

**В. К. ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ
М. Р. ЗАБОКРИЦЬКА
В. Ю. СТЕЛЬМАХ**

**ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ
АСПЕКТИ
ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА
ВОДОВІДВЕДЕННЯ**



Міністерство освіти і науки України
Волинський національний університет імені Лесі Українки

В. К. ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ
М. Р. ЗАБОКРИЦЬКА
В. Ю. СТЕЛЬМАХ

ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Навчальний посібник

Київ
ДІА
2023

УДК 556 + 626.81
Х 46

Рецензенти:

І.В. Голчак – доктор технічних наук,
Державне агентство водних ресурсів України;
Я.О. Мольчак – доктор географічних наук, професор,
Луцький національний технічний університет.

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою
Волинського національного університету імені Лесі Українки
(протокол № 10 від 21 червня 2023 р.)*

Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. – К.: ДІА, 2023. - 228 с.

ISBN 978-617-7785-40-7

У навчальному посібнику висвітлено роль компонентів хімічного складу води у процесах життєдіяльності людини, охарактеризовано проблеми водних ресурсів і водокористування у світі та в Україні, питання цілей сталого розвитку (ЦСР-6 «Чиста вода і належна санітарія»), висвітлено основні технологічні аспекти систем водопостачання та водовідведення з певною їх ілюстрацією на прикладі міст Києва і Луцька.

Навчальний посібник призначено для студентів, які навчаються за освітніми програмами «Гідрологія» і «Управління та екологія водних ресурсів» спеціальності 103 «Науки про Землю». Він може бути корисним й для студентів інших освітніх програм спеціальностей 103 «Науки про Землю» та 106 «Географія», в яких вивчають питання водних ресурсів, водопостачання та водовідведення.

Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Stelmakh V.Yu. Hydroecological aspects of water supply and sanitation: textbook. - Kyiv: DIA, 2023. - 228 p.

The textbook highlights the role of the components of the chemical composition of water in the processes of human life, describes the problems of water resources and water use in the world and in Ukraine, highlights the main technological aspects of water supply and sanitation systems, considers some of their aspects on the example of the cities of Kiev and Lutsk.

The textbook is intended for students enrolled in the educational programs “Hydrology” and “Management and Ecology of Water Resources” specialty 103 “Earth Sciences”. It can also be useful for students of other educational programs of specialties 103 “Earth Sciences” and 106 “Geography”, which study the issues of water resources, water supply and sanitation.

ISBN 978-617-7785-40-7

© В.К. Хільчевський, М.Р. Забокрицька,
В.Ю. Стельмах, 2023

Зміст

Передмова.....	6
ВСТУП.....	9
1. РОЛЬ КОМПОНЕНТІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ.....	12
1.1. Водно-сольовий обмін в організмах.....	12
1.2. Мінеральні речовини. Мікроелементи.....	16
1.3. Гази.....	20
1.4. Токсичність радіоактивних елементів.....	21
1.5. Безпечна вода – базове право людини, проголошене ООН.....	24
2. ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ВОДОКОРИСТУВАННЯ У СВІТІ.....	27
2.1. Загальні поняття про водні ресурси.....	27
2.2. Традиційні та альтернативні джерела водних ресурсів.....	28
2.3. Використання водних ресурсів у світі.....	32
2.4. Дефіцит водних ресурсів: методи оцінювання.....	36
2.5. Вода і збройні конфлікти.....	40
3. ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ВОДОКОРИСТУВАННЯ В ЄВРОПІ ТА В УКРАЇНІ.....	50
3.1. Загальні та внутрішні відновні водні ресурси.....	50
3.2. Використання водних ресурсів. Водний дефіцит в Європі.....	55
3.3. Сталий розвиток в ЄС. ЦСР 6: Чиста вода і належна санітарія.....	58
3.4. Водні ресурси України.....	64
3.5. Використання водних ресурсів України.....	70
3.6. Водна стратегія України на період до 2050 р.	71
4. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	77
4.1. З історії водопостачання та водовідведення.....	77
4.2. Загальна схема водопостачання.....	83
4.3. Водозабори, насосні станції та водоочисні споруди.....	85
4.4. Водопровідна мережа.....	90
4.5. Система водовідведення.....	93
4.6. Споруди для очищення стічних вод.....	96
5. ЯКІСТЬ ВОДИ ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ: НОРМУВАННЯ, КОНТРОЛЬ.....	100
5.1. Фізичні та хімічні показники якості води.....	100
5.2. Характеристика якості води за видами використання.....	103
5.3. Нормування якості питної води.....	107
5.4. Виробничий контроль безпечності та якості питної води.....	111
6. БАКТЕРІАЛЬНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ВОД.....	114
6.1. Загальна характеристика деяких мікроорганізмів.....	114
6.2. Санітарно-показові організми води та контроль за їх вмістом... ..	118

6.3.	Мікробіологічні процеси на водопровідних спорудах.....	124
6.4.	Біологічні організми в стічних водах.....	126
7.	МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	128
7.1.	Основні технологічні процеси очищення води.....	128
7.2.	Освітлення, усунення забарвленості, присмаків і запахів...	130
7.3.	Пом'якшення, знесолення та опріснення.....	134
7.4.	Вилучення заліза, марганцю, кремнію, фтору, фторування води.....	139
7.5.	Знезараження води хлором, озоном, сріблом та йодом.....	143
7.6.	Безреагентні методи знезараження води.....	150
7.7.	Ефективність різних методів знезараження води.....	151
8.	СТІЧНІ ВОДИ ТА МЕТОДИ ЇХ ОЧИЩЕННЯ	153
8.1.	Міські стічні води	153
8.2.	Чинники, що впливають на склад міських стічних вод	155
8.3.	Механічні методи очищення	158
8.4.	Біологічні методи очищення	161
8.5.	Фізико-хімічні та хімічні методи очищення.....	162
9.	БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ НА ОЧИСНИХ СПОРУДАХ СТІЧНИХ ВОД..	165
9.1.	Окисно-відновні процеси у стічних водах	165
9.2.	Очисні споруди з аеробним розкладанням.....	166
9.3.	Очисні споруди з анаеробним розкладанням	170
9.4.	Біохімічне очищення стічних вод у ґрунтах	174
9.5.	Біохімічне очищення стічних вод у біологічних ставках.....	176
9.6.	Використання осадів стічних вод.....	177
10.	ОХОРОНА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ.....	179
10.1.	Охорона вод від забруднення – загальні положення	179
10.2.	Приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення.....	181
10.3.	Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами	183
11.	ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В ДЕЯКИХ МІСТАХ УКРАЇНИ (КИЇВ, ЛУЦЬК).....	187
11.1.	Водопостачання та водовідведення в Києві.....	187
11.1.1.	З історії водопостачання та водовідведення в місті.....	187
11.1.2.	Річки Дніпро і Десна – джерела водопостачання.....	192
11.1.3.	Технологічні аспекти підготовки питної води на Дніпровській водопровідній станції.....	193
11.1.4.	Скорочення використання питної води в Києві	196
11.1.5.	Бортницька станція аерації – очищення стічних вод.....	199

11.2.	Водопостачання та водовідведення в Луцьку	202
11.2.1.	З історії водопостачання та водовідведення в місті.....	202
11.2.2.	Гідрографічна мережа території міста.....	203
11.2.3.	Водопостачання.....	206
11.2.4.	Водовідведення.....	207
12.	ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ РІЗНИХ ЦІЛЕЙ	211
12.1	Джерела забруднення природних вод.....	211
12.2.	Зміни нормативної бази щодо оцінювання якості води (2014-2022 рр.).....	212
12.3.	Державний моніторинг вод та екологічні цілі оцінювання якості води.....	215
12.4.	Гігієнічні цілі оцінювання якості води водних об'єктів для господарсько-питного і культурно-побутового водокористування.....	219
	Бібліографія	223

Передмова

Метою освітнього компоненту «Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення» є надання студентам глибоких теоретичних та практичних знань, умінь та навичок з проблем водних ресурсів, що використовуються для водопостачання, уявлень про організацію технологічних процесів водопостачання і водовідведення, нормативів якості води, сучасних методів очищення стічних вод та їхнього впливу на якість води водних об'єктів, в які вони скидаються.

Після публікації підручника «Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти» (В.К. Хільчевський, 1999) минуло понад 20 років [5]. За цей час відбулося багато змін у сфері дослідження водних ресурсів, оцінювання їхньої якості, водопостачання та водовідведення як у світі, так і в Україні. Це вимагає оновлення в методичних підходах при викладанні навчального матеріалу.

У 2015 р. на Саміті ООН прийнято резолюцію Генеральної Асамблеї ООН під назвою «Перетворення нашого світу: порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року». Для реалізації цього порядку денного було ухвалено 17 глобальних цілей сталого розвитку (ЦСР). ЦСР 6 «Чиста вода і належна санітарія» – це глобальна ціль, яка безпосередньо стосується якості водних ресурсів, водопостачання і водовідведення.

З метою забезпечення національних інтересів України щодо сталого розвитку було видано Указ Президента України від 30.09. 2019 р. № 722 “Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року” [66].

22-24 березня 2023 р. в Нью-Йорку в штаб-квартирі ООН відбулася наймасштабніша конференція з водної проблематики за 50 років – «Вода для сталого розвитку». Головним її досягненням стало ухвалення Водної програми дій, у рамках якої уряди країн світу, бізнес і громадськість оголосили про понад 700 проектів з бюджетами у десятки мільярдів доларів, які спрямуються на перехід від світової водної кризи до сталого управління водними ресурсами.

Міністр захисту довкілля України Руслан Стрілець, виступаючи на цій водній конференції ООН, відзначив, що через агресивну війну, яку 24 лютого 2022 р. розпочала Росія проти України, поряд з низкою екологічних проблем виникли й водні проблеми, зокрема:

- 5 млн українців не мають доступу до питної води;
- 70 % населення нашої держави можуть залишитися без води;
- Україна втрачає водну інфраструктуру внаслідок постійних ракетних обстрілів;
- внаслідок можливого спуску води з Каховського водосховища є загроза виходу з ладу систем охолодження Запорізької АЕС – найбільшої у Європі. Це означатиме можливий сценарій Фукусіми посеред європейського континенту через Росію.

На жаль, 6 червня 2023 р. російські агресори підірвали греблю Каховської ГЕС, вчинивши найбільший акт екоциду за період повномасштабного вторгнення в Україну. На Херсонщині було підтоплено 48 населених пунктів, на Миколаївщині – 23.

До р. Дніпро потрапило щонайменше 150 т мастила. Нараховано збитки водним ресурсам орієнтовно 2 млрд гривень. І це без врахування збитків природно-заповідному фонду, ґрунтам, біорізноманіттю, лісовим та іншим природним ресурсам. Сума тільки збільшиться.

Підрив греблі Каховській ГЕС поставив під питання можливість постачання дніпровської води в Крим. Північнокримський канал, яким вона надходить до окупованого в 2014 р. півострова, бере свій початок в кількох сотнях метрів біля зруйнованої греблі.

В Україні у 2000-х роках значно змінилася нормативна база у водній сфері. Так, у 2002 р. було прийнято Закон України «Про питну воду та питне водопостачання», який у 2017 р. отримав назву «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» [55]; у 2007 р. – затверджено ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» [51]; у 2010 р. – ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [47]; у 2014 р. – ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості питної води [49]; у 2017 р. – Закон України «Про внесення змін до Закону України "Про питну воду та питне водопостачання» [55].

Особливо варто відзначити розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.01.2016 р. «Про визнання такими, що втратили чинність, та такими, що не застосовуються на території України, актів санітарного законодавства» [65]; яким скасовано застосування на території України нормативних документів колишнього СРСР та Української РСР, що зокрема стосуються якості води.

Не дивлячись на зайнятість державних органів воєнними справами, 2022 р. став насиченим на прийняття нормативних документів по воді. Так, у цьому році було прийнято:

- Закон України «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022 - 2026 роки» [54];
- «Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення», затверджені наказом МОЗ України [45];
- зміни до додатку 2 ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затверджені наказом МОЗ України [56];
- «Водна стратегія України на період до 2050 року», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України [43].

Відбулися й значні методичні та нормативні зміни у сфері моніторингу водних ресурсів, які є основою водопостачання і водовідведення – вода для водопостачання забирається з водних об'єктів і повертається в них після використання у вигляді очищених стічних вод. У зв'язку з імплементацією в Україні положень Водної рамкової директиви Європейського Союзу [46] було прийнято низку нормативних актів: у 2016 р. – Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» [52]; у 2018 р. – «Порядок здійснення державного моніторингу вод», затверджений постановою Кабінету Міністрів України [61]; «Перелік забруднювальних

речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод» [59], затверджений наказом Мінекоресурсів України тощо.

Важливо звернути увагу й на лексичний апарат хімічних термінів, які застосовуються при характеристиці йонного складу та якості води. Адже в 2019 р. набув чинності ДСТУ 2439:2018 «Хімічні елементи та прості речовини. Терміни та визначення основних понять, назви й символи», у якому повернуто більшість українських назв хімічних елементів та правило написання їхніх назв з малої літери.

Основою для створення навчального посібника став курс лекцій з гідроекологічних аспектів водопостачання та водовідведення, який співавтори книги викладають на кафедрі гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка та на кафедрі фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки. Були використані сучасні публікації з даної проблематики, матеріали Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) ООН. Таким чином, книга стала результатом творчої співпраці представників двох університетів.

У навчальному посібнику висвітлено роль компонентів хімічного складу води у процесах життєдіяльності людини, охарактеризовано проблеми водних ресурсів і водокористування у світі та в Україні, питання цілей сталого розвитку (ЦСР 6 «Чиста вода і належна санітарія»), висвітлено основні технологічні аспекти систем водопостачання та водовідведення з певною їх ілюстрацією на прикладі міст Києва і Луцька.

Автори вдячні за конструктивні зауваження і побажання щодо рукопису навчального посібника, які висловили рецензенти: І.В. Гопчак – доктор технічних наук, заступник Голови Державного агентства водних ресурсів України; Я.О. Мольчак – доктор географічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, професор Луцького національного технічного університету.

Автори:

Хільчевський В.К. – доктор географічних наук, професор, відмінник освіти України, заслужений діяч науки і техніки України, почесний працівник гідрометслужби України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки 2017 р., професор кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Забокрицька М.Р. – кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки (м. Луцьк);

Стельмах В.Ю. – кандидат географічних наук, старший викладач кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки (м. Луцьк).

ВСТУП

При веденні моніторингу виконання ЦСР 6 «Чиста вода і належна санітарія», що ввійшла до Резолюції ООН 2015 р. про сталий розвиток на період до 2030 р., фокусується увага на: а) якості питної води; б) санітарії; в) ефективності водокористування.

В Україні приділяється значна увага питній воді. Так, починаючи з 1991 р. діє загальнодержавна програма «Питна вода України», яка спочатку затверджувалася постановою Кабінету Міністрів України, а згодом – на законодавчому рівні. Загальнодержавна цільова програма «Питна вода України» на 2006 - 2020 роки була затверджена Верховною Радою України як Закон України.

Новий Закон України «Про загальнодержавну цільову соціальну програму "Питна вода України" на 2022 - 2026 роки» Верховна Рада України прийняла 15 лютого 2022 р. [54].

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р було схвалено Водну стратегію України на період до 2050 року [43].

✓ Закон України «Про загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022 - 2026 роки» (прийнятий 2022 р.).

Метою Програми є забезпечення гарантованих Конституцією України прав громадян на достатній життєвий рівень та екологічну безпеку шляхом забезпечення якісною питною водою в необхідних обсягах та відповідно до встановлених нормативів щодо якості питної води, забезпечення розвитку та реконструкції систем централізованого водопостачання та централізованого водовідведення населених пунктів України.

Шляхи і способи розв'язання проблеми. Оптимальним варіантом розв'язання проблеми є реалізація державної політики у сфері питної води та питного водопостачання щодо розвитку та реконструкції систем централізованого водопостачання та централізованого водовідведення; доведення якості питної води до нормативних вимог, забезпечення населених пунктів якісним, безпечним для здоров'я централізованим водопостачанням, зокрема шляхом переходу до водопостачання із підземних джерел.

Проблему передбачається розв'язати шляхом:

- будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту) водозабірних споруд із застосуванням новітніх технологій, призначених для задоволення потреб споживачів у питній воді, відповідно до встановленого режиму зон санітарної охорони з метою забезпечення населених пунктів якісним, безпечним для здоров'я людини централізованим водопостачанням;

- будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту) водопровідних та очисних споруд водовідведення із застосуванням новітніх технологій з метою зменшення обсягів неочищених стічних вод, що скидаються у джерела питного водопостачання, а також утилізації осадів;

- будівництва та впровадження станцій (установок) доочищення питної води із застосуванням новітніх технологій;

- будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту) водопровідних мереж та мереж водовідведення;

- створення лабораторій контролю якості питної води та лабораторій контролю стічних вод, оснащених сучасним аналітичним обладнанням.

Основними завданнями Програми є:

- забезпечення населених пунктів якісним централізованим водопостачанням:

- будівництво (нове будівництво, реконструкція, капітальний ремонт) водозабірних споруд, призначених для задоволення потреб споживачів у питній воді, із застосуванням новітніх технологій відповідно до встановленого режиму зон санітарної охорони;

- доведення якості питної води до встановлених нормативних вимог;

- будівництво та впровадження станцій (установок) доочищення питної води із застосуванням новітніх технологій;

- будівництво (нове будівництво, реконструкція, ремонт) водопровідних та очисних споруд водовідведення із застосуванням новітніх технологій;

- будівництво (нове будівництво, реконструкція, капітальний ремонт) водопровідних мереж та мереж водовідведення;

- створення лабораторій контролю якості питної води та лабораторій контролю стічних вод, оснащених сучасним контрольно-аналітичним обладнанням.

Очікувані результати, ефективність Програми. Виконання Програми дасть можливість:

- забезпечити реалізацію державної політики у сфері питної води та питного водопостачання;

- довести якість питної води до нормативних вимог;

- забезпечити утилізацію осадів, що утворюються під час очищення стічних вод;

- поліпшити санітарну, епідемічну та екологічну ситуацію в Україні;

- підвищити якість очищених стічних вод;

- впровадити на підприємствах питного водопостачання та централізованого водовідведення новітні технології із застосуванням сучасного обладнання, приладів і матеріалів;

- зменшити втрати питної води;

- забезпечити цілодобове постачання якісної питної води населенню, що має доступ до систем централізованого водопостачання.

Обсяги та джерела фінансування Програми. Видатки на виконання Програми здійснюватимуться за рахунок:

- коштів Державного бюджету України з урахуванням його реальних можливостей, у тому числі державного фонду регіонального розвитку, державного фонду розвитку водного господарства та субвенції на виконання інвестиційних проектів; коштів місцевих бюджетів; коштів підприємств питного водопостачання та централізованого водовідведення відповідно до програм їх розвитку, затверджених в установленому порядку; зовнішніх і внутрішніх запозичень, грантів міжнародних організацій, коштів міжнародних програм, благодійних внесків.

Орієнтовний обсяг фінансування Програми становить 28588,6 млн гривень, з яких за рахунок коштів з державного бюджету – 16949,3 млн гривень, з місцевого бюджету та інших джерел – 11639,3 млн гривень.

✓ **Водна стратегія України на період до 2050 року** (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України 2022 р.).

Водна стратегія є документом, що визначає основні засади державної політики у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів та спрямована на досягнення взаємної узгодженості, пов'язаної з їх використанням, підвищення рівня водної безпеки та скорочення до прийняттого рівня ризиків з управління водними ресурсами на засадах сталого інтегрованого управління водними ресурсами.

Стратегічними цілями є:

Ціль 1. Забезпечення рівного доступу до якісної і безпечної для здоров'я людини питної води і належних санітарно-профілактичних заходів.

Ціль 2. Поліпшення якісного стану водних об'єктів шляхом досягнення та підтримання «доброго» екологічного та хімічного стану масивів поверхневих вод, екологічного потенціалу штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод, кількісного та хімічного стану масивів підземних вод.

Ціль 3. Забезпечення необхідної кількості водних ресурсів для відновлення та оздоровлення водних екосистем і досягнення стійкого водозабору та водопостачання.

Ціль 4. Скорочення зростаючих ризиків нестачі води та надлишку води.

Ціль 5. Запровадження інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом та принципів Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) щодо водного врядування в районах річкових басейнів, у прибережних і морських водах.

Для кожної з цілей Стратегії розроблено низку завдань, які необхідно виконати, та показників, що слугуватимуть індикаторами досягнення запланованих цілей.

Етапи реалізація Стратегії на період до 2050 р. передбачають:

I етап – підготовчий (2022-2024 рр.) – визначення правових та організаційних засад з підвищення рівня водної безпеки, зокрема внесення відповідних змін до актів законодавства та підготовку нових нормативно-правових актів, що спрямовані на реалізацію цієї Стратегії; виконання операційного плану реалізації у 2022-2024 рр. цієї Стратегії.

II етап – дослідне впровадження (2025-2030 рр.) – виконання перших планів управління річковими басейнами та планів управління ризиками затоплення та початок процесу їх оновлення.

III етап – операційне впровадження (2031-2042 рр.) – виконання оновлених планів управління річковими басейнами та планів управління ризиками затоплення (другого та третього шестирічних циклів впровадження).

IV етап – коригувальне впровадження (2043-2050 рр.) – у цілому виконання міжнародних зобов'язань України, пов'язаних з імплементацією законодавства ЄС, та досягнення Цілей сталого розвитку, виконання оновлених планів управління річковими басейнами і планів управління ризиками затоплення (четвертого шестирічного циклу впровадження), перегляд механізмів та інструментів їх виконання.

Детальніше Водна стратегія України розглядається в розд. 3.6 цієї книги.

1. РОЛЬ КОМПОНЕНТІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

Вивчаючи питання водопостачання, треба мати певне уявлення про основні фізіологічні процеси, які відбуваються в організмі за участю води і розчинених у ній солей. Це сприятиме розумінню необхідності дотримання вимог до якості питної води. Адже ті самі компоненти хімічного складу води, які необхідні організму, можуть стати шкідливими токсичними речовинами, якщо перевищать гранично-допустимі концентрації – ГДК (хлориди, сульфати, нітрати, мікроелементи та ін.). Компоненти, які мають штучне походження (ксенобіотики) – пестициди, штучні радіоактивні елементи та інші у питній воді мають бути відсутніми.

1.1. Водно-сольовий обмін в організмах

Як припускають вчені, ймовірно, життя виникло у водному середовищі. У ході еволюції різні водні тварини та рослини вийшли на суходіл і пристосувалися до наземного способу життя. Але вода і для них залишилася найважливішим компонентом навколишнього середовища. За нестачі води життєдіяльність організмів порушується. Лише форми життя, які перебувають у стані спокою (спори, насіння), добре переносять тривале зневоднення. Рослини за відсутності води в'януть і можуть гинути, хоча чутливість різних рослин до її нестачі є різною. Тварини, якщо позбавити їх води, швидко гинуть: звичайна собака може прожити без їжі до 100 днів, а без води – лише 10. У табл. 1.1 наведено дані про вміст води у різних організмах.

Таблиця 1.1. Вміст води у різних організмах, їх органах і тканинах

Організми, органи, тканини	Вміст води, %
Рослини (наземні):	
<i>верхівка сходів</i>	91-93
<i>листя</i>	75-86
<i>насіння злаків</i>	12-14
<i>мох, лишайники</i>	5-7
Водорості	90-98
Медузи	95-98
Дощові черв'яки	84
Комахи:	
<i>дорослі</i>	45-65
<i>личинки</i>	58-90
Риби	70
Ссавці (в т.ч. людина):	63-68
<i>скелет</i>	20-40
<i>м'язи</i>	75
<i>печінка</i>	75
Мозок людини:	
<i>сіра речовина</i>	84
<i>біла речовина</i>	72

Для гідробіонтів вода залишилась найважливішим середовищем існування, оскільки вона має у 800 разів більшу густину, ніж повітря. Цим пояснюється можливість існування в ній тварин, у яких відсутній міцний покрив чи утримуючий скелет (медузи, реброплави та ін.).

