min(n_{розр}; n_{повн}), \quad (4.1)$$

де  $n_{розр}$  – розрахункова величина кратності розведення:

$$n_{розр} = n_o \cdot n_n, \quad (4.2)$$

де  $n_{повн}$  – повна кратність розведення:

$$n_{повн} = 1 + \frac{Q_{\phi}}{Q_{ст}}. \quad (4.3)$$

Початковими даними для розрахунку кратності розведення є такі: затверджена для розрахунку витрата стічних вод  $Q_{cm}$ , мінімальна середньомісячна витрата року 95 %-ї водної забезпеченості  $Q_{cm}$ , відповідні глибина і швидкість потоку.

Якщо  $C_{cm} > C_{\phi}$ , максимальна величина показника в контрольному створі визначається за формулою Фролова – Родзіллера:

$$C = C_{\phi} + \frac{C_{cm} - C_{\phi}}{n} \quad (4.4)$$

Якщо  $C_{cm} \leq C_{\phi}$ , то

$$C = C_{\phi}.$$

На деякій відстані від місця випуску стічних вод у водотік відбувається вирівнювання концентрацій за всією шириною водотоку. Створ, де концентрація вирівнялася, називається *створом повного перемішування*.

Концентрація забруднюючої речовини в створі повного перемішування визначається за попередньою формулою і після низки перетворень виглядає так:

$$C = \frac{C_{\phi} \cdot Q_{\phi} + C_{cm} \cdot Q_{cm}}{Q_{\phi} + Q_{cm}} \quad (4.5)$$

#### 4.1.1 Визначення кратності основного розведення

Кратність основного розведення визначається за формулою

$$n_o = \frac{Q_{cm} + Q_{cm}}{Q_{cm}} \quad (4.6)$$

де  $Q_{cm}$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{зм}$  – витрата змішання – частина витрати основного потоку, яка приєдналася до витрати стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$$Q_{зм} = \gamma \cdot Q_{\phi} \quad (4.7)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт змішання,

$Q_\phi$  – витрата основного потоку, м<sup>3</sup>/с (розрахункова витрата – витрата 95 %-ї забезпеченості);

$$n_o = \frac{Q_{cm} + \gamma \cdot Q_\phi}{Q_{cm}}. \quad (4.8)$$

Коефіцієнт змішування може змінюватися в діапазоні від 0 до 1.

Відсутності розведення ( $\gamma = 0$ ) відповідає кратність розведення  $n_o = 1$ .

Відповідно, при  $\gamma = 1$  отримуємо максимальну для цього водотоку і випуску стічних вод кратність розведення.

Величина коефіцієнта змішування визначається так:

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q_\phi}{Q_{cm}} \cdot \beta}, \quad (4.9)$$

$$\beta = e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}, \quad (4.10)$$

де  $L$  – відстань від місця випуску до цього створу, м;

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{cm}}}, \quad (4.11)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт, що характеризує тип випуску стічних вод ( $\xi = 1$ , якщо випуск стічних вод здійснюється біля берега;  $\xi = 1,5$ , якщо випуск здійснюється в русло річки);

$\varphi$  – коефіцієнт звивистості русла річки,  $\varphi = 1-1,7$ ;

$$\varphi = \frac{L}{L_{np}}, \quad (4.12)$$

де  $L_{np}$  – відстань по прямій від випуску стічних вод до створу, м;

$D$  – величина, що характеризує турбулентні властивості основного потоку – коефіцієнт турбулентної дифузії, та визначається за формулою Караушева:

$$D = \frac{g \cdot V_n \cdot h}{37 \cdot n_{uu} \cdot Sh^2}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (4.13)$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$V_n, h$  – середні за перетином водотоку швидкість і глибина;

$n_{uu}$  – коефіцієнт шорсткості русла водотоку (визначається за таблицями на підставі якісного опису характеристик русла,  $n_{uu} = 0,025\text{--}0,130$ );

$Sh$  – коефіцієнт Шезі, що розраховується за формулою Павловського:

$$Sh = \frac{R^y}{n_{uu}}, \quad \frac{\sqrt{M}}{c}, \quad (4.14)$$

де  $R$  – гідравлічний радіус, м (для широких водотоків  $R \approx h$ ).