У рідинах організму – міжклітинній рідині, лімфі, крові, соках травлення їжі, соках рослин та інших – міститься вільна вода. У тканинах тварин і рослин вода знаходиться у зв'язаному стані – вона не витікає при розсіченні органів. Вода здатна викликати набрякання колоїдів, зв'язуватися з білком та іншими органічними сполуками, а також з йонами, які входять до складу клітин і тканин (гідратаційна вода). Молекули води, які знаходяться всередині клітин, але не входять до складу гідратаційних оболонок йонів і молекул, являють собою іммобільну воду, що легше за гідратаційну залучається до загального кругообігу води в організмі.

Водно-сольовий обмін – це сукупність процесів всмоктування, розподілу, споживання та видалення води й солей в організмі людини і тварин. Він забезпечує стабільність осмотичної концентрації, йонного складу і кислотно-лужної рівноваги всередині організму. Довося потреба у воді дорослої людини 40 г/кг маси тіла. Для людини вагою 70 кг – це близько 2,8 л, з яких 1,4 л надходить у вигляді питної води, 1,1 л – з їжею, 0,3 л утворюється в організмі (при окисненні 1 г жиру утворюється 1,07 г води, 1 г вуглеводів – 0,556 г і 1 г білків – 0,396 г води). Загальний вміст води у тілі людини становить понад 60 %. Всередині клітин у вигляді гідратаційної та іммобільної води – 72 %, у позаклітинному просторі – 28 %.

До складу організмів входять йони Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- , які зумовлюють фізико-хімічні процеси в тканинах. Організму необхідні і мікроелементи – Fe, Zn, Cu, Co та інші, які беруть участь у окисно-відновних реакціях, активізують ферменти, входять до складу вітамінів та інших біологічно активних речовин. Всмоктування електролітів у кишківнику відбувається за участю ферментів і систем активного транспорту йонів. Йони, які всмокталися, надходять у кров чи лімфу і переносяться по всіх клітинах.

За сольовим складом рідини, які знаходяться всередині клітин і поза ними, значно відрізняються між собою: у клітинах переважають йони K^+ , Mg^{2+} і фосфати, поза клітинами – йони Na^+ , Ca^{2+} і Cl^- . Ця відмінність підтримується діяльністю біологічних мембран зв'язуванням йонів хімічними компонентами клітини (наприклад, фосфоліпідами мозку, м'язів і печінки більше поглинаються йони натрію, ніж калію). В організмі є сольові депо: у кістковій тканині міститься багато Ca^{2+} , у печінці депонуються різні мінеральні речовини в тому числі мікроелементи.

Кров людини містить 77-82 % води, причому в еритроцитах її знаходиться 57-68 % від маси, у плазмі – 90-91 %. Мінеральні речовини підтримують стабільність осмотичного тиску крові, активну реакцію (рН крові становить 7,26-7,36), впливають на стан колоїдів крові та обмін речовин у клітинах. Значення рН крові нижчі 6,8 або вищі 7,8 не сумісні з життям.

Прісноводні тварини виводять воду, яка надходить в організм через покриви та з їжею, нирками чи їхніми аналогами. Солі вони отримують з їжею чи вилучають з навколишнього середовища спеціальними клітинами, розташованими у зябрах (риби), у шкірі (земноводні) та ін. Серед морських тварин є організми з такою самою осмотичною концентрацією крові, як і в

морської води (молюски та ін.), і тварини, здатні до осморегуляції (кісткові риби). Кров цих тварин містить менше солей, ніж морська вода. Вони споживають багату на солі морську воду і опріснюють її, виділяючи концентровані розчини хлористого натрію сольовими залозами. Солі магнію і кальцію виводяться кишківником і нирками. Акули і скати, деякі інші морські тварини мають у крові й рідинах тіла високу концентрацію сечовини, їхній організм отримує воду головним чином через зовнішні покриви. У ссавців основним органом регуляції водного балансу є нирки. За надлишку води нирки виводять розведену сечу, за дефіциту – концентровану.

Сеча людини містить близько 96 % води, 1,5 % солей і 2,5 % органічних продуктів обміну (сечовина, сечова кислота), рН 4,8-8,0 (при споживанні багатой на білки їжі реакція сечі є кислою, рослинної їжі – слабколужною). У сечі містяться ті самі солі, що і в плазмі крові, в основному NaCl, а також сульфати, фосфати і карбонати калію, магнію і алюмінію. За добу доросла здорова людина виділяє 1200-1600 мл сечі, хоча її кількість залежить від питного режиму, характеру їжі та ін.

Слина, яка має слабкокисло або слабколужну реакцію (рН 5,6-7,6), є важливою речовиною для водно-сольового обміну в організмі. У дорослої людини виділяється близько 1,5 л слини, у великих тварин – від 40-60 л до 120 л на добу. Слина містить воду (98,5-99,5%) і розчинені в ній аніони хлоридів, фосфатів, бікарбонатів, роданідів, йодидів, бромідів, фторидів, сульфатів, катіонів натрію, калію, кальцію, магнію і мікроелементи Fe, Cu, Mn, Ni, Li, Zn, органічні речовини – білок, амінокислоти, ферменти.

Шлунковий сік, який виробляється різними клітинами слизистої оболонки шлунку, містить ферменти (протеази, ліпазу), а також соляну кислоту, концентрація якої у людини становить 0,4-0,5 %. Соляна кислота активізує ферменти, полегшує розщеплення білків, зумовлює бактерицидні властивості шлункового соку. Загальна кислотність шлункового соку в людини після вживання їжі становить 40-60 умовних одиниць, вільна – 20-40. За деяких порушень функції шлунку вміст соляної кислоти може підвищуватись чи знижуватись аж до її повної відсутності. За добу у людини виділяється близько 2 л шлункового соку.

Вода в організмі є основним внутрішньоклітинним і позаклітинним середовищем, у якому протікає обмін речовин у всіх рослин, тварин і мікроорганізмів, а також субстратом низки хімічних ферментативних реакцій. У процесі фотосинтезу вода разом з вуглекислим газом залучається до утворення органічних речовин і, таким чином, служить матеріалом для створення живої матерії.

Вода забезпечує перенесення поживних речовин і продуктів обміну (кров, лімфа, сік рослин), низку важливих властивостей і процесів (тургор, терморегуляцію та ін.).

Тургор (від латинського *turgor* – набрякання, наповнення) – напружений стан клітинної оболонки, який залежить від осмотичного тиску рідини всередині клітини, осмотичного тиску зовнішнього розчину і пружності клітинної оболонки. Як правило клітини тварин мають слабкий тургор, бо пружність клітинної оболонки є низькою. У живих рослинних клітин осмотичний тиск внутрішньої рідини завжди більший, ніж у зовнішньої, але розриву клітинної оболонки в них не відбувається. Цьому сприяє наявність

целюлозної клітинної стінки. У більшості рослин відносно видовження клітинної оболонки внаслідок тургору не перевищує 5-10 %. Завдяки тургору тканини рослин мають пружність і є конструктивно міцними. Падіння тургору призводить до в'янення і старіння рослинних організмів.

Терморегуляція (теплорегуляція) – здатність людини, ссавців і птахів підтримувати температуру організму у певних вузьких межах, незважаючи на значні коливання температури зовнішнього середовища і власної теплопродукції. Важливою функцією при терморегуляції є властивість організму виділяти піт, що дозволяє людині пристосуватися до високих температур (понад 30 °C).

Піт є безколірною рідиною, яка виділяється потовими залозами. Піт людини містить 98-99 % води, близько 0,1 % сечовини, сечову кислоту, креатин, серин, жири, леткі жирні кислоти, холестерол, солі лужних металів – хлориди (переважає NaCl – близько 0,3 %), фосфати, сульфати, парні ефіросірчані кислоти та ароматичні оксикислоти. Склад поту залежить від стану організму, інтенсивності виділення, а також від вмісту різних речовин у крові. Реакція поту може бути кислою (рН 3,8-6,2) або лужною (при розкладанні сечовини і виділенні аміаку). У людини може виділятися за добу від 0,5 до 10 л поту і більше – в залежності від інтенсивності роботи м'язів, температури зовнішнього середовища і кількості випитої води. Так, за важкої роботи м'язів піт містить значну кількість молочної кислоти і азотистих сполук, за патологічного стану – глюкозу (цукровий діабет), жовчні пігменти, підвищену кількість сечовини і сечової кислоти (уремія).

Питний режим людини. Правильний питний режим забезпечує нормальний водно-сольовий обмін, створює сприятливі умови для життєдіяльності організму. Безладне чи надлишкове споживання води погіршує травлення їжі та, збільшуючи загальний об'єм циркулюючої крові, створює додаткове навантаження на серцево-судинну систему та нирки, посилює виведення через нирки і пітні залози необхідних для організму речовин (наприклад, NaCl). Тимчасове перевантаження рідиною (наприклад, одномоментне вживання великої кількості води) порушує роботу м'язів, призводить до їх швидкого стомлення, інколи викликає судом.

Питна норма – мінімальна кількість води, яка необхідна організму для підтримання водно-сольового балансу протягом доби. Питна норма залежить від кліматичних умов, а також віку людини, характеру виконуваної роботи. Для центральних районів України об'єм води, яка випивається і надходить з їжею, за мінімального фізичного навантаження, становить 2,5 л на добу; за роботи середньої важкості – до 4 л. А, наприклад, в Центральній Азії – відповідно 3,5 і 5 л, за важкої роботи на відкритому повітрі може досягати 6,5 л.

За недостатнього споживання води погіршується самопочуття, підвищується температура тіла, прискорюється пульс і дихання, знижується працездатність. Зневоднення організму може викликати й більш тяжкі наслідки.

Зневоднення організму (дегідратація) – це втрата організмом води нижче фізіологічної норми. Тварини гинуть за втрати 20-25 % води, яка знаходиться в тілі. Больові розлади настають, коли втрата води досягає 10 %. Зневоднення організму може розвиватися або в результаті посиленої втрати води (часте блювання, збільшення потовиділення, значні опіки та ін.), або

внаслідок водного голодування. Посилена втрата води призводить до гіперосмолярного зневоднення, тобто поряд з виділенням рідини організм втрачає значну кількість електролітів. Оскільки осмотичний тиск у клітинах є вищим, ніж у міжклітинному просторі, рідина переходить у клітини, наслідком чого є їх набрякання.

За повного припинення надходження в організм води розвивається так зване водне голодування. Втрата рідини значно перевищує виділення електролітів, що призводить до гіперосмолярної дегідратації: осмотичний тиск у міжклітинному просторі підвищується, вода з клітини переходить у позаклітинний простір, відбувається зневоднення клітин та їхня загибель.

За зневоднення організму людина відчуває пекельну спрагу, яка переноситься важче, ніж відсутність їжі. При цьому знижується секреція всіх залоз травлення, відбувається згущення крові, що призводить до важких розладів кровообігу, порушується функція нирок. Зневоднення організму може призвести до психічних розладів, інколи до смертельних наслідків.

Зневоднення організму у дітей настає значно швидше, ніж у дорослих, оскільки у дітей, особливо немовлят, виділення води на одиницю поверхні тіла є значно більшим, ніж у дорослих. За патологічних умов, які викликають гіперосмолярне зневоднення організму, потрібно втамувати спрагу підсоленою водою, щоб компенсувати втрату не лише води, а й електролітів.

Жителям районів з жарким кліматом бажано втамувати спрагу лише після їжі і суворо обмежувати споживання рідини в проміжках між споживанням їжі. Для тамування спраги варто пити чай, додаючи у воду кухонну сіль, фруктові чи овочеві соки, екстракт. У гарячих цехах треба пити підсолену (0,5 % розчин NaCl) газовану воду або відвар сухофруктів. Питний режим спортсменів передбачає тамування спраги лише після закінчення тренувань чи змагань, а під час виконання вправ спрага і почуття сухості у роті усуваються полосканням водою рота і горла. За значних втрат ваги (після тренувань, змагань, бані) рекомендується пити воду малими порціями.

1.2. Мінеральні речовини. Мікроелементи

Хімічний склад природних вод, які використовуються для водопостачання, є складним комплексом розчинених мінеральних солей, газів та органічних сполук. У природних водах розчинені майже всі відомі на Землі хімічні елементи, але більша частина з них знаходиться в таких малих кількостях, що їх поки ще не виявлено через недостатню чутливість методів аналізу. Зараз різними фізико-хімічними методами визначено понад 80 елементів, які присутні у природних водах гідросфери. Хімічний склад природних вод умовно поділяють на такі групи (В.К. Хільчевський, 1997) [16]:

1) головні йони (макрокомпоненти) – HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , які утворюють основну частину мінерального складу і зумовлюють хімічний тип вод;

2) розчинені гази – кисень, азот, сірководень, діоксид вуглецю та ін.;

3) біогенні речовини – сполуки азоту, фосфору, заліза і кремнію;

4) органічні речовини – різноманітні органічні сполуки, які відносяться до органічних кислот, складних ефірів, фенолів, гумусових речовин, азотовмісних сполук (білки, амінокислоти) та багато ін.;

5) мікроелементи – усі метали, крім головних йонів, а також деякі інші компоненти, які містяться у водах у невеликих кількостях;

6) радіоактивні елементи – виділені з групи мікроелементів, враховуючи специфіку їхньої природи та вплив на життєдіяльність організмів;

7) специфічні забруднювальні речовини – пестициди, синтетичні поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, феноли та ін.

Виділення цих груп є зручним при дослідженні якості природних вод у гідрохімії. Питання значно ускладнюється, якщо воно стосується вивчення ролі тих чи інших хімічних компонентів у життєдіяльності організмів. Адже практично всі хімічні компоненти входять до складу живих організмів і виконують ту чи іншу біологічну функцію, тобто є «біогенними».

Біогенні елементи – це хімічні елементи, які постійно входять до складу організмів і мають певне біологічне значення. Перш за все це кисень (70 % маси організмів), вуглець (18 %), водень (10 %), кальцій, азот, калій, фосфор, магній, сірка, хлор, натрій, залізо. Ці елементи входять до складу всіх живих організмів, становлять їх основну масу і відіграють велику роль у процесах життєдіяльності. Успіхи науки розширили перелік біогенних елементів: до них відносяться і багато мікроелементів, оскільки вони мають важливе біологічне значення. В.І. Вернадський вважав, що всі хімічні елементи, які постійно присутні у клітинах організмів у природних умовах, відіграють певну фізіологічну роль. Елементи, які постійно містяться в організмах людини і ссавців, за вивченістю та їхнім значенням можна поділити на три групи (табл. 1.2): елементи, що входять до складу біологічно активних сполук (ферменти, гормони, вітаміни, пігменти), вони є незамінними (I); елементи, фізіологічну і біохімічну роль яких мало з'ясовано (II) або ж вона невідома (III).

Таблиця 1.2. Вміст хімічних елементів в організмі ссавців

Вміст елементів, % на суху речовину (порядок величин)	I	II	III
	незамінні	роль мало з'ясовано	роль невідома
$10^1 \cdot 10^0$	O, C, H, N, Ca		
$10^0 \cdot 10^{-1}$	P, K, Cl, S, Na		
$10^{-1} \cdot 10^{-2}$	Mg		
$10^{-2} \cdot 10^{-3}$	Zn, Fe	Sr	
$10^{-3} \cdot 10^{-4}$	Cu	Cd, Br	Li, Cs
$10^{-3} \cdot 10^{-5}$	I	F	Sn
$10^{-4} \cdot 10^{-5}$	Mn, V	B, Si	Al, Ba, Cr
$10^{-4} \cdot 10^{-6}$	Mo		Rb
$10^{-4} \cdot 10^{-7}$		Be	Ag
$10^{-5} \cdot 10^{-6}$	Co	Ni	Ga, Ce, As, Hg, Pb, Bi, Ti
$10^{-5} \cdot 10^{-7}$	Se		Sb, U

Основна частина мінеральних речовин плазми крові представлена натрієм і хлором, калій знаходиться переважно в еритроцитах. Натрій бере участь у водному обміні, затримуючи воду в тканинах за рахунок набрякання колоїдних речовин. Хлор, легко проникаючи з плазми в еритроцити, підтримує кислотно-лужну рівновагу. Кальцій, який знаходиться в плазмі головним

чином у вигляді йонів чи зв'язаний з білками, є необхідним для зсідання крові. Йони HCO_3^- і розчинена вуглекислота (CO_2) утворюють бікарбонатну буферну систему, а йони HPO_4^- і $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ – фосфатну буферну систему. У крові знаходиться ще низка інших аніонів і катіонів, у тому числі мікроелементи.

Мікроелементи в організмах було виявлено на початку XIX ст., але фізіологічне значення залишалося невідомим. За сучасними даними, понад 30 мікроелементів вважаються необхідними для життєдіяльності рослин і тварин. Більшість з них – це метали (якщо атомна маса понад 50, то їх називають важкими металами), а також деякі неметали (I, Se, Br, F, As).

В організмі мікроелементи входять до складу різноманітних біологічно активних сполук: ферментів, вітамінів, гормонів, дихальних пігментів. Дія мікроелементів, які входять до складу цих сполук, проявляється головним чином у зміні активності процесів обміну речовин в організмах. Деякі мікроелементи впливають на ріст (Mn, Zn, I – у тварин; B, Mn, Zn, Cu – у рослин), розмноження (Mn, Cu – у тварин; Mn, Cu, Mo – у рослин), кровотворення (Fe, Si, Co) та ін.

Мікроелементи у воді та ґрунтах входять до складу різних сполук, більшу частину з яких представлено нерозчинними формами і лише невелику – рухливими формами, які засвоюються організмами.

Нестача чи надлишок мікроелементів у воді та ґрунті призводить до дефіциту чи надлишку їх у тваринних і рослинних організмах.

При цьому відбувається зміна характеру накопичення (депонування), послаблення чи посилення синтезу біологічно активних речовин, перебудова процесів обміну, вироблення нових адаптацій, можливі так звані ендемічні захворювання людини і тварин. У різних біогеохімічних провінціях, де концентрація мікроелементів не досягає нижніх порогових меж, ендемічні захворювання вдається попереджати і виліковувати додаванням у корми тварин відповідних мікроелементів; для рослин застосовуються мікродобрива. При відгодівлі худоби мікроелементи використовуються також для підвищення продукуючої функції тварин.

Основним джерелом надходження мікроелементів в організм людини є харчові продукти рослинного і тваринного походження. Питна вода задовольняє лише на 1-10 % добову потребу в таких мікроелементах, як I, Cu, Zn, Mn, Co, Mo, і лише для окремих з них (F, Sr) є головним джерелом. Вміст різних мікроелементів у харчовому раціоні залежить від геохімічних умов місцевості, з якої надійшли продукти, а також від їхнього набору.

Для населення розвинутих країн характерним є включення до харчового раціону різноманітних продуктів, значну частину з яких вироблено далеко від місця споживання. У результаті цього усувається вплив на людину геохімічних особливостей місцевості.

Лише два мікроелементи можна вірогідно вважати етіологічними факторами ендемічних захворювань людини – йод (I), нестача якого сприяє виникненню ендемічного зобу, і фтор (F), за надлишку якого виникає флюороз, а за нестачі – карієс.

Для F головним джерелом надходження в організм є вода, для I – молоко і овочі, тобто продукти, які, як правило, виробляються в районі проживання населення. Основним джерелом надходження в раціон більшості інших важливих мікроелементів є хлібопродукти.

Мікроелементи розподіляються в організмі нерівномірно. Підвищене їх накопичення у тому чи іншому органі значною мірою пов'язано з фізіологічною роллю елемента і специфікою діяльності органу (наприклад, переважне накопичення Zn у статевих залозах і його вплив на функцію відтворення). В інших випадках мікроелементи впливають на органи і функції, що пов'язано з місцем їхнього накопичення в організмі.

З віком людини вміст багатьох мікроелементів збільшується (Al, Ti, Cl, Pb, F, Sr, Ni), причому в період росту і розвитку це відбувається порівняно швидко, а після 15-20 років уповільнюється чи припиняється. Дослідження свідчать, що у віці 30-60 років вміст Co, Cu, Ni у крові, Sr у скелеті стає дещо нижчим, ніж у 20-25 років. Деякі елементи знаходяться у крові в йонному стані, наприклад Li; близько 50 % Sr і Fe входять до мінеральних структур кісток, емалі та дентину.

За значенням для життєдіяльності організму мікроелементи поділяють на необхідні (Co, Fe, Cu, Zn, Mn, I, F, Br) та ймовірні необхідні (Al, Sr, Mo, Se, Ni); роль Bi, Ag та інших, які є в тканинах організму, залишається нез'ясованою.

Функції мікроелементів в організмі є досить важливими і різнобічними. Фізіологічну характеристику найважливіших мікроелементів наведено в табл. 1.3, в якій показано ефекти так званих біотичних кількостей (тобто кількостей, які зустрічаються в природі).

Таблиця 1.3. Основні фізіолого-гігієнічні характеристики найважливіших незамінних мікроелементів

Мікро-елемент	Вміст у водних об'єктах, мг/дм ³	Основні джерела надходження до організму	Вміст у добовому харчовому раціоні, мг	Добова потреба, мг/дм ³	Тканини і органи, де накопичується елемент
Al	0-0,1	хлібопродукти	20-100	2-50	печінка, мозок, кістки
Br	0-0,25	хлібопродукти	0,4-1,0	0,5-2,0	мозок, щитовидна залоза
Fe	0,01-1,0	хлібопродукти, м'ясо, фрукти	15-40	10-30	еритроцити, печінка
I	0-0,3	молоко, овочі	0,04-0,2	1,1-1,3	щитовидна залоза
Co	0,01-0,1	молоко, овочі, хлібопродукти	0,01-0,1	0,02-0,2	кров, кістки, гіпофіз, печінка
Mn	0-0,5	хлібопродукти	4-36	2-10	кістки, печінка, гіпофіз
Cu	0-0,1	хлібопродукти, картопля, фрукти	1-10	1-4	печінка, кістки
Mo	0-0,1	хлібопродукти	0,1-0,6	0,1-0,5	печінка, очі, нирки
F	0-2,0	вода, овочі, молоко	0,4-1,8	2-3	кістки, зуби
Zn	0-0,1	хлібопродукти, м'ясо, овочі	6-30	5-20	печінка, простата, сітчатка

Усередині цих меж дія одного і того самого елемента може суттєво змінюватися. Наприклад, малі кількості Mn стимулюють кровотворення та імунореактивність, більші – пригнічують. За збільшення вмісту F у питній воді до 1-1,5 мг/дм³ захворюваність карієсом знижується, а за перевищення 2-3 мг/дм³ розвивається флюороз.

В організмі взаємодія спостерігається і між самими мікроелементами. Наприклад, Co ефективно діє на кровотворення лише за наявності в організмі в достатніх кількостях Fe і Cu; Mn підвищує засвоєння Cu; Cu є антагоністом Mo; F впливає на метаболізм Sr тощо.

У медичному застосуванні мікроелементів спостерігаються значні успіхи у галузі гігієни: йодування солі чи хліба для профілактики ендемічного зобу, фторування води для зниження захворюваності карієсом. Якщо ж F у природних водах багато, робиться дефторування води для зниження захворюваності флюорозом.

В останній час багато говориться про негативну роль важких металів (точніше їх солей) у зв'язку із забрудненням природних вод. Пов'язано це в першу чергу з широким застосуванням важких металів, яких налічується понад сорок, у промисловості (кольорові важкі метали Cu, Ni, Co, Pb, Sn, Zn, Cd, Bi, Sb, Hg) і можливістю надходження їх з виробничими стічними водами у водні об'єкти.

Значні концентрації важких металів у воді, які перевищують ГДК, можуть призводити до їх накопичення в печінці, нирках, кістках, легенях і головному мозку. Із зростанням небезпечної концентрації (а вивести важкі метали з організму швидко неможливо) відбувається дегенеративне переродження клітин та дисфункція життєво важливих органів.

1.3. Гази

З навколишнього середовища, в першу чергу з повітря, яке містить 78 % азоту, 21 % кисню, 0,93 % аргону, 0,03 % вуглекислого газу, в організм безперервно надходить кисень (O₂), що споживається всіма клітинами, органами і тканинами. З організму виділяються вуглекислий газ (CO₂), який в ньому утворюється, і незначна кількість інших газоподібних продуктів обміну речовин. Газообмін є необхідним майже для всіх організмів, без нього неможливий нормальний обмін речовин та енергії, а відповідно і саме життя.

Кисень, який надходить у тканини, використовується для окиснення продуктів, що утворилися в результаті довгого ланцюга хімічних перетворень вуглеводів, жирів і білків. При цьому виділяється CO₂, вода, азотисті сполуки та вивільнюється енергія, яка використовується для підтримання температури тіла і виконання роботи. Кількість утвореного в організмі і виділеного CO₂, залежить не тільки від кількості спожитого O₂, але і від того, що переважно окиснюється – вуглеводи, жири чи білки. Відношення виділеного з організму CO₂ до поглинутого за цей самий час O₂ називається дихальним коефіцієнтом, який приблизно дорівнює 0,7 при окисненні жирів, 0,8 – білків, 1,0 – вуглеводів. Кількість енергії, яка вивільнюється на 1 л спожитого O₂, дорівнює 20,9 кДж (5 ккал) при окисненні вуглеводів і 19,7 кДж (4,7 ккал) при окисненні жирів.

Газообмін збільшується після споживання їжі, особливо багатой на білки. Найбільших величин газообмін досягає під час м'язової діяльності. У людини під час нормальної роботи газообмін збільшується. Вже через 3-6 хв. після її початку досягає певного рівня, а потім утримується протягом усього часу роботи на цьому рівні. За інтенсивної роботи газообмін безперервно зростає, досягаючи максимального для людини рівня (максимальна аеробна робота). Роботу треба припинити, оскільки потреба організму в кисні перевищує цей рівень. Споживання кисню збільшується з 200-300 мл/хв (стан спокою) до 3000 – при роботі, а у добре тренованих спортсменів – до 5000 мл/хв. Відповідно збільшується виділення CO₂ і витрата енергії; одночасно відбуваються зміщення дихального коефіцієнта, пов'язане зі зміною обміну речовин, кислотно-лужної рівноваги і легеневої вентиляції.

Гази, які містяться у крові людини і тварин, знаходяться у розчиненому і хімічно зв'язаному стані. Гази крові складаються з газів, які надходять з навколишнього середовища, і з газів, які утворюються в організмі. Вони надходять у кров і виділяються з неї шляхом дифузії. Вміст кожного з розчинених газів в артеріальній крові зумовлюється його парціальним тиском в альвеолярному повітрі і коефіцієнтом його розчинності у крові. Найбільш важливими є кисень і вуглекислий газ, які знаходяться в крові у розчиненому і зв'язаному стані. Вони утворюють сполуки, які легко розпадаються: CO₂ – солі, що входять у буферні системи крові; кисень, сполучаючись з гемоглобіном, – оксигемоглобін. У результаті газообміну вміст газів у венозній і артеріальній крові є різним (табл. 1.4).

Таблиця 1.4. Вміст газів у крові людини (норма)

Газ	Парціальний тиск, мм. рт. ст.	Вміст, % об'ємні (артеріальна кров)		Парціальний тиск, мм. рт. ст.	Вміст, % об'ємні (венозна кров)	
		розчинений	зв'язаний		розчинений	зв'язаний
O ₂	90-100	0,28	18-20	35-45	0,12	12-15
CO ₂	37-41	2,5-2,6	44-48	42-47	2,8-3,0	48-53
N ₂	560-580	1	0	560-580	1	0
Інші гази	–	сліди	сліди	сліди	–	сліди

1.4. Токсичність радіоактивних елементів

Радіоактивність природних вод зумовлена присутністю в них радіоактивних елементів, які вимиваються з ґрунтів і гірських порід, а також надходять з атмосфери. У водах присутні як природні радіоактивні ізотопи (⁴⁰K, ²²²Rn, ²²⁶Ra, ²³⁸U та ін.), так і штучні (в основному ⁹⁰Sr, ⁹⁰Y, ¹³⁷Cs), які виникають внаслідок ядерних вибухів і аварій на ядерних об'єктах. Штучні радіоактивні речовини надходять у воду разом з атмосферними опадами.

Радіоактивне забруднення зумовлюється продуктами ділення ядер (наприклад, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce), наведеними радіоактивними нуклідами (³H, ²⁴Na, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn та ін.), природно-радіоактивними важкими металами (U, Th, Ra та ін.) і штучними трансурановими елементами (Pu, Am, Cm та ін.).

Потрапляючи в річки, озера, моря й океани радіоактивні речовини поглинаються водяними рослинами і тваринами як безпосередньо з води, так і з попередньої ланки харчового ланцюга. З водоростей радіоактивні речовини переходять у зоопланктон, для якого водорості є їжею, а потім – в організм молюсків, ракоподібних, риб. З поверхні ґрунту через коріння та з атмосферних опадів через листя радіоактивні речовини надходять в рослини і, рухаючись за харчовим ланцюгом, а також з питною водою – в організм тварин (сільськогосподарських включно), а разом з їхнім м'ясом і молоком – в організм людини. Зокрема, ^{90}Sr , потрапляючи в організм людини з овочами і молоком, може накопичуватись у кістковій тканині, особливо у дітей, ^{131}I – у щитовидній залозі.

Зростаюча роль атомної енергетики зумовила нові проблеми захисту природних вод від радіоактивного забруднення. 16 липня 1945 р. у штаті Нью-Мексіко (США) вперше було здійснено вибух ядерного пристрою. А 6 серпня 1945 р. американці скинули ядерну бомбу на м. Хіросіма, 9 серпня 1945 р. – на м. Нагасакі, що прискорило капітуляцію Японії (союзника фашистської Німеччини) у Другій світовій війні (1939-1945 рр.).

На основі відкриттів американських фізиків народилася мирна атомна енергетика. У 1951 р. у США створили першу атомну динамо-машину, яка давала електричний струм. У 1954 р. запрацювала перша у світі атомна електростанція в Обнінську (СРСР).

Станом на 2022 р. у 32 країнах світу на АЕС діє 422 ядерних реактори, з них 104 реактори – у країнах Європейського Союзу, 92 реактори – у США, 15 – в Україні на чотирьох діючих АЕС [42] (рис. 1.1). Перший атомний реактор в Україні введено у дію у 1977 р. на Чорнобильській АЕС.

У стані будівництва у світі знаходиться 57 ядерних енергетичних реакторів (2022 р.).

Шлях до цього проходив через великі та малі аварії на ядерних об'єктах, які завдали шкоди людству. Можна назвати лише найзначніші з них:

- хімкомбінат біля м. Киштим (Південний Урал – СРСР, Росія, 1957 р.);
- атомний комплекс Віндскейл (Велика Британія, 1957 р.);
- АЕС Три-Майл-Айленд (США, 1979 р.);
- Чорнобильська АЕС (Україна, 1986 р.);
- АЕС Фукусіма-І (Японія, 2011 р.).

Токсичність радіоактивних речовин – шкідливий вплив хімічних речовин внаслідок вмісту в них різних концентрацій радіоактивних елементів. Під дією йонізуючого випромінювання цих елементів відбуваються зміни у життєдіяльності та структурі живих організмів (електромагнітне у-випромінювання і потік заряджених α - і β -часточок).

Для біологічної дії йонізуючого випромінювання характерними є деякі загальні закономірності:

1) глибоке порушення життєдіяльності викликається дуже малими кількостями поглинутої енергії. Згідно з «теорією мішені», променеве ураження розвивається при потрапленні енергії в особливо радіочутливу частину клітини – «мішень»;

2) дія випромінювання не обмежується опроміненим організмом, а може поширюватися і на наступні покоління, що пояснюється впливом на спадковий апарат;

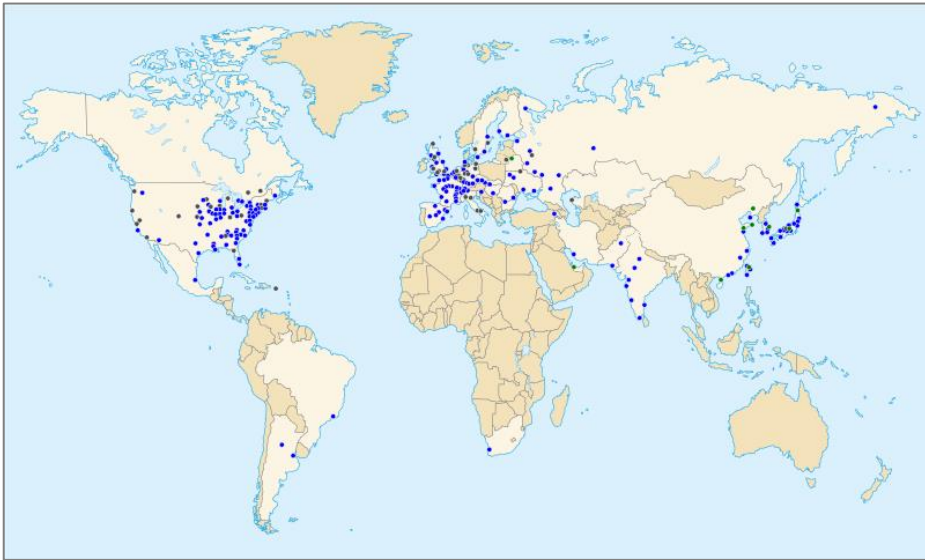


Рис. 1.1. Картохема розташування атомних електростанцій у світі [42]

3) для дії йонізуючого випромінення є характерним прихований (латентний) період, тобто розвиток променевого ураження спостерігається не відразу. Тривалість латентного періоду може коливатися від кількох хвилин до десятків років залежно від дози опромінення, радіочутливості організму тощо.

Зміни, які виникли в опромінених клітинах, призводять до порушень у тканинах, органах, життєдіяльності всього організму. Особливо вираженою є реакція тканин, у яких окремі клітини живуть порівняно недовго. Це слизова оболонка шлунка і кишківника, яка після опромінення вкривається виразками, що призводить до порушення травлення, а потім і виснаження організму, отруєння його продуктами розпаду клітин (токсемія) і проникнення бактерій, які живуть у кишківнику, у кров. Сильно ушкоджується кровотворна система, що призводить до різкого зменшення кількості лейкоцитів і зниження її захисних функцій. Одночасно зменшується і вироблення антитіл, а це ще більше послаблює захисні сили організму. Знижується і кількість еритроцитів, з чим пов'язано зміни у дихальній функції крові. Порушується статева функція і утворення статевих клітин.

Залежно від токсичності радіоактивні елементи поділяються на п'ять груп.

Група А – ізотопи з особливо високою радіотоксичністю, наприклад: ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{232}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm .

Група Б – ізотопи з високою радіотоксичністю, наприклад: ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{126}Sb , ^{126}I , ^{129}I , ^{131}I , ^{144}Ce , ^{170}Tm , ^{210}Bi , ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{227}Th , ^{230}U , ^{233}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{241}Ru .

Група В – ізотопи з середньою радіотоксичністю, наприклад: ^{22}Na , ^{24}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{82}Br , ^{89}Sr , ^{90}Y , ^{91}Y , ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{105}Ru , ^{125}Sb , ^{132}I , ^{134}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{141}Ce , ^{171}Tm , ^{203}Pb , ^{206}Bi , ^{231}Th , ^{239}Np .

Група Г – ізотопи з малою радіотоксичністю, наприклад: ^{14}C , ^{38}Cl , ^{55}Fe , ^{64}Cu , ^{69}Zn , ^{71}Ge , ^{97}Zr , ^{96}Tc , ^{99}Tc , ^{131}Cs , ^{134}Cs , ^{136}Cs .

Група Д – ізотопи з найменшою радіотоксичністю, наприклад ^3H .

Важливою характеристикою радіоактивних елементів є період напіврозпаду (початкова кількість радіоактивного елемента зменшується удвічі). Для різних радіонуклідів період напіврозпаду коливається у значних межах. Наприклад, ^{131}I – 8 діб, ^{129}I – $1,72 \cdot 10^7$ років; ^{238}Pu – 92 доби; ^{239}Pu – $24 \cdot 10^4$ років; ^{137}Cs – 30,2 роки; ^{89}Sr – 51 доба; ^{90}Sr – 28,8 років; ^{238}U – $4,5 \cdot 10^9$ років.

У табл. 1.5 наведено одиниці вимірювання радіоактивності та співвідношення між ними.

Таблиця 1.5. Одиниці СІ та їх співвідношення з несистемними одиницями доз випромінювання

Величина та її символ	Одиниця СІ	Несистемні одиниці	Співвідношення між одиницями
Активність (А)	Бк – беккерель	Ки – кюрі	$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Поглинута доза (П)	Гр – грей	Рад – рад	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ Рад}$
Еквівалентна доза (Н)	Зв – зіверт	Бер – бер	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ Бер}$
Експозиційна доза (Х)	Кл/кг – кулон на кілограм	Р – ренген	$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}$

1.5. Безпечна вода – базове право людини, проголошене ООН

Право на безпечну воду та належну санітарію є базовим правом кожної людини. У 2010 р. Генеральна Асамблея ООН прийняла резолюцію 64/292 «Право людини на воду і санітарію», в якій визнається право на безпечну і чисту питну воду та санітарію, як необхідну умову для повноцінної життєдіяльності людини.

Це право включає п'ять основних узагальнених показників. Вода, що подається людині, має бути: 1) адекватної якості; 2) безпечною; 3) прийнятною; 4) фізично доступною; 5) придатною для особистого і господарсько-питного використання.

У 2015 р. ООН ухвалила Цілі сталого розвитку (ЦСР) на 2015-2030 рр., які включають 17 Глобальних цілей. ЦСР-6 називається «Чиста вода та належна санітарія» і спрямована на забезпечення до 2030 р. сталого управління водними ресурсами та каналізацією для всіх, і перш за все – загального та справедливого доступу до безпечної питної води. У світі 30 % людей не мають доступу до організованого водопостачання (рис. 1.2), а 60 % – не мають адекватних санітарних послуг. Безпечна питна вода та належні гігієнічні умови мають уберегти людей від захворювань, а суспільству надати можливість бути продуктивнішим в економічному відношенні. Завершення відкритої дефекації вимагатиме покращення санітарії для 2,6 млрд людей. При цьому, поліпшиться екологічний стан водних об'єктів.

Якість води, проблеми забруднення. Питання доступності водних ресурсів пов'язане не лише з їхньою кількістю, але і з якістю, на яку впливають антропогенні чинники.



Рис. 1.2. В Африці значна частина людей немає доступу до централізованого водопостачання

Якість води – це поєднання органолептичних (смакових) властивостей води та її хімічного і мікробіологічного складу. Є й інші визначення цього поняття. Наприклад, якість води – це показник стану води щодо потреб одного або декількох біотичних видів або для різних потреб людини. Існують певні стандарти якості води за її призначенням (для господарсько-питних потреб, промисловості, сільського господарства).

Найбільш високі вимоги висуваються до якості води, призначеної для споживання людиною (питна вода). Це, як правило, вода, яка пройшла відповідну обробку. Але не існує загальновизнаних міжнародних стандартів питної води. Деякі розвинені країни мають власні стандарти. У країнах Європейського Союзу діє Європейська директива про питну воду, якою контролюється близько 50 показників [70]. А в США Агентство охорони навколишнього середовища встановило стандарти для питної води з контролем понад 90 забруднювальних речовин, які об'єднуються в 6 груп: мікроорганізми, дезінфекційні засоби, дезінфекційні побічні продукти, неорганічні хімічні речовини, органічні хімічні речовини, радіонукліди. Примітно, що в США навіть до такого природного показника як мінералізація питної води підходять ретельніше, ніж в інших країнах світу – межею є 500 мг/дм^3 (у більшості країн, в т.ч. і в Україні – 1000 мг/дм^3).

Забруднення природних вод є складником проблеми забруднення довкілля, названої серед головних ризиків для планети на Всесвітньому економічному форумі 2015 р. Антропогенна діяльність впливає на природний хімічний склад води та її якість. А забруднена вода може вбивати. Згідно з проведеними дослідженнями, у 2015 р. близько 1,8 млн смертей у світі було пов'язано із вживанням забрудненої води [41].

Забруднювальні речовини, що надходять у воду, включають широкий спектр хімічних речовин, патогенних мікроорганізмів і фізичних параметрів,

зокрема підвищену температуру. Джерела забруднення поверхневих вод за походженням зазвичай групуються у дві категорії: точкові та дифузні.

Точковим джерелом забруднення природних вод є локалізоване та ідентифіковане джерело таке, як труба або канал (наприклад, місце скидів стічних вод з очисних споруд).

Дифузні джерела виносять забруднювальні речовини з делокалізованої території (наприклад, агрохімічні засоби з сільгоспугідь). Найпоширенішим видом забруднення, зокрема в країнах, що розвиваються, є точкові скиди неочищених стічних вод у природні водні об'єкти. Цей тип забруднення часто викликає кумулятивний вплив невеликих кількостей забруднювальних речовин, зібраних з великої території. Типовим прикладом є вимивання азотних сполук з удобрених сільгоспугідь.

Іноді у світі виникають надзвичайні ситуації в результаті катастроф на АЕС (див. розд. 1.4). Вони мають значні негативні наслідки для водних об'єктів. Наприклад, аварії на Чорнобильській АЕС (Україна, 1986 р.) та АЕС Фукусіма-І (Японія, 2011 р.). Обидві аварії мали максимальний 7-й ступінь тяжкості за міжнародною шкалою ядерних подій. В результаті Чорнобильської катастрофи відбулося радіоактивне забруднення води найбільшої річки України – Дніпра (особливо в перші роки після аварії). Радіоактивне забруднення від АЕС Фукусіма-І торкнулося акваторії Тихого океану.

Контрольні питання до розд. 1

- 1) Дати визначення водно-сольового обміну.
- 2) Дати визначення терморегуляції (теплорегуляції).
- 3) Охарактеризувати правильний питний режим.
- 4) Що таке дегідратація та які її наслідки для організму?
- 5) На які групи поділяють хімічний склад природних вод?
- 6) Що таке біогенні елементи? Назвати ці елементи.
- 7) Назвати функції мікроелементів в організмі.
- 8) Охарактеризувати значення газообміну для організмів.
- 9) Назвати природні та штучні радіоактивні ізотопи.
- 10) Дати визначення токсичності радіоактивних речовин.
- 11) Які основні узагальнені показники включає право на безпечну і чисту питну воду?
- 12) В чому полягає різниця між точковими і дифузними джерелами забруднення природних вод?

2. ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ВОДОКОРИСТУВАННЯ У СВІТІ

2.1. Поняття про водні ресурси

Водні ресурси в широкому розумінні – це всі води гідросфери, включаючи води океанів і морів, річок і озер, підземні води, льодовики [6].

Загальний об'єм води на Землі є величезним, але, загалом, це солоні води Світового океану. Прісна вода (мінералізація – до $1,0 \text{ г/дм}^3$), яка підтримує життя на планеті, становить лише 2,5 % від загальних водних ресурсів. Причому, в найдоступніших для використання поверхневих водних об'єктах (озерах і річках) зосереджено лише 0,3 % прісної води. Але, якщо перейти до абсолютних цифр, то видно, що використання прісної води у світі становило, наприклад, у 2016 р. $3853 \text{ км}^3/\text{рік}$ [22], тобто лише 9 % від річкового стоку на планеті; в 2020 р. – $4000 \text{ км}^3/\text{рік}$, або 9,4 % від світового річкового стоку. Теоретично це означає, що ресурсів прісної води достатньо у світі. Чому ж тоді питання дефіциту водних ресурсів на планеті та водної безпеки було включено до списку Всесвітнього економічного форуму 2015 р. в Давосі (Швейцарія), як один з найбільших глобальних ризиків з точки зору потенційного впливу на людське суспільство в наступні десятиліття?

Водна безпека – це здатність населення гарантувати стійкий доступ до достатньої кількості води прийнятної якості для підтримки засобів існування, добробуту людей та соціально-економічного розвитку, для забезпечення захисту від забруднення, якому піддається вода, і стихійних лих, пов'язаних з водою, а також для збереження екосистем в умовах миру та політичної стабільності.

Міжнародними експертами було визначено дев'ять глобальних процесів, які є критичними викликами для довкілля і людства на планеті у ХХІ ст.: зміна клімату; руйнування озонового шару; підкислення океану; надмірне використання прісної води; порушення циклів азоту і фосфору; втрата біорізноманіття; зміна системи землекористування; аерозольне навантаження на атмосферу; хімічне забруднення довкілля.

Для більшості з них запропоновано контрольні параметри (так звані планетарні межі), перетин яких, на думку розробників, свідчатиме про глобальну екологічну катастрофу. Наприклад, для використання прісної води встановлено планетарну межу – $4000 \text{ км}^3/\text{рік}$. І хоча це лише оціночний параметр, запропонований однією з груп вчених, його не можна ігнорувати. Адже використання прісної води невпинно зростає і наблизилось до граничної межі за цим показником. Тому в останні десятиліття у світі з'явилися нові парадигми стосовно використання води: вода сіра, блакитна, зелена, віртуальна, водний слід.

Розподіл води на Землі. Загальна кількість води на Землі оцінюється в 1386 млн км^3 . Близько 97,5 % – це солоні води океанів і морів (середня солоність 35 ‰), частини підземних водоносних горизонтів і солоних озер; 2,5 % – прісна вода (табл.2.1).

Більшість прісної води (68,7 %) накопичується в крижаному і сніговому покриві Арктики і Антарктиди, а також в гірських льодовиках. Близько 30,1 %

представлено прісними підземними водами. І лише 0,3 % прісної води знаходиться в легко доступних поверхневих водних об'єктах – озерах (0,26 %) і річках (0,006 %).

Вирізняють відновні та невідновні ресурси прісних вод. *Відновні ресурси прісних вод* – це річковий стік у Світовий океан, який становить 42,78 тис. км³.

Невідновні (статичні) водні ресурси – вода глибоких горизонтів підземних вод, ступінь поповнення яких незначний у людському вимірі часу.

Таблиця 2.1. Глобальний розподіл води на Землі, км³
(за І.О. Шикломановим, 1998)

Джерело води	Об'єм води, км ³	Частка, %
Океани, моря і затоки	1338000000	96,5
Льодовики і постійний сніговий покрив	24064000	1,74
Підземні води	23400000	1,69
<i>прісні</i>	10530000	0,76
<i>солоні</i>	12870000	0,93
Підземний лід і багаторічна мерзлота	300000	0,022
Озера	176400	0,013
<i>прісні</i>	91000	0,007
<i>солоні</i>	65400	0,006
Волога атмосфери	12900	0,001
Волога ґрунту	16500	0,001
Вода боліт	11470	0,0008
Річки	2120	0,0002
Біологічна вода	1120	0,0001
Всього на Землі	1 386 000 000	–

2.2. Традиційні та альтернативні джерела водних ресурсів

2.2.1. Традиційні джерела водних ресурсів

Річковий стік серед поверхневих вод суходолу (води річок і озер) є найбільш доступним ресурсом і, що найважливіше, відновним. Об'єм води в річці змінюється протягом 2-3 тижнів. Його поповнення природним шляхом відбувається через живлення атмосферними опадами та підземними водами. Природне витрачання річкових вод відбувається в результаті стоку в моря і океани, випаровування і поповнення підземних водоносних горизонтів. У свою чергу, об'єми природного поповнення і втрат річкових вод залежать від кількості опадів і випаровування, проникності ґрунтів і гірських порід, наявності озер, водно-болотних угідь і водосховищ на території водозбору. Граничним чинником для використання поверхневих вод з будь-якого водозбору є середня кількість опадів на рік у цьому басейні.

Загальний об'єм річкового стоку (відновних водних ресурсів) становить близько 42780 км³/рік. Об'єми річкового стоку розподілені на поверхні планети нерівномірно: Азія (32 %), Південна Америка (28 %), Північна Америка (18 %),

Африка (9 %), Європа (7 %), Австралія і Океанія (6 %). Але якщо розглядати цей показник на 1 людину, то враховуючи значну кількість населення в Азії, картина дещо змінюється (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Розподіл об'ємів річкового стоку по континентах

Континент	Річковий стік		
	об'єм, км ³ /рік	% від світового показника	м ³ /рік/людину
Африка	4050	9	4530
Північна і Центральна Америка	7890	18	15400
Південна Америка	12030	28	33400
Азія	13510	32	3360
Австралія і Океанія	2400	6	75900
Європа	2900	7	3900
У світі	42780	100	6800

Найбільші об'єми річкового стоку по країнах наступні, км³/рік: Бразилія – 8233; Росія – 4508; США – 3069; Канада – 2902; Китай – 2738; Колумбія – 2132; Індонезія – 2019; Перу – 1913; Індія – 1911 (рис. 2.1). Ці країни є водними гігантами, на які припадає 60 % світових відновних водних ресурсів.