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n_{uu}} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n_{uu}} - 0,1). \quad (4.15)$$

Визначення відстані, при якій відбувається повне перемішування:

$$L = \left\{ \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left[ \frac{Q_{cm} + \gamma \cdot Q_{\phi}}{(1-\gamma) \cdot Q_{cm}} \right] \right\}^3, \text{ м}. \quad (4.16)$$

Вважається, що створ достатньо повного перемішування ( $\gamma = 0,90\text{--}0,95$ ) відповідає створу повного перемішування.

#### 4.1.2 Визначення кратності початкового розведення

Початкове розведення існує не завжди. Оскільки виникнення початкового розведення залежить від інтенсивності турбулентних завихрень, які, своєю

чергою, залежать від різниці швидкостей виток стічних вод з водовипуску і швидкості основного потоку, то для цього необхідне виконання двох умов:

- абсолютна швидкість виток стічних вод повинна бути не менше 2 м/с, тобто  $V_{ст} > 2 \text{ м/с}$ ;
- швидкість виток стічних вод повинна більш ніж в 4 рази перевищувати швидкість основного потоку, тобто  $V_{ст} \geq 4 \cdot V_{ф}$ .

Якщо одна з умов порушується, то початкове розведення відсутнє. В цьому разі  $n_n = 1$ .

Різновид початкового розведення значною мірою визначається випуском стічних вод. Розрізняють два основні типи випуску стічних вод – берегові та руслові.

Руслові водовипуски можуть бути зосередженими (один оголовок) і розсіювальними (декілька оголовків). Вони зазвичай виводяться в русло річки й ближче до поверхні, оскільки там найбільша швидкість. Берегові водовипуски розташовані в межах берегової смуги. Вони всі зосередженого типу.

Характеристиками розсіювального водовипуску є:

- кількість оголовків  $N$ ;
- діаметр оголовка  $d_o$ , м;
- відстань між оголовками  $l_1$ , м.

Характеристикою зосередженого водовипуску є діаметр оголовка  $d_o$ , м.

Отже, якщо умови початкового розведення існують, то виконується розрахунок його величини за методом Лапшева. Порядок розрахунку дещо відрізняється для зосереджених і розсіювальних випусків:

1. Для зосередженого водовипуску.

Кратність початкового розведення визначається за формулою

$$n_n = \frac{0,248}{1-m} \cdot \bar{d}^2 \cdot \left[ \sqrt{m^2 + 8,1 \cdot \frac{1-m}{\bar{d}^2}} - m \right] \cdot f, \quad (4.17)$$

де  $m$  – співвідношення швидкісних напорів:



$$m = \frac{\rho_{\phi} \cdot V_{\phi}}{\rho_{cm} \cdot V_{cm}}, \quad (4.18)$$

де  $\rho_{\phi}$  і  $\rho_{cm}$  – відповідно, щільність води водного об'єкта і стічних вод; здебільшого  $\rho_{\phi} = \rho_{cm}$ , тому

$$m = \frac{V_{\phi}}{V_{cm}}. \quad (4.19)$$

Оскільки  $V_{cm} > 4V_{\phi}$ , то  $m < 0,25$ .

$\bar{d}$  – відносний діаметр струменя, м, що дорівнює

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{7,465}{\Delta V_m \cdot [\Delta V_m \cdot (1-m) + 1,92 \cdot m]}}; \quad (4.20)$$

де

$$\Delta V_m = \frac{0,15}{V_{cm} - V_{\phi}}. \quad (4.21)$$

Абсолютний діаметр струменя  $d$  – діаметр зони на межі початкового розведення, м, що розраховується за формулою

$$d = d_o \cdot \bar{d}. \quad (4.22)$$

У місці випуску стічних вод  $d = d_o$ . У процесі віддалення струменя від випуску здійснюється його розширення у вигляді конуса. Ділянка водотоку, де швидкість стічних вод на осі струменя порівнюється зі швидкістю основного потоку (річки), вважається моментом, коли початкове розведення зникає – межа зони початкового розведення.

У міру розширення струменя його діаметр  $d$  може перевищувати глибину водотоку. При цьому знижується інтенсивність турбулентного потоку, а отже, кратність початкового розведення. Цей процес враховується за допомогою коефіцієнта стискання струменя  $f$ :

$d < h$  – струмінь не стискається і  $f = 1$ ;

$d > h$  – відбувається стискання струменя і  $f$  визначається за графіком або за формулою

$$f = 1,825 \cdot \frac{h}{d} - 0,781 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^2 - 0,0038. \quad (4.23)$$

Розраховане за цією методикою  $n_n$  може бути менше ніж 1. Оскільки мінімальна величина кратності розведення дорівнює одиниці, приймають, що  $n_n = 1$ .

*2. Для розсіювального водовипуску.*

Розсіювальний водовипуск дозволяє проводити випуск за всією шириною річки. Максимальний діаметр струменя  $d$ , м, визначається відстанню між оголовками й дорівнює їй, тобто  $d = l_1$ .

Відносний діаметр струменя  $\bar{d}$ , м, визначається за формулою

$$\bar{d} = \frac{d}{d_o} = \frac{l_1}{d_o}. \quad (4.24)$$

Далі визначають  $m$ ,  $f$  і  $n_n$  за зазначеною вище методикою для зосередженого випуску.

#### 4.1.3 Методика підбору параметрів водовипуску для забезпечення початкового розведення

*1. Для розсіювального водовипуску.*

При розрахунку параметрів розсіювального водовипуску необхідно дотримуватися двох умов відповідно до розрахунку швидкості закінчення стічних вод ( $V_{ст} > 2$  м/с і  $V_{ст} \geq 4 \cdot V_{ф}$ ).

Труба-розсіювач повинна бути не більше 0,9 ширини водотоку:

$$l = 0,9 B, \quad (4.25)$$

де  $B$  – ширина річки в найменш маловодний період, м.

$$B = Q_{\phi} / (h V_{\phi}). \quad (4.26)$$

Відстань між оголовками:

$$l_1 = h + 0,5, \quad (4.27)$$

де  $h$  – глибина водотоку, м;  
 $0,5$  – технологічний запас.

Кількість оголовків:

$$N = \frac{l}{l_1}. \quad (4.28)$$

Діаметр оголовка, м:

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{cm}}{\pi \cdot V_{cm} \cdot N}}. \quad (4.29)$$

Швидкість стічних вод ( $V_{cm}$ ) має відповідати зазначеним вище умовам.

За конструктивними міркуваннями потрібно дотримуватися таких умов:  $d_o > 0,1$  м, градація діаметра відбувається через кожні **5 см**, тобто  $d_o = 0,10; 0,15; 0,20; 0,25$  м і т. д.

Таким чином, отриманий діаметр має бути наближений до величини, що закінчується на 0 або 5. Проте необхідно стежити, щоб швидкість витoku стічних вод завжди задовольняла зазначені вище вимоги. У разі потреби

збільшення діаметру  $d_o$  до необхідної величини швидкість витoku  $V_{cm}$  можна утримати на необхідному рівні, зменшуючи кількість оголовків  $N$ .

2. Для зосередженого водовипуску.

При розрахунку параметрів зосередженого водовипуску необхідно дотримуватися двох умов відповідно до розрахунку швидкості витoku стічних вод ( $V_{ct} > 2 \text{ м/с}$  і  $V_{ct} \geq 4 \cdot V_{\phi}$ ), а також конструктивних умов для визначення діаметра водовипуску ( $d_o > 0,1 \text{ м}$ , градація діаметра відбувається через кожні 5 см).

Діаметр оголовка визначається за формулою

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{cm}}{\pi \cdot V_{cm}}} . \quad (4.30)$$

Якщо при  $d_o = 0,1 \text{ м}$  значення швидкості витoku стічних вод не задовольняє наведені вище вимоги, то початкового розведення немає, отже  $n_H = 1$ .

## 4.2 Модель Стрітера – Фелпса

Через фізичні відмінності, закономірності змінювання концентрації розчиненого кисню (РК) у воді не можна описати за допомогою рівняння Фролова – Родзиллера. Ці закономірності визначають на основі балансу РК у водних об'єктах, а саме джерел його надходження і поглинання.

Джерела РК в річках:

- реаерація з атмосфери;
- фотосинтетичне виробництво  $O_2$ ;
- РК у вхідних водних об'єктах або стічних водах.