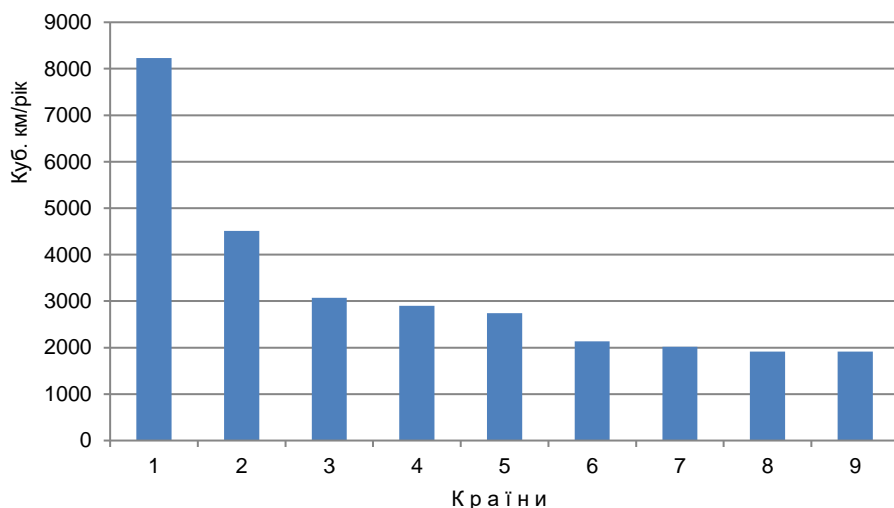


Рис. 2.1. Країни з найбільшим об'ємом річкового стоку у світі, км³/рік: 1 – Бразилія; 2 – Росія; 3 – США; 4 – Канада; 5 – Китай; 6 – Колумбія; 7 – Індонезія; 8 – Перу; 9 – Індія [22]

Залежність від транзитного стоку. Формування відновних водних ресурсів 35-и країн світу залежить більш ніж на 50 % від сусідніх країн: Азербайджан, Аргентина, Бангладеш, Бахрейн, Бенін, Болівія, Ботсвана, В'єтнам, Гамбія, Джибуті, Еритрея, Єгипет, Ізраїль, Ірак, Камбоджа, Конго, Кувейт, Латвія, Мавританія, Мозамбік, Намібія, Нігер, Нідерланди, Пакистан, Парагвай, Португалія, Республіка Молдова, Румунія, Сенегал, Сербія,

Сирійська Арабська Республіка, Сомалі, Судан, Туркменістан, Угорщина, Узбекистан, Україна, Уругвай, Хорватія, Чад.

Підземні води – води, що зосереджені у вигляді підземних водоносних горизонтів. Запаси прісних підземних вод на Землі оцінені в 10,53 млн км³ (30,1 % від запасів прісних вод, або 45 % від сумарних запасів підземних вод). Підземні води при просочуванні вглиб, проходять через низку природних фільтрів. Тому людина використовує підземні горизонти для добування води високої якості. Обмежувальним чинником для використання підземних вод є швидкість інфільтрації підземних вод, незначний ступінь поновлення, а точніше – здатність виснажуватися. Якщо об'єм води в річці змінюється протягом кількох днів, то у підземних горизонтах – протягом сотень і понад тисячу років в залежності від глибини залягання. Об'єм відновних ресурсів підземних вод у світі становить – 12700 км³/рік. Природне поповнення підземних вод відбувається за рахунок просочування атмосферних опадів і поверхневих вод. Природні втрати підземних вод відбуваються через виходи джерел на поверхню землі і стік в океани.

Льодовики – найбільші «запасники» прісних вод (24,1 млн км³ або 68,7 %). Вони покривають близько 10 % поверхні Землі. В Антарктиді 98 % території вкрито льодом середньої товщини 2100 м. Відносно невелика частина льоду наявна в гірських льодовиках (Гімалаї, Анди, Скелясті гори та ін.), але їхня роль надзвичайно важлива. Наприклад, десяток найбільших річок в Азії (Янцзи, Хуанхе, Меконг, Інд та ін.) беруть початок з льодовиків Гімалаїв і підтримують життя понад 1 млрд людей в регіоні. Величезні брили континентальних льодовиків сповзають у море і утворюють айсберги. Найчастіше це відбувається біля берегів Гренландії і Антарктиди. Ще в середині ХХ ст. з'явилися проекти використання айсбергів в якості джерел прісної води шляхом їх буксирування до материків. Але такі проекти залишаються надзвичайно вартісними і вимагають додаткових досліджень.

2.2.2. Альтернативні джерела водних ресурсів

Обмеженість доступу до традиційних водних ресурсів вимагає пошуку нових підходів з включення так званих альтернативних джерел водних ресурсів (*unconventional water resources*) у світову водну стратегію. В регіонах з водним дефіцитом вже сьогодні проявляється сильний імператив до залучення альтернативних джерел прісної води [6].

Ось деякі підходи в цьому напрямі (одні з них впроваджені, інші перспективні): 1) опріснення морської води і солоних підземних вод; 2) використання ґрунтових вод в регіонах, в яких наявність міжпластових підземних вод обмежена глибокими водоносними горизонтами; 3) доставка води танкерами і транспортування айсбергів; 4) мікромасштабний збір дощової води; 5) збір атмосферної вологи шляхом конденсації роси на спеціальних пристроях; 6) використання відновленої (рециркуляційної) води або оборотного водопостачання (очищення стічних вод на підприємствах без скидання стічних вод), використання сірої та зливної води; 7) збір і використання сільськогосподарських дренажних вод. Перші п'ять типів альтернативних водних ресурсів можна вважати «новою водою», а останні два – «використаною водою».

Відновлена або рециркуляційна вода – це вода, отримана в процесі обробки (очищення) стічної води, яка може бути використана повторно для різних цілей. Найбільш поширеною є система оборотного водопостачання на промислових підприємствах – замкнута система, яка дозволяє повторно використовувати стічні води, що пройшли через очисні споруди підприємства. Концепція оборотного водопостачання підприємства виключає скидання промислових стічних вод у водні об'єкти або міську каналізацію.

Сіра вода – частина господарсько-побутових стічних вод, що формуються з умивальників, ванн і душових, яка забруднена жиром і миючими речовинами, але, на відміну від *чорної води* (стічна вода з туалетів), не містить фекальних забруднень. Її використання вивільняє ресурси прісних вод, які можна використати для виробництва питної води. Там, де цей процес застосовується, діє подвійна система трубопроводів для відокремлення відновленої води від питної. Сфера застосування відновленої сірої води – не питне використання. Вона є ефективною для: зрошення сільгоспугідь, міських парків і полів для гольфу; поповнення поверхневих і підземних водних об'єктів; охолодження агрегатів ТЕС; змішування бетону; автомийок; промивання туалетів.

Близько 50 країн світу використовують стічні води для зрошення (на них, припадає 10 % площі зрошуваних земель). Завдання полягає в переході від безконтрольної іригації до планового і безпечного використання стічних вод, як це робиться в долині р. Йордан, де з 1977 р. 90 % стічних вод використовується для зрошення земель. В Ізраїлі відновлені стічні води становлять майже 50 % від усієї води, що використовується для іригації. Система з використання відновленої води комунальним департаментом району Іст-Бей в Каліфорнії (США) економить близько 20,9 млрд л прісної води на рік. Цього достатньо, щоб забезпечити питною водою 83 тис. домогосподарств.

Опріснена вода – вода, отримана в процесі штучного видалення мінеральних компонентів з солоної води (морської або підземної) до показника мінералізації, придатного для використання в повсякденному житті, а також в промисловості та іригації. На сьогодні більше опріснюють морську воду. Через високі енергетичні затрати опріснена вода набагато дорожча, ніж отримана з традиційних джерел. Але у світі є райони, в яких ці джерела не доступні. Опріснення води особливо є нагальним для країн посушливих регіонів, таких як країни Близького Сходу. Це також важливо для густонаселених районів світу, таких як Сингапур або Каліфорнія в США.

У 2018 р. у світі на 15906 діючих опріснювальних установках було вироблено близько 95 млн м³ на день опрісненої води для використання людиною [41]. Таким чином, близько 300 млн осіб було забезпечено прісною водою. Варто зазначити, що на Близькому Сході розташовано близько 50 % світових опріснювальних установок. Більшість з них – у Саудівській Аравії, Об'єднаних Арабських Еміратах, Кувейті та Бахреїні. На сьогодні існує значний інтерес до підвищення рентабельності опріснення води. У майбутньому, опріснення може стати важливим джерелом прісної води, навіть конкурентним у певних регіонах з атмосферними опадами. Між тим, зазначимо, що 44 країни світу не мають виходу до моря, що позбавляє їх потенційно важливих джерел води для опріснення в майбутньому.

Опріснення води в Європі. Опріснення є швидко зростаючим сектором «блакитної економіки» в Європейському Союзі. Так, в ЄС станом на 2022 р. налічувалося понад 2300 установок із опріснення морської води з більш ніж 18 тис. по всьому світу. Середземномор'я є місцем розташування для більшості з них. В ЄС щодня виробляється близько 9,2 млн м³ опрісненої води – близько 10% від світових потужностей [6].

За останні десятиліття потужності з опріснення води в Європі значно зросли. Протягом 2000-2009 років це зростання становило 4,58 млн м³/день із загальними інвестиціями в 4 млрд євро в проектування, закупівлі та будівництво. Протягом 2010-2019 років було додано лише 0,84 млн м³/день нових потужностей із інвестиціями в 630 млн євро. Більшість додаткових потужностей, побудованих в цей період, були реалізовані на малих і середніх установках (заводах).

Основні тренди у залученні альтернативних джерел прісної води свідчать, що на сьогодні найпоширенішим є повторне використання стічних вод та опріснення морської води. Наприклад, в 2019 р. загальне щорічне використання нетрадиційних водних ресурсів в Китаї перевищило 9 млрд м³ (1,5 % від загального водокористування в країні за рік), з яких на відновлену стічну воду припадає понад 80 %. Всього ж на сьогодні Китай використовує близько 600 км³ води на рік. Сім країн Аравійського півострова виробляють близько 50 % опрісненої води у світі, США – 10 %.

У країнах з дефіцитом водних ресурсів розвивається також мікромасштабний збір дощової води. Штат Тамілнад став першим в Індії, в якому з 2001 р. директивним шляхом запроваджено обов'язковий збір дощової води для кожного домогосподарства в сільській місцевості. Згодом цей досвід було застосовано в інших індійських штатах (Карнатака, Раджастхан, Махараштра). Збором дощової води переймаються в Ізраїлі, Шрі-Ланці, Таїланді, Китаї, Новій Зеландії, Аргентині, Бразилії та інших країнах.

2.3. Використання водних ресурсів у світі

2.3.1. Водокористування у світі – за галузями та континентами

За останні 100 років загальне водокористування зросло у 4,5 рази: з 885 км³ (1920 р.) до 4000 км³ у 2020 р. (80 % – поверхневі води, 20 % – підземні). Кількість населення зросла у 4,2 рази: з 1,86 млрд осіб (1920 р.) до 7,8 млрд (2020 р.). У табл. 2.3 на основі синтезу даних з кількох джерел наведено динаміку показників загального водокористування та кількості населення протягом 1901-2020 рр. та прогноз до 2050 р. [22, 41].

За прогнозами, через збільшення населення водокористування у 2050 р. може досягти близько 5500 км³, що становитиме критичну межу для водних ресурсів планети з позицій екологічної сталості.

У наш час у світі в середньому за 1 день використовується 2000–5000 м³ на 1 людину води для виробництва раціонів харчування (з урахуванням так званої віртуальної води) та задоволення щоденних потреб у питній воді і санітарії. Варто зазначити, що власне для пиття людині необхідно 2–4 м³ на день.

Таблиця 2.3. Динаміка загального водокористування (км³) та кількості населення (млрд осіб) на Землі протягом 1901-2020 рр. та прогноз на 2050 р. [22, 41]

Показник	Роки							
	1901	1920	1940	1960	1980	2000	2020	2050
Водокористування, км ³	670	885	1110	1752	3073	3786	4000	5500
Кількість населення, млрд	1,6	1,86	2,3	3,03	4,46	6,14	7,8	9,74

Основні три види водокористування, за якими ведеться статистика, наступні: сільськогосподарське (70 % світового водокористування), промислове (20 %); господарсько-питне (10 %) – рис. 2.2.

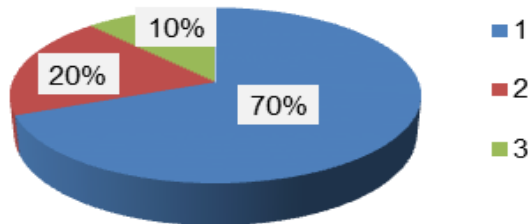


Рис. 2.2. Основні види водокористування у світі, %: 1 – сільськогосподарське; 2 – промислове; 3 – господарсько-питне

Як видно з табл. 2.4, використання води для одних і тих же потреб у світі дуже коливається залежно від регіону. Наприклад, в Азії використання води для сільськогосподарських, промислових і господарсько-питних потреб становить відповідно: 81, 10 і 9 %.

Таблиця 2.4. Основні види водокористування по континентах, %

Континент	Види водокористування, %		
	сільськогосподарське	промислове	господарсько-питне
Африка	81	4	15
Північна Америка	40	47	13
Південна Америка	71	12	17
Азія	81	10	9
Австралія і Океанія	65	15	20
Європа	58	29	13

Важливість використання води в регіоні у сільському господарстві багато в чому залежить як від клімату, так і від ролі аграрного сектору в економіці країни або регіону. В середині континентів теж є значна різниця в секторах водокористування, зумовлена природними та економічними умовами.

Сільськогосподарське водокористування (70% від світового) – це використання води для вирощування сільськогосподарських культур та худоби з метою забезпечення виробництва продуктів харчування

(враховується також використання води для іригації та прісноводного рибальства).

Сільськогосподарське водокористування є найбільш чутливим індикатором до світової динаміки населення і нестачі води. Близько 50 років тому існувала думка, що вода є невичерпним ресурсом. На той час людству потрібна була лише 1/3 об'єму води, який зараз відбирається з річок. З того часу населення планети подвоїлася і досягло 7,8 млрд осіб у 2020 р. Споживання м'яса і овочів значно зросло, тому збільшилася кількість води, необхідної для аграрного сектору. За оцінками експертів, населення планети може зрости до: 8,5 млрд – 2030 р.; 9,7 млрд – 2050 р.; 10,9 млрд – 2100 р. Зрозуміло, що попит на воду для виробництва продуктів харчування значно збільшиться. Чи він збільшиться у цій же пропорції, буде залежати від технологій виробництва сільськогосподарської продукції. У світі докладаються зусилля для виробництва більшої кількості продуктів харчування з меншою кількістю води. Це може бути досягнуто за рахунок вдосконалення водного менеджменту, оптимізації методів зрошення та інших технологічних процесів в землеробстві.

Промислове водокористування (20% від світового) – використання води для вироблення продукції на промислових підприємствах, а також електроенергії. Основними водокористувачами в промисловості є ГЕС і ТЕС. Вода також використовується для технологічних процесів на металургійних і нафтопереробних заводах, на промислових підприємствах, на яких вона слугує розчинником. Водокористування в промисловості може бути дуже високим для окремих країн або регіонів, наприклад, Європа або Північна Америка (див. табл. 2.4), але в глобальних масштабах промисловість використовує значно менше води, ніж сільське господарство. У 2015 р. ГЕС виробили 16,6 % від загального світового обсягу електроенергії і 70 % – серед виробників електроенергії з відновних джерел. Очікується, що виробництво електроенергії на ГЕС буде зростати на 3,1 % щорічно протягом наступних 25 років [22]. Але ж ГЕС вимагає створення водосховищ.

У світі для ГЕС використовується 22 % водосховищ одноцільового призначення і 16 % – комплексного. Випаровування води з поверхні водосховища набагато вище, ніж випаровування з річки. Це призводить до значного збільшення показника витрат води в цьому секторі промисловості. На промислових об'єктах давно запроваджено системи оборотного водопостачання, особливо в системах охолодження. У розвинутих країнах існує тенденція до стимулювання використання у промисловості сірої води.

Господарсько-питне водокористування (10 % від світового) – використання води для пиття і приготування їжі, задоволення гігієнічних потреб (купання, змив туалету, прання) і поливу зелених насаджень. Потреби в господарсько-питному водокористуванні оцінюються в 50 л/день на 1 людину, не враховуючи воду для поливу в саду. Питна вода повинна мати найвищу якість. Її споживання або використання не повинно нести ніякого ризику для здоров'я людини. У більшості розвинених країн вся вода, яку постачають для домашнього господарства, торгівлі і промисловості, має стандарт питної води. Хоча для питних цілей та приготування їжі використовується лише невелика її частина. У сфері господарсько-питного водокористування також стимулюється використання сірої води (не для

пиття). Наприклад, система, в якій відновлена сіра вода з душових кабін і ванн використовується для промивання туалетів, може забезпечити зменшення використання води для середнього домогосподарства на 30%.

Рекреаційні та екологічні потреби у воді розглядають в деяких країнах як окремі види водокористування. Хоча за ними й не ведеться міжнародна статистика. Ці види водокористування не вилучають воду з довкілля, але можуть обмежувати її доступність для інших водокористувачів на деякий час або у певному місці. Наприклад, підтримання протягом сезону певного рівня води у водосховищах для відпочинку населення, плавання на човнах та яхтах (рекреаційне водокористування) може обмежувати забір води для ГЕС. Частіше за все узгодженість досягається шляхом регулювання лімітів водокористування для різних суб'єктів.

Економічне зростання без збільшення водокористування. Деякі країни доводять можливість економічного зростання без збільшення використання води. Наприклад, зростання економіки Австралії за 2001–2009 рр. становило понад 30 %, а водокористування – зменшилося на 40 %.

На думку Наукової комісії ООН, найефективнішим способом вирішення проблеми економічного зростання без збільшення водокористування є розробка урядами держав та реалізація планів комплексного управління водними ресурсами. Ці плани повинні враховувати весь водний цикл: забір води з джерела → розподіл води між користувачами → економічні проблеми водокористування → очищення стічних вод → повторне використання відновлених стічних вод → скидання очищених стічних вод у довкілля.

2.3.2. Виснаження прісноводних ресурсів

Виснаженням вод називається зменшення поверхневого водного стоку нижче мінімально допустимого рівня або скорочення запасів підземних вод.

Поверхневі прісні води мають тривалу історію використання людством, як відновні водні ресурси. Але в наш час вони стають помітно забрудненими, що постає важливою проблемою. Забрудненість призводить до значного зниження можливості використання поверхневих вод і вимагає обов'язкової попередньої обробки води, забраної з джерел водопостачання.

Підземні води. Загальний світовий видобуток підземних вод оцінюється приблизно в 1000 км³/рік. Частка 10 найбільших країн-користувачів підземних вод (Індія, Китай, США, Пакистан, Іран, Бангладеш, Мексика, Саудівська Аравія, Індонезія та Італія) становить 72% від видобутих на планеті [22, 41]. Підземні води використовуються на: зрошення – 65 %; господарсько-питне водопостачання – 25 %; промислове водопостачання – 10 %. Підземні прісні води забезпечують майже половину всієї питної води у світі. Вони стали важливим чинником для забезпечення засобів існування і продовольчої безпеки для сільських домашніх господарств у найбідніших регіонах Африки та Азії. Джерела підземних вод широко представлені у світі, але однією з основних проблем є ризик виснаження деяких водоносних горизонтів через неконтрольований і нерелевантний водозабір (що вже відбувається в Тунісі). Іншою проблемою є ризик погіршення якості підземних вод через засолення прісноводних горизонтів в результаті проникнення солоних морських вод (Іспанія, Ізраїль) та антропогенне забруднення.

Льодовики не використовуються безпосередньо як джерела водопостачання. Але вони є важливим джерелом живлення річок у багатьох регіонах світу. Як показали дослідження Міжнародного центру комплексного розвитку гір (Непал) проблема еволюції льодовиків, наприклад, у Гімалаях, загострюється тим, що тут температура повітря зростає швидше, ніж глобальна середня температура на Землі. Збільшення кількості талої води через зростання глобальних температур може мати негативні наслідки у вигляді катастрофічних повеней. Але якщо процеси танення льодовиків триватимуть надалі, то це призведе до зменшення їхньої кількості, а то й зникнення в довгостроковій перспективі. Це зумовить зменшення водності річок, скорочення доступних водних ресурсів.

Кліматичні зміни впливають на водні ресурси через генетичний зв'язок між кліматом та гідрологічним циклом. Кліматичні зміни призводять до зростання мінливості гідрологічного режиму водних об'єктів. Підвищення температури сприятиме посиленню евтрофікації водних об'єктів, що погіршить якість води. Зростатиме попит на зрошення сільгоспугідь, тобто на додаткову воду. В цілому, кліматичні зміни матимуть глибокий вплив на водний сектор світової економіки через зростання потреб у воді та необхідність перерозподілу водних ресурсів на глобальному, регіональному, басейновому й місцевому рівнях.

2.4. Дефіцит водних ресурсів: методи оцінювання

2.4.1. Дефіцит водних ресурсів та його причини

Дефіцит водних ресурсів – це нестача ресурсів прісної води для задоволення потреб населення у питній воді та використання на господарські потреби. Деякі регіони Землі історично страждали від дефіциту водних ресурсів. Але в останні десятиліття проблема водного дефіциту почала розглядатися в глобальному масштабі, оскільки вона зачіпає всі континенти. Глобальний дефіцит водних ресурсів має географічні та соціально-економічні причини.

Географічні причини водного дефіциту зумовлені просторовою та часовою (сезонною) невідповідністю попиту на прісну воду та її доступності. Близький Схід та Північна Африка страждають від дефіциту водних ресурсів протягом всього року, оскільки це пустельні та напівпустельні регіони. А, наприклад, в Індії спостерігаються значні сезонні коливання. Тут велика частина відновних водних ресурсів формується протягом 3-місячного періоду мусонних дощів (липень-вересень), коли випадає 70–95 % річної кількості атмосферних опадів.

Соціально-економічні причини водного дефіциту зумовлені зростанням населення світу, підвищенням рівня життя, зміною структури споживання та збільшенням площ зрошуваних угідь. Ці причини стали ключовими у зростанні світового попиту на прісну воду. Проявом симптомів водного дефіциту може бути зниження рівня підземних вод, погіршення загального стану довкілля.

Вже в 2011 р. 41 країна зіткнулася з проблемою водного дефіциту, причому 10 з них, практично виснажили свої водні ресурси. Очікується, що

водний дефіцит матиме тенденцію до зростання, але завдяки адекватній політиці низку його причин можна передбачити, усунути або пом'якшити. Як відзначалося вище, на теоретичному рівні прісної води достатньо для задоволення потреб нинішнього населення світу, що нараховує 7,8 млрд осіб, або навіть у разі його зростання до 9 млрд. Але реалії в світі інші.

Прогноз дефіциту водних ресурсів, виконаний експертами Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСД), в якому за базові рівні взято 2000 р. та 2050 р., показує наступне. Дефіцит прісної води в 2050 р. може торкнутися на 3,3 млрд більше людей, ніж у 2000 р. Понад 40 % населення планети, за прогнозами, буде проживати в річкових басейнах, які відчуватимуть сильні водні стреси, особливо в Північній та Південній Африці, Південній та Центральній Азії. Глобальний попит на воду може вирости на 55 % за рахунок зростання потреб у воді для: промисловості (+ 400 %); виробництва теплової електроенергії (+ 140 %); господарсько-питного водопостачання (+ 130 %). Очікується, що в 2050 р. залишаться без доступу до сучасних санітарних умов 1,4 млрд осіб. Водна безпека стає істотним чинником в контексті уразливості глобалізаційних процесів.

2.4.2. Методи оцінювання дефіциту водних ресурсів

Можна виділити гідрологічні методи, гідролого-біологічні та гідролого-економічні.

Гідрологічний метод оцінювання дефіциту водних ресурсів – це розрахунок відношення об'єму загальних відновних водних ресурсів (поверхневих і підземних) за рік до кількості населення в країні або регіоні. Країни ранжуються за кількістю водних ресурсів у м³ на рік на 1 людину. Приклад порогових значень загальних відновних водних ресурсів для країни за індикатором водного стресу Фалькенмарк наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Порогові значення загальних відновних водних ресурсів для країни за індикатором водного стресу Фалькенмарк, м³/рік/людину

№	Водний статус в країні	Загальні водні ресурси, м ³ /рік/людину
1	Водні ресурси стабільні	> 2500
2	Водна вразливість	1700-2500
3	Водний стрес	< 1700
4	Водний дефіцит	< 1000
5	Абсолютний водний дефіцит	< 500

Показник 1000 м³/рік/людину загальних відновних водних ресурсів Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (FAO) вважає мінімально прийнятним для економіки країни та забезпечення сільгоспвиробництва. Незважаючи на міжнародне визнання, індикатор Фалькенмарк має суттєві недоліки. А саме, він розглядає лише традиційні відновні поверхневі та підземні водні ресурси в країні. Водозабезпеченість на 1 людину обчислюється як середня величина за рік, нехтується специфіка сухих сезонів, посушливих регіонів на території країни, не враховується якість води, яка може лімітувати використання наявних ресурсів.

FAO застосовує для стратегічного оцінювання і прогнозів показник водозабезпеченості за загальними відновними водними ресурсами в країні (внутрішні + транзитні).

В цьому відношенні унікальною країною є Ізраїль, який має загальних відновних водних ресурсів 1,78 км³/рік (0,56 – поверхневі води; 1,22 – підземні) [22,41]. У 2017 р. на 1 людину там припадало 214 м³/рік. Тобто, за цим показником Ізраїль – країна абсолютного водного дефіциту. В той же час, він має розвинену економіку і справляється з водною проблемою (за рахунок опріснення морської води, збирання атмосферної вологи, використання відновлених стічних вод для іригації тощо).

Зазначимо, що далеко не всі розвинені країни мають високі показники водозабезпеченості. За даними FAO наведемо приклади по деяких країнах у порівнянні з Україною (водні ресурси загальні / внутрішні), м³/рік/людину: Бельгія (1601 / 1050); Данія (1046 / 1046); Польща (1585 / 1404); Республіка Корея (1367 / 1272); Україна (3964 / 1246); ФРН (1875 / 1303).

Метод блакитної та зеленої води. Поняття зеленої та блакитної води вперше були введені у 1995 р. Згодом вони лягли в основу відповідної парадигми Стокгольмського міжнародного водного інституту (Швеція) про сумарний ресурс (блакитна вода + зелена вода) при оцінюванні можливостей світового аграрного сектору з виробництва необхідного раціону харчування (табл. 2.6).

Таблиця 2.6. Кількість людей на Землі, яких торкнувся дефіцит водних ресурсів у 2000 р., та прогноз на 2050 р., млрд осіб (за Дж. Рокстремом і М. Фалькенмарк, 2009)

Континент	Водний дефіцит, 2000 р.		Водний дефіцит, 2050 р.	
	блакитна вода	блакитна + зелена	блакитна вода	блакитна + зелена
Африка	0,25	0,02	0,83	0,57
Північна Америка	0	0	0,05	0,0052
Південна Америка	0	0	0	0
Азія	2,76	0,26	5,46	3,35
Океанія	0	0	0	0
Європа	0,16	0	0,16	0,00081
У світі	3,17	0,27	6,50	3,93

Зелена вода – це вода у шарі ґрунту, що знаходиться у ненасиченій зоні, утворена атмосферними опадами та доступна для живлення рослин. На сьогодні вона ніяким чином офіційно не враховується.

Блакитна вода – це вода річок, озер, заболочених ділянок та підземних водоносних горизонтів, яка може бути вилучена для зрошення та інших видів водокористування.

Обидва ресурси важливі для виробництва продуктів харчування. Богарне землеробство використовує лише зелену воду, тоді як зрошуване землеробство використовує як зелену, так і блакитну воду. В усьому світі використання зеленої води для вирощення врожаїв в 4 рази перевищує кількість блакитної води, що вказує на величезний потенціал можливостей у

цьому напрямі – зробити зелену воду продуктивнішою в сільському господарстві. Зокрема, за рахунок зменшення різниці між загальними обсягами зеленої води та її продуктивними обсягами (на живлення рослин).

Якщо при розрахунках водних ресурсів застосовувати парадигму сумарного ресурсу (зелена вода + блакитна вода), то проблема водного дефіциту набуває м'якшого характеру (див. табл. 2.6). Порогове значення дефіциту блакитної води в цих розрахунках дорівнює 1000 м³/рік/людину; сумарне порогове значення (блакитна + зелена вода) – 1300 м³/рік/ людину. Населення світу: 2000 р. – 6,14 млрд осіб; 2050 р. – 9,74 млрд осіб.

Індекс експлуатації водних ресурсів (WEI – water exploitation index), або індекс вилучення водних ресурсів по країні дає уявлення про те, як загальний попит на воду чинить тиск на водні ресурси. Він також визначає ті країни, які мають високий попит на свої водні ресурси і, отже, схильні до проблем нестачі води. WEI використовується FAO, раніше використовувався Європейським агенством з довілля, яке перейшло на застосування індексу експлуатації водних ресурсів плюс (WEI+) [6, 38]. Детальніше про WEI+ див. розд. 3.3.

WEI являє собою частку від ділення середнього річного обсягу вилученої прісної води (*D*) на обсяг довгострокових середніх ресурсів (*R*) прісної води:

$$WEI = D / R \quad (2.1)$$

У табл. 2.7 наведено граничні значення індексу експлуатації водних ресурсів WEI для позначення рівнів водного стресу в країні.

Таблиця 2.7. Граничні значення індексу експлуатації водних ресурсів (WEI) для позначення рівнів водного стресу в країні

№	Водний статус в країні	Значення WEI, %
1	Відсутність водного стресу	< 10
2	Низький рівень водного стресу	10 - < 20
3	Водний стрес	20 - < 40
4	Високий рівень водного стресу	≥ 40

2.4.3. Віртуальна вода, водний слід

Дефіцит водних ресурсів породжує все нові підходи стосовно оцінювання витрачання води на різні потреби – для вирощування сільгосппродукції, вироблення тих чи інших товарів у промисловості. Так з'явилися поняття «віртуальна вода» та «водний слід».

Віртуальна вода – загальний об'єм прісної води, що використано для отримання продукту, підсумований на всіх етапах виробничого ланцюга. Це поняття запроваджено британським географом Джоном Алланом у 1993 р. Наприклад, для виробництва 1 т пшениці необхідно витратити близько 1300 м³ води. Торгівля віртуальною водою – переміщення з одного місця в інше прихованого об'єму води, втіленого у харчові або промислові товари, якими здійснюється торгівля (звідси – експорт-імпорт віртуальної води). Якщо країна імпортує 1 т пшениці, а не виробляє її на внутрішньому ринку, то вона економить близько 1300 м³ реальної води. А та країна, що здійснила експорт пшениці, навпаки, втратила цей об'єм. Деякі країни, наприклад, Ізраїль, в якого наявний абсолютний дефіцит водних ресурсів, перешкоджає експорту

апельсинів (відносно водоемної культури) саме для запобігання експорту великої кількості віртуальної води за межі країни.

Водний слід – ступінь використання води щодо забезпечення споживчих потреб людини (підприємства, країни), який враховує об'єм використаної води, конкретне джерело її забору, а також час та інтенсивність використання. Концепція водного сліду, яку запропонував у 2002 р. Ар'єн Хукстра (Нідерланди), поглибила концепцію торгівлі віртуальною водою. Поняття «водний слід» може застосовуватися до будь-якого водокористувача (людини, підприємства, країни).

Водний слід людини – це не лише вода з крану, а й вода витрачена на виробництво товарів і послуг, які вона споживає. Середній світовий показник водного сліду людини 1390 м³ на рік.

Водний слід країни – це кількість води, що використовується для виробництва товарів і послуг, які споживаються населенням країни. Країна може мати внутрішній і зовнішній (експорт-імпорт) водний слід. Аналіз водного сліду країн ілюструє глобальний вимір використання води. Деякі країни значною мірою покладаються на іноземні водні ресурси, імпортуючи водоемні товари, тим самим впливаючи на використання та забруднення водних ресурсів в інших регіонах планети.

До країн, найбільш залежних від імпорту віртуальної води, належать Кувейт і Мальта (87 %), Нідерланди (82 %), Бахрейн і Бельгія (80%). Найбільшу частку віртуальних потоків води між країнами дає торгівля сільгосппродуктами (на 76 % – рослинництва; на 12 % – тваринництва). Торгівля промисловою продукцією формує 12 % світових потоків віртуальної води.

2.5. Вода і збройні конфлікти

2.5.1. Збройні конфлікти і проблеми водної інфраструктури

Збройний конфлікт (воєнний конфлікт) – вид збройного протистояння між державами або соціальними спільнотами всередині них з метою вирішення економічного, політичного та інших протиріч, за допомогою обмеженого застосування кожною із сторін військової сили.

Війна – форма ведення військових дій збройними силами держави з метою підпорядкування противника волі політичного керівництва однією із сторін. Лише держави або групи держав можуть проводити війну згідно з визначенням, прийнятим у міжнародному праві. Війна характеризується формальним актом її оголошення [20].

Збройний конфлікт (ЗК) відрізняється від війни обмеженістю поставлених сторонами кінцевих цілей. ЗК не ставить за мету створення загрози існуванню політичної та економічної системи, загрози суверенітету супротивника. Цілями ЗК є перетворення або збереження наявних відносин, зміна військово-політичної обстановки на свою користь, здобуття економічної вигоди, політичних чи стратегічних переваг.

У ході збройних конфліктів і війн часто навмисно або ненавмисно завдається шкода водним об'єктам (водній інфраструктурі). Деякі аспекти, які стосуються питання «вода і збройні конфлікти», висвітлюються в міжнародному гуманітарному праві, яке встановлює права і обов'язки

суб'єктів конфліктів стосовно заборони або обмеження використання певних методів ведення збройної боротьби.

Під час бойових дій необхідно дотримуватися чотирьох основних заборон, що мають пряме відношення до води (систем водопостачання).

Заборонено: 1) використання отрути як засобу ведення війни; 2) знищення майна супротивника; 3) напади на об'єкти критичної інфраструктури (необхідної для виживання цивільного населення); 4) напади на об'єкти, що містять небезпечні сили (наприклад, АЕС). Вода як елемент довкілля знаходиться і під захистом правил, що застосовуються до довкілля.

Питання захисту водної інфраструктури вимагає подальшого вивчення, оскільки під час збройних конфліктів напади на водну інфраструктуру неодноразово фігурували в інформаційних повідомленнях.

В 2019 р. під егідою Женевського центру водних ресурсів було розроблено так званий «Женевський перелік принципів захисту водної інфраструктури», який об'єднує правила, що регулюють захист водної інфраструктури відповідно до міжнародного гуманітарного права, міжнародного права в галузі прав людини, міжнародного екологічного права і міжнародного водного права [20].

2.5.2. Типи водних конфліктів

Водні конфлікти – це конфлікти між країнами, державами чи соціальними групами за доступ до водних ресурсів. Як показує досвід, невоєнні водні конфлікти можуть перерости в збройне протистояння. І навпаки, під час ведення бойових дій, розпочатих не через воду, виникають ті або інші види водних конфліктів. Упродовж історії людства відбувалися конфлікти, пов'язані з водою.

Одним з перших розгляд проблеми водних конфліктів започаткував у 1990-і роки американський вчений Пітер Глейк. Ним було запропоновано класифікацію водних конфліктів. Вода (або водна система) може бути тригером, зброєю або жертвою (табл. 2.8). База даних Тихоокеанського інституту (США) показує, що насильство, пов'язане з водою, почалося кілька тисяч років тому. За період 2000-2022 рр. у цій базі зафіксовано близько 900 випадків водних конфліктів, з них в Україні – близько 15 (2014-2022 рр.).

Таблиця 2.8. Класифікація водних конфліктів за роллю води в них і прояву насильницьких дій [20]

Тип водного конфлікту	Характеристика водного конфлікту
Вода як тригер	вода є ключовою причиною конфлікту, коли виникає суперечка за контроль над водним об'єктом або коли економічний та фізичний доступ до води пов'язаний з насильством
Вода як зброя	водні об'єкти (водні ресурси) використовуються як інструмент в насильницькому конфлікті
Вода як жертва	забруднення водних об'єктів, руйнування або пошкодження водної інфраструктури як навмисно, так і випадково в наслідок збройних конфліктів

2.5.2.1. Вода як тригер

Річка Ніл. В 1994 р. збройні сили Єгипту увійшли до Судану, щоб забезпечити контроль над водами р. Ніл, з якого п'є майже весь Єгипет.

Згодом Єгипет і Судан об'єдналися проти Ефіопії, яка вирішила збільшити забір води з Нілу. У верхній частині басейну Нілу на р. Блакитний Ніл (права притока Нілу, що дає 60 % її стоку) у 2011 р. Ефіопія розпочала будівництво водосховища і ГЕС «Відродження Ефіопії». В результаті, стік нижче у р. Ніл (рис. 2.3) може скоротитися з 40 км³/рік до 30 км³/рік. У 2021 р. завершено заповнення водосховища (67 км³ води). Нижче за течією знаходяться Судан і Єгипет, з якими проект не було узгоджено і для яких можуть бути катастрофічні наслідки. Між трьома країнами тривають складні переговори.



Рис. 2.3. Картошкама басейну р. Ніл з розташуванням водосховища і ГЕС «Відродження Ефіопії» на р. Блакитний Ніл

2.5.2.2. Вода як зброя

ДніпроГЕС, 1941 р. Історія водних конфліктів на території України починається з ДніпроГЕС – двох підривів греблі під час Другої світової війни (1939-1945 рр.) [13]. У серпні 1941 р., відступаючи під натиском німецьких військ, Червона Армія підірвала греблю ДніпроГЕС з метою призупинити наступ німецького агресора та недопущення роботи ГЕС на окупованій території. Вода була використана як зброя (рис. 2.4).

Через пробоїну довжиною понад 100 м ринула хвиля, що підняла рівень води в нижньому б'єфі на декілька метрів, спричиняючи загибель людей, які опинилися в зоні затоплення. Кількість людських жертв не задокументована. Є оціночні показники, які сягають кількох десятків тисяч осіб, в основному з радянського боку, в меншій мірі – з німецького. Через півроку німці відбудували станцію. Восени 1943 р., відступаючи під натиском Червоної Армії, вже німецькі війська здійснили підрив греблі ДніпроГЕС.

Північнокримський канал, 2014 р., 2022 р. Після анексії Криму Росією в 2014 р. Україна припинила подачу води з Дніпра Північнокримським каналом - ПКК (402,6 км).



Рис. 2.4. Гребля ДніпроГЕС, підірвана Червоною Армією 18.08.1941 р., щоб призупинити наступ німецьких військ (м. Запоріжжя, Україна)

ПКК забезпечував до 80 % водопостачання Криму (рис. 2.5). Мотивація – за міжнародними нормами забезпечувати потреби окупованої території зобов'язана країна, яка її окупувала – тобто Росія. При цьому, Росія, не звертаючись до України, звинуватила її в ООН у використанні води як зброї. Російська Федерація 24 лютого 2022 р. розпочала повномасштабну військову агресію на території України. Російські окупаційні війська, захопивши гідротехнічні споруди Каховської ГЕС, 26 лютого 2022 р. підірвали греблю в Херсонській області, яка стримувала поставку води до окупованого Криму, та запустили воду в Північнокримський канал (рис. 2.6).

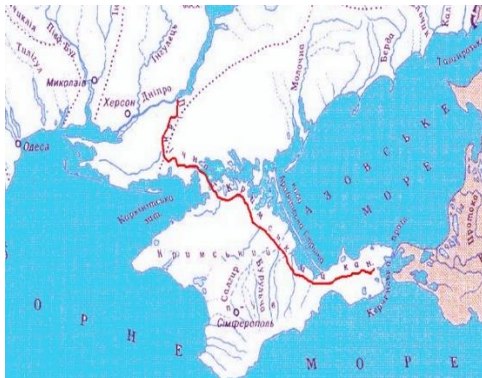


Рис. 2.5. Схема розташування Північнокримського каналу



Рис. 2.6. Підрив греблі російськими військами на 107-км Північнокримського каналу, 26.03.2022

Річка Ірпінь, 2022 р. Річка Ірпінь протікає в межах Житомирської та Київської областей, є правою притокою Дніпра. Довжина 162 км, площа басейну – 3340 км². Біля с. Козаровичі Вишгородського району Київської області впадає в Київське водосховище, де вода р. Ірпінь піднімається насосною станцією через дамбу до рівня водосховища (рис. 2.7).

Відбувається це тому, що рівень води в Київському водосховищі має відмітку 103 м над рівнем моря, а рівень води в гирлі р. Ірпінь – 97 м.

Із повідомлення інформ агентства УНІАН 26 лютого 2022 р.: «Пошкоджено дамбу в місці впадіння річки Ірпінь у Київське водосховище..., там підірвано шлюзи – вода тече з водосховища в річку. Дамбу зараз контролюють російські окупанти. Вона залишалася єдиною переправою через річку Ірпінь, оскільки всі інші мости підірвані».



а) 26 лютого 2022 р.



б) 21 березня 2022 р.

Рис. 2.7. Стан запливи р. Ірпінь під час вторгнення Російської Федерації в Україну в 2022 р.: а) 26 лютого 2022 р. – до підриву дамби при впадінні р. Ірпінь у Київське водосховище на Дніпрі – заплава не затоплена; б) 18 березня 2022 р. – після підриву цієї дамби – заплава затоплена [20]

Як показали супутникові знімки Європейського космічного агентства (див. рис. 2.7), станом на 21 березня 2022 р. вода, що ринула з Київського водосховища в р. Ірпінь, затопила заплаву річки і прилеглі садиби в селах вздовж русла: Демидів, Гута Межигірська, Червоне, Раківка і майже досягла Гостомеля. Зображення, зроблені супутником Sentinel.

Розлив р. Ірпінь став додатковим захистом рубежів Києва і значно звузив можливості для сухопутних маневрів агресора. Пізніше було повідомлено, що дамба в гирлі р. Ірпінь була підірвана представниками Збройних сил України, тобто вода була використана як зброя.

2.5.2.3. Вода як жертва

Операція британських ВПС в Німеччині, 1943 р. Операція «Chastise» (англ. «покарання») – кодова назва авіаційного удару військово-повітряних сил Великої Британії під час Другої світової війни (1939-1945 рр.) по греблях у Німеччині 17 травня 1943 р. з використанням спеціально розроблених бомб.

Внаслідок бомбардування в греблі водосховища Менезее (рис. 2.8) на р. Мене утворилася пробоїна в 77 м, через яку вода прорвалася в Рурську долину і змила майже тисячу будинків, мости. Понад сотня заводів зупинили роботу. У м. Нехайм-Хюстен постраждало понад 800 осіб. Також було зруйновано і греблю водосховища на р. Едер – утворилася пробоїна в 70 м.

Водосховище в долині р. Мене мало об'єм 0,13 км³, водосховище в долині р. Едер – 0,1 км³. А ось на р. Зорпе цього не вдалося зробити через потужну роботу сил протиповітряної оборони Німеччини. Якби британцям вдалося знищити три інші водосховища в районі, долина Рура була б повністю позбавленою води на всі літні місяці.

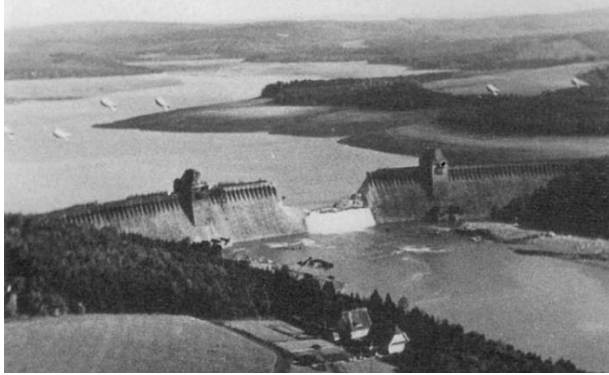


Рис. 2.8. Гребля водосховища на р. Мене після нальоту ВПС Великої Британії, 1943 р. (Німеччина)

Боснійська війна (1992-1996 рр.), м. Сараєво. Під час збройних конфліктів відбувається навмисне або ненавмисне пошкодження критично важливої водної інфраструктури (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Багатотисячна черга мешканців Сараєво в 1993 р. за водою з р. Міляцка (басейн Дунаю), централізоване водопостачання відсутнє. Боснійська війна 1992-1996 рр. [67]

Це може загрожувати життєдіяльності міст і мільйонів людей. Так відбувалося, наприклад, внаслідок облоги столиці Боснії – м. Сараєво сербськими військами (1993 р.), коли не працювала система водопостачання і каналізації.

Донбас (2014-2021 рр.). На Донбасі в Україні водні конфлікти проявилися в період активних бойових дій (з 2014 р.), коли системи водопостачання ставали навмисними або ж випадковими жертвами насильства [20].

Річка Сіверський Донець є основним джерелом, що забезпечує близько 90% обсягу водокористування в регіоні; підземні води – 10%. Варто також відзначити, що р. Сіверський Донець підживлюється дніпровською водою з каналу Дніпро-Донбас (довжина – 263 км, збудований 1982 р.). Канал Сіверський Донець-Донбас, що подає воду в регіоні, має загальну довжину 133 км, з яких 28 км знаходиться в трубопроводі діаметром близько 1,5 м. Ці ділянки є найбільш вразливими при артобстрілах (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Пошкодження артобстрілами ділянок трубопроводу каналу Сіверський Донець – Донбас призвело до припинення водопостачання населених пунктів Донбасу на кілька тижнів (2014-2021 рр.) [20]



Рис. 2.11. 11 червня 2017 р. артилерійськими обстрілами була пошкоджена насосна станція Південно-Донбаського водогону в районі окупованої Ясинуватої. Водопостачання припинилося по обидва боки розмежування [60]

Протягом 2014-2015 рр. через пошкодження під час обстрілів канал Сіверський Донець-Донбас неодноразово зупиняв роботу. Чіткого обліку таких подій в Україні немає. У базі даних Тихоокеанського інституту значиться понад десяток записів по водних конфліктах на Донбасі, які мали значний суспільний резонанс. В той же час, місія UNICEF зафіксувала 89 атак на воду в 2018 р. і 58 – за перше півріччя 2019 р.

Наприклад, 11 червня 2017 р. артилерійськими обстрілами була пошкоджена насосна станція Південно-Донбаського водогону в районі окупованої Ясинуватої (рис. 2.11). Припинено водопостачання 5 фільтрувальних станцій. Понад тиждень без централізованого водопостачання залишалися 14 міст і 58 селищ. На території підконтрольній Україні без води були міста Волноваха, Селидове, Українськ, Гірник, Новоградівка, Покровськ, Мирноград, Родинське, Мар'їнка, Вугледар та ін.

За даними місії UNICEF в ході війни на Донбасі загинуло 9 і поранено 26 працівників, пов'язаних з експлуатацією та ремонтом систем водопостачання. Також за цей період пошкоджено або зруйновано близько 60 споруд системи водопостачання. Міжнародні експерти вважають, що понад 4,2 мільйона осіб (з них 0,5 мільйона дітей) страждали від пошкодження водопроводів на Донбасі. Під час робіт з відновлення водопровідних систем, які тривали інколи кілька тижнів, населенню доводилося задовольнятися привозною водою.

2.2.3. Воєнна агресія Росії проти України (з 24 лютого 2022 р.)