Поглиначі РК в річках:

- окислення вуглецевмісних відходів;
- окислення азотистих відходів;
- потреба осаду в кисні;
- вживання кисню для дихання водними рослинами.

Прогноз величини вмісту розчиненого кисню в поверхневих водах можна здійснити на основі математичної моделі Стрітера – Фелпса. У цій моделі враховують два ключові процеси:

- джерело РК – реаерація з атмосфери;
- поглинання РК – окислення органічної речовини (вуглецевої), чисельною характеристикою якого є величина БСК.

Ця модель справедлива при таких припущеннях:

- витрата і гідравлічні характеристики потоку постійні;
- у водному об'єкті дотримується режим повного перемішування.

Система рівнянь Стрітера – Фелпса для турбулентного потоку записується у такому вигляді:

$$E \frac{d^2 L}{dx^2} - v \frac{dL}{dx} - k_1 L + f = 0; \quad (4.31)$$

$$E \frac{d^2 D}{dx^2} - v \frac{dD}{dx} - k_2 D + k_1 L - r = 0, \quad (4.32)$$

де  $E$  – коефіцієнт поздовжньої дисперсії,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$L$  – величина БСК,  $\text{гО}_2/\text{м}^3$ ;

$D$  – величина дефіциту кисню,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$k_1$  і  $k_2$  – величини коефіцієнта неконсервативності для БСК і коефіцієнта реаерації відповідно,  $1/\text{с}$ ;

$f$  і  $r$  – інтенсивність зовнішнього потрапляння органічних речовин в одиницях БСК і розчиненого кисню відповідно,  $\text{г}/\text{м}^3 \text{с}$ .

Під дефіцитом кисню розуміють різницю між величиною концентрації насичення  $C_s$  і концентрації розчиненого кисню  $S$ .

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р. // Офіц. вісн. України. – 2022. – № 99. – Ст. 6244.
2. Ломницька Я. Ф. Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля : навч. посіб. / Я. Ф. Ломницька, В. О. Василечко, С. І. Чихрій. – 2-ге вид. – Львів : Новий Світ-2000, 2019. – 589 с.
3. Гідроекологія : підручник / М. О. Клименко, Ю. В. Пилипенко, Ю. Р. Гроховська та ін. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. – 380 с.
4. Multi-tracing of recharge seasonality and contamination in groundwater: a tool for urban water resource management / Y. Vystavna, S. Schmidt, D. Diadin, P. Rossi, Y. Vergeles, M. Erostate, I. Yermakovych, V. Yakovlev, K. Knoller, I. Vadillo // Water Research. – 2019. – Vol. 161. – P. 413–422.
5. Capacity of urban springs to support emergency water needs, a Secondary City case study: Kharkiv, Ukraine / D. Davis, D. Diadin, A. Shores, O. Khandogina, M. Laituri // Urban Water Journal. – 2020. – Vol. 17:4. – P. 368-376.
6. Проблема забруднення води Свято-Пантелеймонівського джерела у м. Харків і спосіб її вирішення / В. В. Яковлев, Т. В. Дмитренко, Д. В. Дядін, Ю. І. Вергелес // Науковий вісник будівництва. – Вип. 4 (102). – 2020. – С. 200–212.
7. Водний кодекс України [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>, вільний (дата звернення: 05.04.2024). – Назва з екрана.
8. Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.04.2024). – Назва з екрана.
9. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [Електрон.

ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>, вільний (дата звернення: 05.04.2024). – Назва з екрана.

10. Про затвердження Порядку ведення державного обліку водокористування [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0382-15#Text>, вільний (дата звернення: 05.04.2024). – Назва з екрана.

*Електронне навчальне видання*

**ПОНОМАРЕНКО Євгеній Георгійович**  
**ДМИТРЕНКО Тетяна Володимирівна**

## **ДЖЕРЕЛА ТА ПРОЦЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

Відповідальний за випуск *К. М. Задорожний*  
Редактор *О. А. Норик*  
Комп'ютерне верстання *Т. В. Дмитренко*

План 2023, поз. 26Л

---

Підп. до друку 21.05.2024. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 3,3.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК 5328 від 11.04.2017.