Блокада Маріуполя. Воєнна облога м. Маріуполь російськими окупаційними військами тривала з 24 лютого до 20 травня 2022 р., коли зрештою місто було захоплено агресором. Через блокаду з 3 березня 2022 р. в місті не було електрики, води, газу, опалення та мобільного зв'язку. Неможливо було доставляти в місто воду, продукти. Місто майже повністю зруйновано бомбардуванням російських військ. Блокадники змушені були збирати дощову воду, щоб пити і готувати їжу на вуличних багаттях.

Деякі інші регіони. В засобах масової інформації повідомлялося щодо обстрілів та пошкодження об'єктів водної інфраструктури (рис. 2.12, 2.13).



Рис. 2.12. Миколаїв – воду розвозять з допомогою трамвайного вагону (літо 2022 р.)



Рис. 2.13. Київ – черги біля бювету підземних вод після ракетного удару (осінь 2022 р.)

Так, 20 квітня 2022 р. 87 сіл та містечок на Миколаївщині опинились без води. А обласний центр на той час був вже тиждень без централізованого водопостачання. Через бойові дії пошкоджено водогін «Дніпро-Миколаїв», по якому здійснюється постачання води з р. Дніпро до Миколаєва.

14 березня 2022 р. результаті обстрілу військами РФ було зруйновано очисні споруди стічних вод м. Василівка Запорізької обл. Стічні води міста почали надходити в р. Дніпро без будь якого очищення.

Місто Київ. За даними Київської міської військової адміністрації, станом на кінець 2022 р. зазнало 52 російських повітряних атак. Загальна тривалість повітряної тривоги склала 29 днів. В Києві пошкоджено понад 678 об'єктів, у тому числі понад 350 житлових будинків, 80 об'єктів житлово-комунального господарства, 77 закладів освіти, 26 – охорони здоров'я та 25 об'єктів транспортної інфраструктури. В місті періодично вимикається електропостачання, а відповідно і водопостачання. Так, після ракетного удару 31 жовтня 2022 р. 40 % квартир киян залишалися без води, доки ремонтні служби не налагодили роботу систем (див. рис. 2.13).

Знищення греблі Каховського водосховища. 6 червня 2023 р. російські агресори підірвали греблю Каховської ГЕС (м. Нова Каховка), вчинивши найбільший акт екоциду за період повномасштабного вторгнення в Україну (рис. 2.14). На Херсонщині були затоплені території 48 населених пунктів, на Миколаївщині – 23 (рис. 2.15). Здійснено евакуацію населення.

До р. Дніпро потрапило щонайменше 150 т мастила. Нараховано збитки водним ресурсам орієнтовно 2 млрд грн. І це без врахування збитків природно-заповідному фонду, ґрунтам, біорізноманіттю, лісовим та іншим природним ресурсам. Сума тільки збільшиться.

Підрив греблі Каховського водосховища поставив під питання можливість постачання дніпровської води в Крим. Північнокримський канал, яким вона надходить до окупованого в 2014 р. півострова, бере свій початок в кількох сотнях метрів біля зруйнованої греблі.



Рис. 2.14. Гребля Каховської ГЕС на Дніпрі, підірвана російськими агресорами 6 червня 2023 р.



Рис. 2.15. Зона затоплення території нижче підірваної греблі Каховського водосховища в пониззі Дніпра

Контрольні питання до розд. 2

- 1) Дати визначення водних ресурсів.
- 2) Що розуміють під традиційними джерелами прісної води?
- 3) Яке місце займає Європа у світі за об'ємом річкового стоку?
- 4) Що розуміють під альтернативними джерелами прісної води?
- 5) Яку частку у водокористуванні у світі становить сільське господарство, промисловість, комунальне господарство?
- 6) Як варіюється по континентах (зокрема в Європі) частка у водокористуванні сільського господарства, промисловості, комунального господарства?
- 7) Що означає поняття «водний дефіцит»? Його причини.
- 8) Назвати методи оцінювання водного дефіциту.
- 9) Назвати порогові значення водних ресурсів для країни за індикатором водного стресу Фалькенмарк.
- 10) Що означають поняття «зелена вода» та «блакитна вода»?
- 11) Що являє собою індекс експлуатації водних ресурсів (WEI).
- 12) Що означає поняття «віртуальна вода»?
- 13) Що означає поняття «водний слід»?
- 14) Що означає поняття «водний конфлікт»?
- 15) Навести класифікацію водних конфліктів за роллю води в них і прояву насильницьких дій.

3. ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ВОДОКОРИСТУВАННЯ В ЄВРОПІ ТА В УКРАЇНІ

3.1. Загальні та внутрішні відновні водні ресурси

Основні завдання політики у сфері водних ресурсів Європи полягають у сприянні стійкому використанню води на основі довготривалого захисту наявних водних ресурсів; забезпечення балансу між забором та поповненням підземних вод з метою досягнення доброго стану підземних вод. В даний час загальний підхід до використання водних ресурсів у Європі базується на довгостроковій основі.

Європейське агентство з довкілля (ЄАД) є структурою ЄС, яка надає незалежну інформацію про довкілля, в т. ч. і про стан водних ресурсів.

Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (FAO) має «Глобальну інформаційну систему FAO по воді та сільському господарству» (скорочено – FAO Aquastat), одну з найбільш досконалих баз даних стосовно водних ресурсів по всіх країнах світу (в т.ч. Європи), оскільки частка сектору сільського господарства у світовому водокористуванні становить 70 %. Дані, які містяться в цій базі по всіх країнах світу, отримуються від профільних урядових органів країн світу (звіти, публікації, офіційні сайти тощо), з інформаційних баз інших агентств ООН.

Для характеристики водних ресурсів взято перелік з 50 країн Європи [6].

У базі даних FAO Aquastat у розділі по континенту «Європа» знаходиться 46 держав. Інформація по водних ресурсах таких країн як Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія – відсутня (або, практично відсутня). Хоча в інших загальних розділах певна інформація по цих країнах є.

Інформація по 5 країнах (Азербайджан, Грузія, Вірменія, Казахстан, Туреччина), які геополітично приналежні до Європи, з бази даних FAO Aquastat взяті у розділі по континенту «Азія». Так, Азербайджан, Грузія та Вірменія знаходяться в рубриці «Азія. Кавказ», Туреччина – в «Азія. Близький Схід».

Тому, виходячи із сказаного вище, відзначимо, що в табл. 3.1-3.5, в яких виконано різні варіанти ранжування водних ресурсів по країнах, фігурують не 50, а 45 країн.

В розділі «Водні ресурси» глобальної інформаційної системи FAO Aquastat наводиться близько 40 показників по країнах світу.

Ось деякі з них: внутрішній річковий стік; внутрішні підземні води; загальні внутрішні відновні водні ресурси; загальні внутрішні відновні водні ресурси на 1 людину; надходження річкового стоку в країну зовні; річковий стік в інші країни; загальний обсяг поверхневих вод; загальні водні ресурси; загальні водні ресурси на 1 людину; коефіцієнт зовнішньої залежності водних ресурсів тощо.

Нижче наведемо означення деяких з показників, інформація про які міститься в базі даних FAO Aquastat.

Відновні водні ресурси – це річковий стік разом з частиною підземних вод, які можна задіяти для використання, що гідравлічно не зв'язані з річковим стоком.

Внутрішні відновні водні ресурси – це річковий стік, сформований на даній території за рахунок випадіння атмосферних опадів разом з частиною підземних вод, які можна задіяти для використання, що гідравлічно не зв'язані з річковим стоком.

Загальні відновні водні ресурси – це сумарний річковий стік, сформований на даній території (внутрішній стік) разом з транзитним стоком з територій сусідніх країн за виключенням стоку за межі даної країни, а також частина підземних вод, доступних для використання.

Показник відновних водних ресурсів на одну людину (або водозабезпеченість) – обсяг води, який припадає на одну людину, отриманий шляхом ділення середньорічного обсягу водних ресурсів в країні на кількість населення (м³/рік/людину).

3.1.1. Загальні відновні водні ресурси

Річковий стік Європи становить близько 2900 км³ на рік (7 % світових водних ресурсів) та 3900,4 м³/рік/людину. Проте водні ресурси розподілено між країнами нерівномірно (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Ранжування країн Європи за показником загальних відновних водних ресурсів (м³/рік/людину), 2019 р. (за В.К. Хільчевським) [6]

№	Країна*	м ³ /рік/людину	№	Країна	м ³ /рік/людину
1	Ісландія	507463	24	Люксембург	5998
2	Норвегія	74081	25	Казахстан	5844
3	Росія	31426	26	Нідерланди	5342
4	Хорватія	25185	27	Андорра	4101
5	Фінляндія	19917	28	Україна	3984
6	Сербія	18451	29	Азербайджан	3529
7	Латвія	17918	30	Франція	3247
8	Швеція	17556	31	Італія	3223
9	Грузія	16189	32	Північна Македонія	3072
10	Словенія	15322	33	Молдова	3029
11	Ірландія	10920	34	Болгарія	3006
12	Румунія	10773	35	Вірменія	2652
13	Угорщина	10697	36	Туреччина	2621
14	Боснія і Герцеговина	10693	37	Іспанія	2405
15	Албанія	10307	38	Велика Британія	2221
16	Естонія	9779	39	Німеччина	1875
17	Словацьчина	9196	40	Бельгія	1601
18	Австрія	8895	41	Польща	1585
19	Литва	8478	42	Чехія	1238
20	Португалія	7493	43	Данія	1046
21	Швейцарія	6312	44	Кіпр	661
22	Греція	6129	45	Мальта	117,2
23	Білорусь	6115			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

У 2019 р. загальні відновні водні ресурси на одну людину коливалися від 117,2 м³/рік/людину на Мальті та 661 м³/рік/людину на Кіпрі до 74081 м³/рік/людину у Норвегії та понад 500000 м³/рік/людину в Ісландії (див. табл. 3.1). Тому середнє значення для регіону має незначний сенс.

Якщо взяти за орієнтир порогові значення загальних відновних водних ресурсів за індикатором водного стресу Фалькенмарк (м³/рік/людину) – див. табл. 2.5, то країни розташуються наступним чином:

а) *стан водних ресурсів стабільний* (> 2500 м³/рік на людину) – Ісландія, Норвегія, Росія, Хорватія, Фінляндія, Сербія, Латвія, Швеція, Грузія, Словенія, Ірландія, Румунія, Угорщина, Боснія і Герцеговина, Албанія, Естонія, Словаччина, Австрія, Литва, Португалія, Швейцарія, Греція, Білорусь, Люксембург, Казахстан, Нідерланди, Андорра, Україна, Азербайджан, Франція, Італія, Північна Македонія, Молдова, Болгарія, Вірменія, Туреччина;

б) *наявна водна вразливість* (1700-2500 м³/рік на людину) – Іспанія, Велика Британія, Німеччина;

в) *наявний водний стрес* (< 1700 м³/рік на людину) – Бельгія, Польща, Чехія, Данія;

г) *наявний водний дефіцит* (< 1000 м³/рік на людину) – Кіпр;

д) *наявний абсолютний водний дефіцит* (< 500 м³/рік на людину) – Мальта.

В табл. 3.2 наведено дані про середньорічні обсяги загальних відновних водних ресурсів в країнах Європи в абсолютних значеннях – км³/рік.

Таблиця 3.2. Ранжування країн Європи за обсягом загальних відновних водних ресурсів (км³/рік), 2019 р. (за В.К. Хільчевським) [6]

№	Країна	км ³ /рік	№	Країна	км ³ /рік
1	Росія	4525	24	Білорусь	57,9
2	Норвегія	393	25	Швейцарія	53,5
3	Румунія	212	26	Ірландія	52
4	Туреччина	211,6	27	Словаччина	50,1
5	Франція	211	28	Боснія і Герцеговина	37,5
6	Італія	191,3	29	Латвія	34,94
7	Україна	175,3	30	Азербайджан	34,7
8	Швеція	174	31	Словенія	31,9
9	Ісландія	170	32	Албанія	30,2
10	Сербія	162,2	33	Литва	24,5
11	Німеччина	154	34	Болгарія	21,3
12	Велика Британія	147	35	Бельгія	18,3
13	Іспанія	111,5	36	Чехія	13,2
14	Фінляндія	110	37	Естонія	12,8
15	Казахстан	108	38	Молдова	12,3
16	Хорватія	105,5	39	Вірменія	7,8
17	Угорщина	104	40	Північна Македонія	6,4
18	Нідерланди	91	41	Данія	6
19	Австрія	77,7	42	Люксембург	3,5
20	Португалія	77,4	43	Кіпр	0,78
21	Греція	68,4	44	Андорра	0,32
22	Грузія	63,3	45	Мальта	0,05
23	Польща	60,5			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

3.1.2. Внутрішні відновні водні ресурси

У 2019 р. внутрішні відновні водні ресурси на одну людину коливалися від 117,2 м³/рік/людину на Мальті та 399,9 м³/рік/людину в Молдові до 72008 м³/рік/людину у Норвегії та понад 500000 м³/рік/людину в Ісландії (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Ранжування країн Європи за показником внутрішніх відновних водних ресурсів (м³/рік/людину), 2019 р. (за В.К. Хільчевським) [6]

№	Країна	м ³ /рік/людину	№	Країна	м ³ /рік/людину
1	Ісландія	507463	24	Болгарія	2964
2	Норвегія	72008	25	Туреччина	2811
3	Росія	29947	26	Північна Македонія	2592
4	Фінляндія	19374	27	Іспанія	2399
5	Швеція	17254	28	Словаччина	2313
6	Грузія	14859	29	Велика Британія	2191
7	Боснія і Герцеговина	10123	30	Вірменія	2341
8	Ірландія	10290	31	Румунія	2154
9	Естонія	9702	32	Люксембург	1714
10	Албанія	9181	33	Польща	1404
11	Хорватія	9000	34	Німеччина	1303
12	Словенія	8976	35	Україна	1264
13	Латвія	8687	36	Чехія	1238
14	Австрія	6297	37	Бельгія	1050
15	Литва	5349	38	Данія	1046
16	Греція	5197	39	Сербія	956,3
17	Швейцарія	4766	40	Азербайджан	825,7
18	Андорра	4101	41	Кіпр	661
19	Португалія	3679	42	Нідерланди	645,7
20	Білорусь	3591	43	Угорщина	617,2
21	Казахстан	3469	44	Молдова	399,9
22	Франція	3078	45	Мальта	117,2
23	Італія	3074			

При порогових значеннях внутрішніх відновних водних ресурсів за індикатором водного стресу Фалькенмарк (м³/рік/людину) країни розташуються наступним чином:

а) *стан водних ресурсів стабільний* (> 2500 м³/рік на людину) – Ісландія, Норвегія, Росія, Фінляндія, Швеція, Грузія, Боснія і Герцеговина, Ірландія, Естонія, Албанія, Хорватія, Словенія, Латвія, Австрія, Литва, Греція, Швейцарія, Андорра, Португалія, Білорусь, Казахстан, Франція, Італія, Болгарія, Туреччина, Північна Македонія;

б) *наявна водна вразливість* (1700-2500 м³/рік на людину) – Іспанія, Словаччина, Велика Британія, Вірменія, Румунія, Люксембург;

в) *наявний водний стрес* (< 1700 м³/рік на людину) – Польща, Німеччина, Україна, Чехія, Бельгія, Данія;

г) *наявний водний дефіцит* (< 1000 м³/рік на людину) – Сербія, Азербайджан, Кіпр, Нідерланди, Угорщина;

д) *наявний абсолютний водний дефіцит* (< 500 м³/рік на людину) – Молдова, Мальта.

В табл. 3.4 наведено дані про середньорічні обсяги внутрішніх відновних водних ресурсів в країнах Європи в абсолютних значеннях – км³/рік.

Таблиця 3.4. Ранжування країн Європи за обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів (км³/рік), 2019 р. (за В.К. Хільчевським) [6]

№	Країна	км ³ /рік	№	Країна	км ³ /рік
1	Росія	4312	24	Білорусь	34
2	Норвегія	382	25	Албанія	26,9
3	Туреччина	227	26	Болгарія	21
4	Франція	200	27	Словенія	18,67
5	Італія	182,5	28	Латвія	16,94
6	Швеція	171	29	Литва	15,46
7	Ісландія	170	30	Чехія	13,15
8	Велика Британія	145	31	Естонія	12,71
9	Іспанія	111,2	32	Словаччина	12,6
10	Фінляндія	107	33	Бельгія	12
11	Німеччина	107	34	Нідерланди	11
12	Казахстан	64	35	Сербія	8,4
13	Грузія	58,13	36	Азербайджан	8,1
14	Греція	58	37	Вірменія	6,9
15	Україна	55,1	38	Угорщина	6
16	Австрія	55	39	Данія	6
17	Польща	53,6	40	Північна Македонія	5,4
18	Ірландія	49	41	Молдова	1,62
19	Румунія	42,38	42	Люксембург	1
20	Швейцарія	40,4	43	Кіпр	0,78
21	Португалія	38	44	Андорра	0,32
22	Хорватія	37,7	45	Мальта	0,05
23	Боснія і Герцеговина	35,5			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

3.1.3. Зовнішня залежність водних ресурсів по країнах

Багато річкових систем спільно використовуються двома чи більше країнами Європи. На ці загальні системи припадає 22 % водних ресурсів території Європейського Союзу. Така ситуація багато в чому зумовлена невеликою площею багатьох країн.

Наприклад, до басейну Дунаю причетні 19 країн. Басейн Рейну об'єднує 7 країн. Більшість великих річок є транскордонними водотоками, місцями по них проходить кордон (Дунай, Дніпро, Рейн, Рона, Маас, Одер, Драве, Тахо, Дору, Гвадіана, Еврос, Еско та ін.).

Деякі країни Європи, що мають досить високі показники загальних відновних водних ресурсів (> 2500 м³/рік на людину), значною мірою залежать від транзитних водних ресурсів. Їхні показники можуть виявитися нижче від порога в 1000 м³/рік/людину (наявний водний дефіцит), якщо їм доведеться покладатися лише на внутрішні ресурси. Зокрема, Азербайджан, Молдова, Нідерланди, Сербія, Угорщина (див. табл. 3.1 та 3.3).

Залежність водних ресурсів певної країни від транзитних водних ресурсів, що надходять з територій сусідніх країн, визначається коефіцієнтом зовнішньої залежності водних ресурсів ($K_3, \%$):

$$K_3 = W_{TP} / W_{ЗАГ}, \quad (3.1)$$

де W_{TP} – об'єм водних ресурсів, що формується за межами країни;

$W_{ЗАГ}$ – об'єм загальних водних ресурсів.

До країн Європи, формування водних ресурсів у яких відбувається більше ніж на 50 % за їхніми межами, належать: Португалія, Латвія, Хорватія, Україна, Люксембург, Словаччина, Азербайджан, Румунія, Молдова,

Нідерланди, Угорщина, Сербія (табл. 3.5). Діапазон K_3 за переліком цих країн становить від 50,9 % (Португалія) до 94,8 % (Сербія).

Таблиця 3.5. Ранжування країн Європи за коефіцієнтом зовнішньої залежності відновних водних ресурсів (K_3 , %), 2019 р. (за В.К. Хільчевським) [6]

№	Країна	%	№	Країна	%
1	Ісландія	0	24	Греція	15,2
2	Данія	0	25	Північна Македонія	15,6
3	Кіпр	0	26	Швейцарія	24,49
4	Мальта	0	27	Австрія	29,2
5	Андорра	0	28	Німеччина	30,5
6	Іспанія	0,27	29	Бельгія	34,4
7	Чехія	0,4	30	Литва	36,9
8	Естонія	0,75	31	Казахстан	40,6
9	Велика Британія	1,4	32	Білорусь	41,3
10	Туреччина	1,52	33	Словенія	41,4
11	Швеція	1,7	34	Португалія	50,9
12	Фінляндія	2,7	35	Латвія	51,5
13	Норвегія	2,8	36	Хорватія	64,27
14	Болгарія	3,2	37	Україна	68,6
15	Італія	4,6	38	Люксембург	71,4
16	Росія	4,7	39	Словаччина	74,9
17	Франція	5,2	40	Азербайджан	76,6
18	Ірландія	5,8	41	Румунія	80
19	Грузія	8,2	42	Молдова	86,8
20	Боснія і Герцеговина	8,5	43	Нідерланди	87,9
21	Албанія	10,9	44	Угорщина	94,23
22	Польща	11,4	45	Сербія	94,8
23	Вірменія	11,7			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

3.2. Використання водних ресурсів. Водний дефіцит в Європі

Забір води в країнах ЄС становить 353 км³/рік, що означає близько 10% загальних запасів прісної води. У Європі більшість води використовується з поверхневих водних об'єктів – 74 % загального водозбору припадає на річки та водосховища, а 24,5 % – на підземні води (табл. 3.6). Показники забору є найвищими у вегетаційний період.

Таблиця 3.6. Забір прісної води з різних водних об'єктів в країнах ЄС, % (2019 р.) [6, 20]

№	Водні об'єкти	Забір води, %
1	Річки	61,9
2	Водосховища	12,1
3	Озера	1,5
4	Підземні води	24,5

Вода використовується у сільському господарстві (58,3 %), промисловості (28, 8%) та на господарсько-побутові цілі (9,6 %). Таким чином,

сільське господарство є сектором економіки, який використовує найбільшу частку відновних водних ресурсів (табл. 3.7).

Таблиця 3.7. Використання прісної води для різних цілей в країнах ЄС, % (2019 р.) [39]

№	Вид водокористування	Використано води, %
1	Сільське господарство	58,3
2	Промисловість	28,8
3	Господарсько-побутове	9,6
4	Сфера обслуговування	3,3

3.2.1. Регіони водного дефіциту

Дефіцит води виникає, коли водокористування дуже велике в порівнянні з обсягом доступної відновної прісної води. Наприклад, в 2019 р. протягом як мінімум одного сезону водний дефіцит торкнувся 29 % території ЄС та 38% його населення.

Незважаючи на те, що забір води в ЄС скоротився на 15% у період з 2000 по 2019 рік, загального скорочення площі території, якої стосується водний дефіцит, не відбулося. Фактично з 2010 р. спостерігається погіршення ситуації, що робить малоімовірним скорочення дефіциту води до 2030 р. Необхідні додаткові зусилля для забезпечення стійкого водокористування.

Водний дефіцит характерний для країн Південної Європи. Це особливо актуально влітку через підвищення водозбору у сільському господарстві, комунальному водопостачанні та туризмі. Через дуже інтенсивне зрошення Середні Апенніни та басейни річок По (Італія), Гвадіана (Португалія та Іспанія) та Сегура (Іспанія) відчувають гостру нестачу води протягом усього року. Середземноморські острови, такі як Балеарські, Крит та Сицилія, відчувають постійний і серйозний дефіцит води протягом усього року, при цьому сільське господарство та туризм чинять дуже сильний тиск.

Проте дефіцит води не обмежується Південною Європою. В інших частинах Європи урбанізація у поєднанні з великим забором води для енергетики, промисловості та комунального водопостачання також може призвести до нестачі води. Вищий тиск на водні ресурси, ніж у середньому по регіону, можна спостерігати на значній території міст – Копенгагена, Лондона і Стокгольма, а також у басейнах річок Луара, Маас, Одер і Везер.

3.2.2. Зміни клімату – посухи посилюють водний дефіцит

Зміни клімату, як очікується, призведуть до подальшого збільшення кількості, інтенсивності та впливу посух, що значно утруднює скорочення дефіциту води.

Посуха – природне явище, що виникає, коли кількість опадів є значно нижчою від звичайних зафіксованих рівнів, що спричиняє серйозне порушення гідрологічної рівноваги, яке несприятливо відображається на продуктивності земельних ресурсів.

Початок посухи зазвичай пов'язаний зі встановленням малорухливого високого антициклону. Велика кількість сонячного тепла і поступове зниження вологості повітря створюють підвищену випаровуваність (*атмосферна*

посуха), внаслідок чого запаси ґрунтової вологи без поповнення їх дощами виснажуються (*ґрунтова посуха*). Поступово, з посиленням ґрунтової посухи, пересихають стави, річки, озера, джерела – починається *гідрологічна посуха*.

Посухи трапляються і там, де нестача води не сприймається критичною проблемою (посуха у Скандинавії влітку 2018 р., у басейні Ельби влітку 2015 р. та на деяких річках басейну Чорного моря у 2007 р.).

Аномальна літня спека 2022 р. в Європі – погодна аномалія в червні-липні 2022 р., що характеризувалася температурами вищими за середні, хвилями спеки, а також кількістю опадів нижче середнього, тобто посухою. Торкнулася Південної, Західної та Центральної Європи.

У річках Європи через рекордну посуху побачили так зване «голодне каміння», на якому у минулі століття робили позначки критично низького рівня води. «Якщо ти побачиш мене, пам'ятай: починається посуха» – написано на висохлому камінні на р. Ельба (рис. 3.1). Повідомлення є попередженням з минулого: раніше дуже низький рівень річок був ознакою неврожаю та голоду. «Голодне каміння» також було виявлено на сухих ділянках русла р. Рейн.



Рис. 3.1. Оголене «голодне каміння» на р. Ельба в Дрездені, 2022 р. (ФРН)

У червні на більшій частині території Європи температура становила +40...+43 °С, було побито сотні щоденних та місячних температурних рекордів. Найвища температура була зареєстрована 14 липня 2022 р. в м. Аліжо (Португалія) і складала +47 °С. Аномальна спека призвела до лісових пожеж та тисяч смертей по всій Європі в цілому.

Хвиля спеки в червні була викликана взаємодією між високим тиском, що створює атмосферну стабільність, і штормом Алекс, а також повітряною масою, що прийшла з Північної Африки, яка потрапила на Піренейський півострів, наповнена завислим пилом. Кліматологи пов'язали екстремальну спеку з впливом змін клімату, а експерти прогнозують, що внаслідок зміни клімату хвилі тепла в Європі відбуватимуться із зростаючою частотою.

Об'єднаний дослідницький центр Єврокомісії випустив доповідь, в якій вчені зазначили: у 2022 р. дві третини території європейського континенту зіткнулися із сильною посухою за останні 500 років. Особливо важка ситуація склалася в таких країнах як Італія, Іспанія, Португалія, Франція, Німеччина,

Нідерланди, Бельгія, Люксембург, Румунія, Угорщина, Сербія, Україна, Молдова, Ірландія та Велика Британія. Це загалом 47% території континенту, ґрунт цього літа там висох зовсім. Варто відзначити, що аномальна спека в Європі відзначалася в 2003 р., 2018 р., 2019 р., 2022 р.

3.3. Сталий розвиток в ЄС. ЦСР 6: Чиста вода і належна санітарія

3.3.1. Цілі сталого розвитку

Цілі сталого розвитку (ЦСР, відомі також як Глобальні цілі) – ключові напрями розвитку країн, що були ухвалені на Саміті ООН зі сталого розвитку 25 вересня 2015 р. Резолюція Генеральної Асамблеї ООН має назву «Перетворення нашого світу: порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року». ЦСР замінили Цілі розвитку тисячоліття, прийняті на Саміті тисячоліття ООН в 2000 р., термін яких закінчився наприкінці 2015 р. ЦСР ухвалені на період від 2015 до 2030 року і нараховують 17 Глобальних цілей (табл. 3.8), яким відповідають 169 завдань.

Таблиця 3.8. Перелік цілей сталого розвитку, прийнятих Генеральною Асамблею ООН на період 2015-2030 років

№ цілі	Назва цілі
Ціль 1	Подолання бідності
Ціль 2	Подолання голоду, розвиток сільського господарства
Ціль 3	Міцне здоров'я і благополуччя
Ціль 4	Якісна освіта
Ціль 5	Гендерна рівність
Ціль 6	Чиста вода і належна санітарія
Ціль 7	Доступна та чиста енергія
Ціль 8	Гідна праця та економічне зростання
Ціль 9	Промисловість, інновації та інфраструктура
Ціль 10	Скорочення нерівності
Ціль 11	Сталий розвиток міст і громад
Ціль 12	Відповідальне споживання та виробництво
Ціль 13	Пом'якшення наслідків зміни клімату
Ціль 14	Збереження морських ресурсів
Ціль 15	Захист та відновлення екосистем суходолу
Ціль 16	Мир, справедливість та сильні інститути
Ціль 17	Партнерство заради сталого розвитку

3.3.2. ЦСР 6 «Чиста вода і належна санітарія»

ЦСР 6 «Чиста вода і належна санітарія» – це глобальна ціль, яка безпосередньо стосується води та водних ресурсів. У ЦСР 6 є вісім завдань (табл.3.9). Шість з них повинні бути виконані до 2030 р., одне – до 2020 р., а для одного цільового року немає. Кожне із завдань також має один або два індикатори, які мають застосовуватися для вимірювання прогресу.

Моніторинг ЦСР 6 в ЄС фокусується на: а) санітарії; б) якості питної води; в) ефективності водокористування. Хоча ЄС досягнув прогресу в доступі до належної санітарії, тенденції якості води були

неоднозначними протягом останніх кількох років, оскільки концентрації деяких забруднювальних речовин у поверхневих та підземних водах зростають. Прогрес ефективності водокористування важко оцінити через сезонну мінливість балансу між водозабором та ресурсами відновної прісної води.

Таблиця 3.9. Структура завдань та індикаторів їхнього виконання для ЦСР 6 «Чиста вода і належна санітарія» згідно з ухвалою резолюції Генеральної Асамблеї ООН зі сталого розвитку в 2015 р.

Завдання			Індикатор	
№	Назва	Рік виконання	№	Назва
6.1	Безпечна і доступна за ціною питна вода	2030	6.1.1	Частка населення, що користується питною водою з безпечним управлінням
6.2	Припинення відкритої дефекації і забезпечення доступу до засобів санітарії і гігієни	2030	6.2.1	Частка населення, що користується: а) безпечними послугами санітарії; б) засобами для миття рук з милом і водою
6.3	Поліпшення якості води, очищення стічних вод і безпечного повторного використання	2030	6.3.1	Частка господарсько-побутових та промислових стічних вод, що безпечно очищені
			6.3.2	Частка водних об'єктів з доброю якістю води
6.4	Підвищення ефективності водокористування, забезпечення запасів прісної води, значне скорочення кількості людей, які страждають від нестачі води	2030	6.4.1	Зміна ефективності водокористування з плином часу
			6.4.2	Рівень водного стресу: забір прісної води як частки наявних ресурсів прісної води
6.5	Запровадження інтегрованого управління водними ресурсами на всіх рівнях, в тому числі за допомогою транскордонного співробітництва	2030	6.5.1	Ступінь інтегрованого управління водними ресурсами
			6.5.2	Частка території транскордонного басейну з чинним механізмом водного співробітництва
6.6	Захист та відновлення пов'язаних з водою екосистем	2020	6.6.1	Зміна протяжності пов'язаних з водою екосистем з плином часу
6.6a	Розширення підтримки країн, що розвиваються, в області водопостачання і санітарії (опріснення, технології рециркуляції і повторного використання)	2030	6.6a.1	Обсяг офіційної допомоги з метою розвитку, пов'язаної з водопостачанням та санітарією, яка є частиною плану витрат, що координується урядом
6.6b	Підтримка місцевої участі в управлінні водними ресурсами та санітарією	-	6.6b.1	Підтримка та посилення участі місцевих громад у покращенні управління водними ресурсами та санітарією

3.3.3. Санітарія

Забезпечення питною водою та достатнім рівнем очищення стічних вод відносяться до найважливіших завдань. Як життєво важливий ресурс вода вважається суспільним благом у ЄС. Водопостачання підлягає чіткому регулюванню щодо якості послуг. Індикатори, обрані для моніторингу

санітарії, відображають частку населення, яке не має ванни, душу та закритого туалету зі зливом, а також частку населення, яке не підключене до каналізаційних систем з вторинним методом очищення стічних вод.

Під вторинним методом очищення стічних вод розуміють застосування біологічних систем очищення стічних вод, які використовуються після того, як початкові крупнофракційні забруднювальні речовини були відстояні та/або відфільтровані (первинний метод очищення). Біологічні системи очищення є ефективними та екологічними технологіями для розкладання та видалення органічних забруднювальних речовин із господарсько-побутових та промислових стічних вод.

- *Доступ до базових засобів санітарії.* Більшість громадян ЄС мають доступ до основних засобів санітарії і підключені до каналізаційних систем з вторинним методом очищення стічних вод. Якість послуг водопостачання у ЄС вже була високою більше 10 років тому та продовжувала покращуватися. Частка населення, в якого немає ванни, душу, туалету зі зливом у приміщенні зменшилася з 2,2% у 2015 р. до 1,5% у 2020 р.

- *Підключення до систем з вторинним методом очищення стічних вод* – це ще один важливий інструмент для покращення доступу до належної санітарії. Протягом 2014-2019 рр. кількість підключень зросла майже в усіх державах-членах ЄС, загалом з 70,4 % до 80,9 %. Найнижчі показники були в країнах південно-східної Європи.

Традиційне первинне очищення стічних вод в основному вилучає завислі речовини і тільки знижує органічне забруднення води на 20-30%. Вторинні процеси очищення, які зазвичай застосовуються після первинної обробки, вилучають близько 70% органічних забруднювальних речовин.

Зростання частки людей, підключених до систем з вторинною обробкою стічних вод, вказує на ефективність дії директиви про очищення міських стічних вод, яка вперше була реалізована в 1990-х роках в ЄС. Це допомагає зменшити забруднення та покращити якість води у річках Європи.

- *Деякі показники по країнах ЄС.* У 2020 р. більшість країн-членів повідомили, що менше 1 % їхнього населення все ще жили в домогосподарствах без ванни, душу або змивного туалету. Проте, в деяких країнах ця частка залишалася порівняно високою. Зокрема, в Румунії не мало доступу до об'єктів елементарної санітарії 21,2 %. Відносно високими були також частки такого населення в Литві, Болгарії і Латвії (6,4 -7,0 %). Ці цифри підкреслюють прямий зв'язок між доступом до основних санітарних умов і проявами бідності, яку можна побачити в ЄС.

3.3.4. Якість природних вод

Дифузне забруднення природних вод від сільського господарства, випадкові розливи шкідливих речовин і скидання неочищених або недостатньо очищених господарсько-побутових і промислових стічних вод, а також забруднювальні речовини, які надходять з атмосферними опадами становлять загрозу для здоров'я людини та довкілля.

Ці прояви антропогенного впливу разом зі змінами руслової мережі річок та морфометричних характеристик водойм є перешкодою для сталого розвитку.

В моніторингу якості води вирізняють різні види хімічного забруднення, наприклад, органічне забруднення біогенними речовинами, пестицидами, а також патогенами. Сильне органічне забруднення, спричинене господарсько-побутовими і промисловими стічними водами, а також стічними водами тваринницьких комплексів може призвести до дезоксигенації води, знищення риби та безхребетних. Завдяки покращенню збирання та очищення стічних вод органічне забруднення європейських річок зменшується, хоча останніми роками ця тенденція сповільнилася.

- *Біохімічне споживання кисню (БСК)* – важливий показник органічного забруднення води. Значення БСК в європейських річках коливається від менше 1 мгО₂/дм³ (дуже чиста вода) до понад 15 мгО₂/дм³ (сильно забруднена вода).

Для річок Європи у створах моніторингу значення БСК змінювалися в середньому від 2,9 мгО₂/дм³ в 2004 р. до 2,5 мгО₂/дм³ у 2019 р. Однак, ця тенденція не була безперервною. Значення БСК падали до 2011 р., а згодом піднялися до 2,8 мгО₂/дм³ у 2015 р., відтоді знову падало.

- *Евтрофікація* – залишається серйозною проблемою для водних об'єктів Європи. В 2018 р. Європейським агентством з довкілля (ЄАД) було опубліковано доповідь з оцінки якості європейських вод, в якій з 1990-х років відзначається тенденція до зниження забруднення біогенними речовинами. Водночас відзначається, що біогенні речовини залишаються основною причиною того, що 28 % поверхневих водних об'єктів в ЄС не досягли належної якості води. У деяких регіонах забруднення річок нітратами/аміаком (N) і фосфором (P) все ще викликає значну евтрофікацію вод. Евтрофікація призводить до цвітіння водоростей і нестачі кисню в поверхневих водах. Основними джерелами надходження біогенних речовин є використання добрива та відходи тваринництва в сільському господарстві, а також погано очищені стічні води.

- *Нітрати (NO₃⁻)* – серед інших хімічних речовин, можуть проникати і забруднювати підземні водоносні горизонти. Так, 18 % підземних водних об'єктів у 24 країнах-членах перебувають у поганому стані через нітрати. Це особливо проблематично, оскільки підземні води є важливим джерелом питної води в Європі.

Дані про концентрації нітратів у підземних водах ЄС, досліджені в 19 державах-членах демонстрували тривалу стагнацію концентрації NO₃⁻ при концентрації близько 21 мг/дм³ з незначною тенденцією до зростання в останні роки – на 2,7 % протягом 2014-2019 рр. Крім того, між 2016 і 2019 роками 14,1 % пунктів моніторингу підземних вод показали концентрацію NO₃⁻ вище ГДК, яка вважається непридатною для пиття. Згідно з директивою про нітрати ГДК встановлена для NO₃⁻ дорівнює 50 мг/дм³ [67].

- *Фосфати (PO₄³⁻)*. Концентрації фосфатів у водах на території ЄС показували помітне зменшення між 2007 і 2013 роками, після чого знову почали дещо зростати. При цьому, концентрація фосфатів 0,06 мг/дм³, зафіксована у 2019 р., значно нижча від значень, що фіксувалися на початку 2000-х років, але це на 13,2 % вище, ніж у 2014 р. Загальна позитивна довгострокова тенденція є певною мірою результатом заходів, реалізованих відповідно до директиви про очищення міських стічних вод протягом останніх 30 років [68]. Також дала свої наслідки програма запровадження

безфосфатних миючих засобів. Гальмування в тенденції зменшення концентрації фосфатів у природних водах може бути пов'язано з уповільненням зменшення застосування фосфорних добрив у сільському господарстві (в деяких випадках, навіть збільшення).

Якість води для купання. Частка внутрішніх вод з місцями для купання (пляжами) з відмінною якістю води впала в останні роки (до 2020 р.). Забруднення води фекальними бактеріями продовжує становити небезпеку для здоров'я людини. Це особливо актуально в тому випадку, коли бактерії виявляються у воді в організованих пляжних місцях, де вони можуть спричинити захворювання серед плавців. Загалом, частка внутрішніх вод з відмінною якістю у місцях для купання в ЄС збільшувалася між 2011 та 2017 рр., але відтоді зменшувалася до 2020 р.

Відповідно, за даними Європейського агентства з довкілля, 77,7 % внутрішніх вод у місцях для купання (пляжами) класифікувалися з відмінною якістю води у 2020 р., порівняно з 81,1 %, зафіксованими п'ятьма роками раніше. Головними джерелами забруднення водних об'єктів для купання є міські стічні води та стічні води з сільськогосподарських угідь. Таке забруднення зростає під час сильних дощів і паводків, які спричиняють каналізаційні переливи та забруднення води в річках і морях.

3.3.5. Ефективність водокористування

Ефективність водокористування оцінюють за допомогою індексу експлуатації водних ресурсів плюс ($WEI+$) [38].

Індекс експлуатації водних ресурсів плюс ($WEI+$) – удосконалений метод оцінювання дефіциту водних ресурсів, який використовується Європейським агентством з довкіллям (ЄАД). Він використовується і для оцінювання результатів діяльності з виконання завдань ЦСР 6 «Чиста вода і належна санітарія» [38]. Індекс експлуатації водних ресурсів плюс ($WEI+$) є мірою загального використання прісної води у % від відновних ресурсів прісної води (підземних і поверхневих вод) в даний час і в даному місці.

$WEI+$ кількісно визначає, скільки води забирається (D) і скільки води після використання повертається до навколишнього середовища (S). Різниця між водозабором та поверненням води ($D - S$) розглядається як використання води та ілюструє навантаження на відновні ресурси прісної води (R) через потребу у воді.

$$WEI+ = (D - S) / R \quad (3.2)$$

Значення $WEI+$:

а) $> 20\%$ – наявність водного дефіциту;

б) $\geq 40\%$ – наявність гострого водного дефіциту, тобто процес використання ресурсів прісної води в країні явно нестійкий.

В 2019 р. Кіпр, Мальта, Греція, Португалія, Італія та Іспанія зіткнулися з найбільш серйозними умовами дефіциту води в ЄС у сезонному масштабі (сезонний $WEI+ > 40\%$) – рис. 3.2, табл. 3.10. Мальта відчуває постійний дефіцит води через свої природні гідрокліматичні умови. Румунія також стикається з проблемами нехватки води (сезонний $WEI+ > 20\%$). Серед європейських країн, які не входять в ЄС, але за якими наявні дані в ЄАД, Туреччина стикається з найбільш серйозними проблемами.

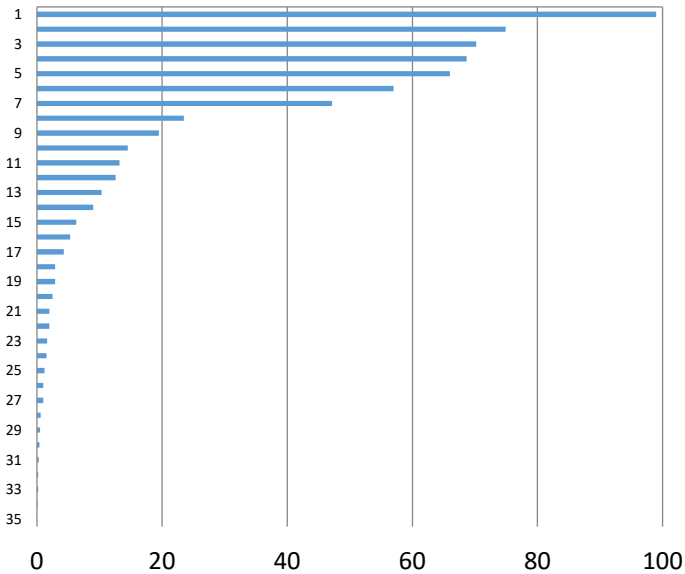


Рис. 3.2. Діаграма значень індексу експлуатації води плюс (WEI+) для європейських країн у 2019 р., % (назви №№ від 1 до 35 див. у табл. 3.10)

Таблиця 3.10. Найгірші умови сезонного дефіциту води для європейських країн у 2019 р., що вимірюються індексом експлуатації води плюс (WEI+) [38]

№	Країна	Лімітуючий квартал	WEI+	№	Країна	Лімітуючий квартал	WEI+
1	Кіпр	3	99	19	Албанія	3	2,9
2	Мальта	1	74,9	20	Болгарія	1	2,5
3	Греція	3	70,2	21	Угорщина	4	2,0
4	Туреччина	3	68,7	22	Фінляндія	3	2,0
5	Португалія	3	66	23	Литва	3	1,6
6	Італія	3	57	24	Люксембург	3	1,5
7	Іспанія	3	47,2	25	Словаччина	3	1,2
8	Румунія	3	23,5	26	Ірландія	2	1,0
9	Чехія	3	19,5	27	Швейцарія	3	1,0
10	Польща	2	14,5	28	Словенія	2	0,6
11	Бельгія	3	13,2	29	Боснія і Герцеговина	3	0,5
12	Данія	3	12,6	30	Швеція	3	0,4
13	Естонія	3	10,3	31	Латвія	3	0,3
14	Північна Македонія	3	9	32	Хорватія	3	0,2
15	Нідерланди	3	6,3	33	Австрія	4	0,2
16	Сербія	4	5,3	34	Норвегія	3	0,1
17	Франція	2	4,3	35	Ісландія	2	0,0
18	Німеччина	3	2,9				

В цілому, в більшості країн в період з липня по вересень загострюються проблеми дефіциту води. При цьому, спрацьовує комплекс умов: поєднання посушливої погоди, зменшення запасів води і збільшення водокористування

для зрошуваного землеробства, підвищення туристично-рекреаційної та іншої соціально-економічної діяльності в цей період року.

Деякі річкові суббасейни, які постраждали від сезонного дефіциту води в 2019 р., були розташовані в Бельгії, Болгарії, Кіпрі, Данії, Фінляндії, Франції, Німеччині, Греції, Угорщині, Мальті, Польщі, Португалії, Румунії, Швеції, Іспанії та Румунії (сезонний $WEI+ > 20\%$).

Варто відзначити, що деякі автори пропонують подальше удосконалення визначення $WEI++$, яке можна застосовувати на рівні басейну і суббасейну:

$$WEI++ = (D - S) / (R - F_e), \quad (3.3)$$

де D – обсяг забору води; S – обсяг повернення частини із забраних вод в річковий басейн; R – обсяг відновних водних ресурсів; F_e – обсяг екологічного стоку.

3.4. Водні ресурси України

Інформація про водні ресурси України фігурує в багатьох працях українських авторів. Вона також є в джерелах міжнародних організацій. Наприклад, дані по Україні можна зустріти в довіднику ЦРУ США «Всесвітня книга фактів» [36]. Найбільш об'ємна і детальна інформація зосереджена в базі даних Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН – FAO Aquastat [35].

3.4.1. Водні ресурси України за даними FAO Aquastat

Вибірki даних по Україні з FAO Aquastat були опрацьовані й оптимізовані до скороченої інформації по водних ресурсах України станом на 2017 р. (табл. 3.11).

Для отримання інтегральних характеристик з бази даних FAO Aquastat обиралися понад 20 показників. Ось деякі з них: атмосферні опади; внутрішній річковий стік; внутрішні підземні води; загальні внутрішні відновні водні ресурси; загальні внутрішні відновні водні ресурси на 1 людину; надходження річкового стоку в країну зовні (з Росії, Білорусі); загальний стік транскордонною р. Дунай; приплив транскордонною р. Дунай; загальний приплив зовні; річковий стік з України в інші країни; загальний обсяг поверхневих вод; загальні водні ресурси; коефіцієнт залежності; загальні водні ресурси на 1 людину; загальний об'єм водосховищ тощо.

Поверхневі водні ресурси: внутрішні поверхневі водні ресурси або місцевий річковий стік, який формується на території України становить 50,1 км³/рік; приплив із суміжних територій – 120,2 км³/рік (36,1 км³/рік – з Росії та Білорусі, 84,1 км³/рік – з Румунії); загальні поверхневі водні ресурси становлять: 50,1 + 120,2 = 170,3 км³/рік.

Підземні водні ресурси: внутрішні прогностні підземні водні ресурси – 22,0 км³/рік, з них 17 км³/рік – гідравлічно зв'язані з річковим стоком (тобто, забезпечують підземне живлення річок та поверхневих водойм), через що їх добувати не можна; таким чином, доступні для використання підземні водні ресурси – 5,0 км³/рік.

Таблиця 3.11. Характеристика середньорічних показників водних ресурсів в Україні, отриманих на основі даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat (за В.К. Хільчевським) [28]

Вид водних ресурсів	Диференціація видів водних ресурсів	Об'єм, км ³	Примітки
Поверхневі води	Річковий стік внутрішній (місцевий)	50,1	
	Зовнішній приплив річкового стоку	120,2	Приплив з Росії, Білорусі – 36,1 км ³ Приплив з Румунії - 84,1 км ³ , що становить 50% від стоку Кілійським гирлом Дунаю
	Сумарний річковий стік	170,3	
	Річковий стік за межі України	28,9	
Підземні води	Прогнозні ресурси	22	17 км ³ – гідравлічно зв'язані з річковим стоком
	Доступні до використання	5,0	
Внутрішні водні ресурси		55,1	Внутрішні водні ресурси на 1 людину: 1246 м ³ /рік/людину
Загальні водні ресурси		175,3	Загальні водні ресурси на 1 людину: 3964 м ³ /рік/людину

Показники водних ресурсів України за даними FAO Aquastat характеризуються наступним чином.

Відновні водні ресурси України (поверхневі разом з підземними): внутрішні відновні водні ресурси: $50,1 + 5,0 = 55,1$ км³/рік; загальні відновні водні ресурси: $170,3 + 5,0 = 175,3$ км³/рік.

Водозабезпеченість на одну людину: внутрішні відновні водні ресурси – 1246 м³/рік/людину; загальні відновні водні ресурси в Україні – 3964 м³/рік/людину.

Динаміка кількості населення впливає на водозабезпеченість на одну людину за певний проміжок років в країні. Оскільки в Україні відбувається зменшення населення останні 30 років, то спостерігається тенденція до зростання показників загальних та внутрішніх відновних водних ресурсів протягом 1992-2017 рр. Так, динаміка внутрішніх водних ресурсів зростає з 1072 м³/рік/людину у 1992 р. до 1246 м³/рік/людину у 2017 р. Динаміка загальних водних ресурсів зростає з 3409 м³/рік/людину у 1992 р. до 3964 м³/рік/людину у 2017 р.

Застосування індикатора водного стресу Фалькенмарк. В Україні часто оцінюють водозабезпеченість на одну людину, неправомірно застосовуючи шкалу індикатора водного стресу Фалькенмарк лише до питомого показника внутрішніх водних ресурсів за рік на 1 людину. Нагадаємо, що індикатор Фалькенмарк (< 1700 м³/рік/людину – водний стрес; < 1000 м³/рік/людину – водний дефіцит; < 500 м³/рік/людину – абсолютний водний дефіцит) розроблено для показника загальних водних ресурсів за рік на 1 людину. Якщо його застосовувати до внутрішніх водних ресурсів, то це призводить до

отримання заниженого показника водозабезпеченості в Україні. Адже в країні використовується не лише води місцевого стоку, а й річкова вода, що надійшла з транзитним стоком з інших країн.

3.4.2. Порівняння даних про водні ресурси України різних авторів

Отриману інформацію по водних ресурсах України на основі даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat є сенс порівняти з даними, які опубліковані різними авторами.

Як видно з табл. 3.12, основна різниця між даними, отриманими В.К. Хільчевським [28] на основі глобальної інформаційної системи FAO Aquastat, та опублікованими раніше в працях В.І. Стрельця [18], А.В. Яцика і В.М. Хорева [9], В.А. Сташука та ін. [19] зводиться до показника «Загальний річковий стік», що в подальшому впливає на питомий показник – водозабезпеченість на 1 людину. У праці [28] враховано 84,1 км³ стоку Кілійського гирла Дунаю (згідно міжнародних норм – 50% від стоку Кілійського гирла, розташованого на території України та Румунії) – див. табл. 3.11.

Таблиця 3.12. Характеристика середньорічних показників водних ресурсів в Україні, отриманих різними авторами

Показник водних ресурсів	Автори та номер джерела у бібліографічному списку			
	В.І. Стрелець, 1987 [18]*	А.В. Яцик, В.М. Хорев, 2000 [9]	В.А. Сташук та ін., 2014 [19]**	В.К. Хільчевський, 2021 [28]
Внутрішній (місцевий) річковий стік, км ³	52,4	52,4	52,4	50,1
Зовнішній приплив річкового стоку, км ³	–	–	34,7	120,2
Загальний річковий стік, км ³	87,1	87,1	87,1 (209,8)*	170,3
Річковий стік за межі України, км ³	–	–	–	28,9
Підземні води – прогнознi, км ³	21,0	21,0	22,5	22,0
Підземні води, зв'язані з річковим стоком, км ³	13,9	–	–	17,0
Підземні води – доступні до використання, км ³	7,0	7,0	7,0	5,0
Внутрішні водні ресурси, км ³	59,4	59,4	59,4	55,1
Загальні водні ресурси, км ³	94,1	94,1	94,1	175,3
Внутрішні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	1165	1202	1305	1246
Загальні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	1845	1905	2068	3964

Примітка: [18]* – номер джерела у списку літератури; [19]** – у праці В.А. Сташука та ін. наведено дані про сумарний річковий стік з території України без Дунаю – 87,1 км³ і з Дунаєм – 209,8 км³. Але дані з Дунаєм у подальші їхні розрахунки не включалися.

3.4.3. Місце України в Європі за водними ресурсами

Опрацювання даних «Глобальної інформаційної системи FAO по воді та сільському господарству» дозволило виконати ранжування 50 країн Європи

за показником загальних відновних водних ресурсів у м³/рік на 1 людину (див. табл. 3.1), обсягом загальних відновних водних ресурсів у км³/рік (див. табл. 3.2), показником внутрішніх відновних водних ресурсів у м³/рік на 1 людину (див. табл. 3.3), обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів у км³/рік (див. табл. 3.4) [6, 20].

За показником загальних відновних водних ресурсів на 1 людину (3964 м³/рік/людину) серед 50 країн Європи станом на 2019 р. Україна займала 28 місце (див. табл. 3.1, табл. 3.13). Діапазон цього показника на континенті становить, м³/рік/людину: від 507463 (Ісландія), 74081 (Норвегія), 31426 (Росія) – до 1238 (Чехія), 1046 (Данія), 661 (Кіпр), 117 (Мальта).

Таблиця 3.13. Рейтинг України серед 50-и країн Європи за показниками відновних водних ресурсів, 2019 р. [6, 20]

№	Назва показника відновних водних ресурсів, розмірність	Значення показника	Місце України серед країн Європи
1	Загальні відновні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	3964	28
2	Внутрішні відновні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	1246	35
3	Загальні відновні водні ресурси, км ³	175,3	7
4	Внутрішні відновні водні ресурси, км ³	55,1	15
5	Коефіцієнт зовнішньої залежності, %	68,6	37

На рис. 3.3 наведено картосхему забезпечення загальними відновними водними ресурсами країн Європи та світу, на якій Україна знаходиться в градації 2500–6000 м³/рік/людину.

Менші показники загальних відновних водних ресурсів на 1 людину ніж в Україні відзначаються в таких країнах, як Азербайджан, Франція, Італія, Північна Македонія, Молдова, Болгарія, Вірменія, Туреччина, Іспанія, Велика Британія, Німеччина, Бельгія, Польща, Чехія, Данія та в низці малих країн.

За показником внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину (1246 м³/рік/людину) Україна займала 35 місце в Європі (див. табл. 3.3). Діапазон цього показника на континенті становить, м³/рік/людину: від 507463 (Ісландія), 72008 (Норвегія), 29947 (Росія) – до 661 (Кіпр), 646 (Нідерланди), 617 (Угорщина), 400 (Молдова), 117 (Мальта).

Менші показники внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину ніж в Україні відзначаються в таких країнах, як Сербія, Угорщина, Нідерланди, Азербайджан, Молдова, Бельгія, Данія, Кіпр, Мальта та ін.

За обсягом загальних відновних водних ресурсів (175,3 км³) Україна займає 7 місце в Європі (див. табл. 3.2). Діапазон цього показника на континенті становить, км³/рік: від 4525 (Росія), 393 (Норвегія), 227 (Туреччина), 211 (Франція) – до 170 (Ісландія), 3,5 (Люксембург), 0,78 (Кіпр), 0,32 (Андора), 0,05 (Мальта).

За обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів (55,1 км³) Україна займала 15 місце (див. табл. 3.4). Діапазон цього показника в Європі становить, км³/рік: від 4312 (Росія), 382 (Норвегія), 216 (Турція), 200 (Франція) – до 6 (Данія), 5,4 (Північна Македонія), 1,62 (Молдова), 0,78 (Кіпр), 0,32 (Андора), 0,05 (Мальта).

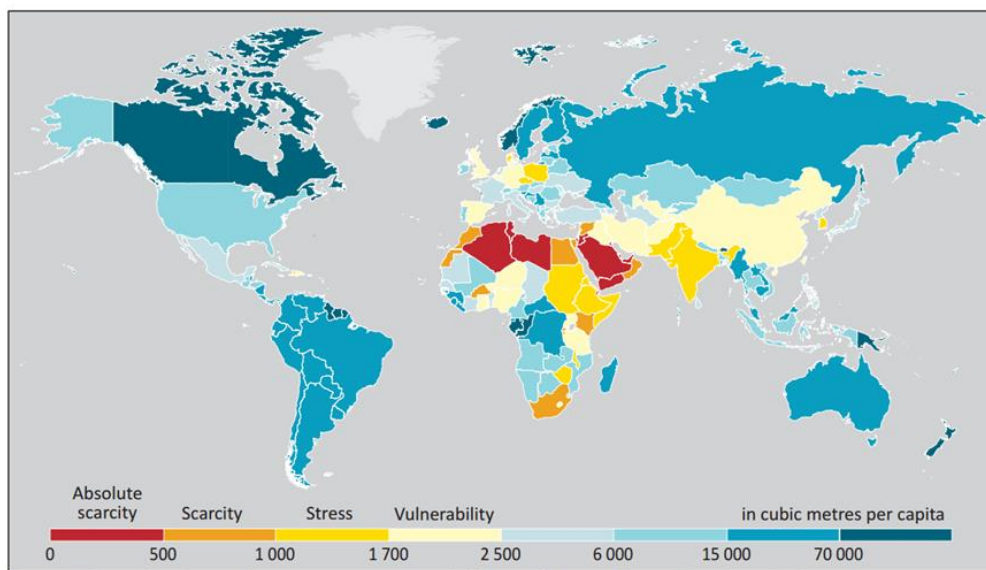


Рис. 3.3. Картохема забезпеченості відновними водними ресурсами країн світу м³/рік/людину: 0-500 – абсолютний водний дефіцит; 500-1000 – водний дефіцит; 1000-1700 – водний стрес; 1700-2500 – водна вразливість (за FAO Aquastat, 2013)

Україна має високий коефіцієнт зовнішньої залежності K_z (частка загальних відновних водних ресурсів, що формується зовні за межами країни, %). За цим показником Україна посідала 37 місце ($K_z = 66,8\%$) – див. табл. 3.5. Діапазон цього показника в Європі становить, %: від 0 (Ісландія, Данія, Андорра, Кіпр, Мальта), 0,27 (Іспанія), 0,4 (Чехія) – до 86,1 (Молдова), 87 (Нідерланди), 94,23 (Угорщина), 94,8 (Сербія).

3.4.4. Місце України за водними ресурсами у світі згідно з довідником ЦРУ США

Центральне розвідувальне управління США видає довідник по країнах світу, який має назву «Всесвітня книга фактів» (The World Factbook) [36]. Перше секретне видання з'явилося в 1962 р., перше несекретне – в 1971 р. У 2008 р. ЦРУ повідомило, що більше не планує друкувати цю книгу, а зосередиться на наповненні її онлайн-версії.

У розділі «Порівняння країн: загальний обсяг відновних водних ресурсів» цього довідника представлено 178 країн світу. В першу десятку за обсягом водних ресурсів входять, км³: Бразилія – 8233, Росія – 4498, Канада – 3300, США – 3069, Індонезія – 2838, Китай – 2829,6, Колумбія – 2132, Перу – 1913, Індія – 1907,8, Демократична Республіка Конго – 1283.

Україна з обсягом відновних водних ресурсів 139,6 км³ знаходиться на 57 місці цього списку. Наприклад, географічно сусідні для України держави розташовані наступним чином: Румунія (212 км³) – 41 місце; Угорщина (120 км³) – 60 місце; Польща (63,1 км³) – 88 місце; Білорусь (58 км³) – 90 місце; Словаччина (50,1 км³) – 93 місце; Молдова (11,7 км³) – 134 місце.

Варто відзначити, що дані по водних ресурсах довідника «Всесвітня книга фактів» [36] не по всіх країнах співпадають з даними глобальної інформаційної системи FAO Aquastat [35], що вказує на складність питання їхнього підрахунку.

3.4.5. Ресурси річкового стоку по областях України

Розподіл річкового стоку по території України дуже нерівномірний. Це відповідає територіальному розподілу атмосферних опадів та сумарного випаровування з просуванням з півночі на південь. Найменше ресурсів річкового стоку формується там, де зосереджені найбільші водокористувачі, – Донбас, Криворіжжя, Крим, південні степові області (табл. 3.14).

Нерівномірність упродовж року та із року в рік – характерна особливість основної складової водних ресурсів країни – річкового стоку. Переважна частина стоку протягом року формується під час весняної повені – від 60–70% на півночі та північному сході до 80–90% на півдні України.

Таблиця 3.14. Водні ресурси річкового стоку областей України, км³ [19]

Область	Водні ресурси, км ³					
	Середні багаторічні		75-% забезпеченості		95-% забезпеченості	
	місцеві	сумарні	місцеві	сумарні	місцеві	сумарні
АР Крим	0,91	0,91	0,65	0,65	0,43	0,43
Вінницька	2,47	11,0	1,83	8,46	1,16	5,96
Волинська	2,18	4,05	1,49	2,92	0,94	1,91
Дніпропетровська	0,87	53	0,40	42,8	0,14	32,5
Донецька	1,02	4,40	0,55	2,92	0,24	1,70
Житомирська	3,15	3,71	1,97	2,36	1,05	1,28
Закарпатська	7,92	13,3	6,21	10,5	4,47	7,26
Запорізька	0,62	53,0	0,30	42,8	0,13	38,1
Ів.-Франківська	4,58	9,40	3,54	7,08	2,17	4,77
Київська	2,04	46,4	1,31	37,3	0,76	28,8
Кіровоградська	0,95	50,2	0,55	40,5	0,27	37,3
Луганська	1,46	5,09	0,86	3,35	0,45	2,00
Львівська	4,92	5,55	3,73	4,25	2,66	3,00
Миколаївська	0,57	4,00	0,33	2,78	0,16	1,71
Одеська	0,35	12,0	0,17	10,1	0,076	7,41
Полтавська	1,94	51,5	1,31	41,6	0,76	31,6
Рівненська	2,33	7,00	1,79	5,33	1,27	3,56
Сумська	2,43	5,79	1,75	4,13	1,15	2,71
Тернопільська	1,81	7,26	1,44	5,69	1,05	4,10
Харківська	1,66	3,41	1,14	2,35	0,71	1,50
Херсонська	0,14	54,4	0,06	42,8	0,02	32,0
Хмельницька	2,14	9,82	1,58	7,56	1,06	5,32
Черкаська	1,01	47,4	0,69	38,3	0,41	29,1
Чернівецька	1,23	10,1	0,86	7,86	0,49	5,60
Чернігівська	3,45	29,57	2,66	24,28	1,95	19,42
Всього по Україні	52,4	87,1	41,4	71,7	29,7	55,9

В меженний період стік зменшується, але потреба у воді в цей час зростає (наприклад, необхідність у зрошенні земель півдня країни під час літньої межени). Тому одним із завдань, які вирішують збудовані водосховища

є вирівнювання доступу до води протягом року. За допомогою каналів здійснюється перекидання стоку між річковими басейнами.

3.5. Використання водних ресурсів України

Використання водних ресурсів. Забір води із природних водних об'єктів в Україні невпинно падав з 1990-х рр. (табл. 3.15). Максимуму було досягнуто в 1990 р., коли із природних водних об'єктів було забрано 35,6 км³ води. У 2000 р. забір води скоротився у 1,9 рази порівняно з «рекордним» 1990. У 2010 р. водозабір скоротився у 2,4 рази, а 2013 р. – у 2,6 рази.

Скорочується видобуток підземних вод. Частка підземних вод у заборі води з водних об'єктів в 1990 р. становила 16 %, 2000 р. – 13 %, 2020 – 7,5 %.

Таблиця 3.15. Забір води із природних водних об'єктів і загальне водовідведення в Україні протягом 1990–2020 рр., км³ [29]

Забір / Водовідведення	Рік								
	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014*	2015*	2020*
Забір води з водних об'єктів	35,6	25,9	18,3	15,1	14,8	13,6	11,5	9,7	11,1
Використано прісної води	26,8	17,3	12,2	9,4	8,9	9,3	8,1	6,6	7,3
Водовідведення	22,4	16,8	11,0	8,9	8,1	7,7	6,6	5,6	6,1
Скинуто стічних вод	19,4	14,2	9,2	7,5	7,0	6,7	6,0	5,1	5,3

Примітка: * – інформація без включення даних по тимчасово окупованій території АР Крим та частини зони проведення операції Об'єднаних сил.

Скорочуються також обсяги використаної прісної води. Пропорційно скорочуються обсяги загального водовідведення і скидів стічних вод. В Україні також використовувалася морська вода, але її частка була незначна – 1 % від забраної води (використання води Азовського моря в чорній металургії).

Таблиця 3.16. Характеристика структури водокористування в Україні (за різні роки), Європі та світі (2020 р.) [6, 20]

Країна, регіон	Основні водокористувачі, %		
	Сільське господарство	Промисловість	Комунальне господарство
Україна, 1984 р. [18]*	43	46	11
Україна, 1994 р. [9]	39	45	16
Україна, 1998 р. [5]	40	45	15
Україна, 2013 р. [19]	33	49	18
Україна, 2020 р. [29]	40	38	22
Європа, 2020 р. [37]	58	29	13
У світі, 2020 р. [35]	70	20	10

Примітка: [18]* – номер джерела у списку літератури.

Структура водокористування в Україні станом на 2020 р. мала вигляд: сільське господарство – 40 %; промисловість – 38 %; комунальне господарство – 22 %. В табл. 3.16 наведено порівняльну характеристику

структури водокористування в Україні в різні роки (1984–2020) в порівнянні з Європою та світом.

В цілому, зменшення використання води в Україні протягом 1991-2020 рр. пов'язано як із переходом на нові технології водозбереження у промисловості, так і з загальним спадом промислового виробництва в країні.

3.6. Водна стратегія України на період до 2050 р.

«Водна стратегія України на період до 2050 року» (далі Стратегія) була схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р [43]. Стратегія є документом, що визначає основні засади державної політики у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів та спрямована на досягнення взаємної узгодженості, пов'язаної з їх використанням, підвищення рівня водної безпеки та скорочення до прийняттого рівня ризиків з управління водними ресурсами на засадах сталого інтегрованого управління водними ресурсами.

3.6.1. Короткий опис проблем, які обумовили прийняття Стратегії
Основні водні проблеми. До основних проблем у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів належать:

- забезпечення рівноправного доступу до якісної і безпечної для здоров'я людини питної води і санітарно-профілактичних заходів;
- «задовільний», «поганий» і «дуже поганий» екологічний стан переважної більшості поверхневих водних масивів (екологічний потенціал штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод), а також непоодинокі випадки класифікації хімічного стану масивів підземних вод як «недосягнення доброго»;
- зменшення обсягів доступних до використання прісних водних ресурсів, обміління поверхневих водних об'єктів чи вичерпання підземних вод;
- щорічне зростання збитків, завданих повеннями (паводками) чи посухами, що посилюються негативним впливом зміни клімату.

До основних нормативно-правових актів, що діють у сфері використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів, належать, зокрема, Водний кодекс України, Кодекс України про надра, Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення», «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» та Указ Президента України від 30 вересня 2019 р. № 722 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року».

Централізоване водопостачання. Населення України становить близько 42 млн. осіб, з яких міського населення – близько 69 %. На початок 2019 р. лише 30,1 % сільського населення, 89,9 % населення, що проживає в селищах міського типу, та 99,2 % міського населення мали доступ до централізованого водопостачання. Згідно з Національною доповіддю про

якість питної води у 2020 р. протяжність систем централізованого водопостачання становила 122 тис. км, з яких 38,2 % були зношеними або аварійними. Їх зношеність і негерметичність є причиною забруднення водопровідної води та її невідповідності нормативам питного водопостачання, а також спалахів в Україні захворювань (гостре нітратне отруєння дітей, водно-нітратна метгемоглобінемія, гепатит А, гострі кишкові інфекції тощо).

Стан якості поверхневих вод, які є джерелом питної води для 80 % населення України, є незадовільним і характеризується підвищеним вмістом органічних та біогенних речовин, а підземні води характеризуються підвищеною твердістю і мінералізацією, а також наднормативним вмістом сполук заліза і марганцю. За інформацією МОЗ, питома вага досліджених проб води з водних об'єктів I категорії (використовуються як джерела централізованого водопостачання населення), які не відповідали нормам у 2020 р. за санітарно-хімічними показниками, становила 18,6 %, за мікробіологічними – 19,6 %. Проблема посилюється застарілими методами підготовки питної води або ж їх невідповідністю нормативним вимогам.

Централізоване водовідведення. Гіршою є ситуація з доступом населення до санітарно-профілактичних заходів. Відповідно до Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні в 2020 р. лише 1,8 % сільських населених пунктів, 63,9 % селищ міського типу та 96,6 % міст забезпечені централізованим водовідведенням. Стічні води руйнують каналізаційні напірні та безнапірні колектори, чим спричиняють забруднення ґрунтових вод, зношеними або аварійними є 41,9 % систем централізованого водовідведення.

3.6.2. Стратегічні цілі та показники їх досягнення

Ціль 1. Забезпечення рівного доступу до якісної і безпечної для здоров'я людини питної води і належних санітарно-профілактичних заходів.

Деякі показники та завдання з досягнення цілі 1:

- організація та проведення постійних інформаційних заходів, спрямованих на запобігання втратам і заощадження води у побуті з метою досягнення середнього по країні показника обсягу використання води однією особою, що користується послугами з централізованого водопостачання, до 150 л/добу до 2030 р. та 100 л/добу до 2050 р.;

- забезпечення до 2030 року 100 % доступу сільського і міського населення до безпечної економічно доступної питної води;

- підключення до 2030 р. до систем централізованого водопостачання 50 % сільського населення та 100 % міського населення та до 2050 р. – не менше 90 % сільського населення;

- поетапний ремонт або повна заміна (на сучасні аналоги з нейтральних до хімічних сполук та зовнішньої корозії поліетилену, поліпропілену чи полівінілхлориду) міських систем централізованого водопостачання та водовідведення з метою досягнення їх герметичності та безпечності; забезпечення доступу 80 % сільського населення та 100 % міського населення до належних санітарно-профілактичних заходів до 2030 р. та 95 % сільського населення до 2050 р.

Ціль 2. Поліпшення якісного стану водних об'єктів шляхом досягнення «доброго» екологічного та хімічного стану масивів поверхневих вод,

екологічного потенціалу штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод, кількісного та хімічного стану масивів підземних вод.

Деякі показники та завдання з досягнення цілі 2:

- до 2032 р. заплановано впровадження комбінованих методів вилучення сполук азоту і фосфору на 10 % наявних міських очисних споруд;
- до 2032 р. заплановано загальне використання локальних очисних споруд не менше ніж на 70 % підприємств-абонентів, що здійснюють скидання стічних вод до систем централізованого водовідведення;
- факти виявлення не менше ніж 2-кратних перевищень гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин у пробах води у районі річкового басейну, одиниць на рік: до 2032 р. передбачено досягнення рівня вдвічі нижчого від рівня 2020 р.;
- частка масивів поверхневих водних з «добрим» екологічним та хімічним станом – не менше 5 % до 2032 р.;
- частка штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод з «добрим» екологічним потенціалом – не менше 5 % до 2032 р.;
- частка масивів підземних вод з «добрим» кількісним та хімічним станом – не менше 3 % до 2032 р.;
- обсяг реалізованого в Україні прального порошку, що містить дозволений вміст фосфатів та інших сполук фосфору – 100 % до 2027 р.

Ціль 3. Забезпечення необхідної кількості водних ресурсів для відновлення та оздоровлення водних екосистем і досягнення стійкого водозабору та водопостачання.

Деякі показники та завдання з досягнення цілі 3:

- частка орних земель (ріллі) у загальній площі земель країни – менше ніж 47 % до 2030 р.;
- частка територій та об'єктів природно-заповідного фонду міжнародного, загальнодержавного, місцевого значення, Смарагдової мережі, наявних у районі річкового басейну – не менше ніж 10 % до 2032 р.;
- протяжність русел малих річок, на яких відновлено проточність, – не менше 5 км щороку, починаючи з 2025 р.;
- водоємність ВВП – до 2030 р. не повинна перевищувати 2,5 м³ використаної води на 1 тис. гривень ВВП (у фактичних цінах);
- обсяг щорічних втрат води під час її міжбасейнового транспортування протягом 2025-2032 рр. не повинні перевищувати рівень втрат у 2020 р.;
- обсяг щорічних втрат води в системах централізованого водопостачання – до 2032 р. не повинні перевищувати 20 % загального обсягу водопостачання.

Ціль 4. Скорочення зростаючих ризиків нестачі води та надлишку води.

Деякі показники та завдання з досягнення цілі 4:

- до 2023 р. передбачено затвердження Кабінетом Міністрів України 9 планів управління ризиками затоплення для визначених законодавством районів річкових басейнів;
- щорічний обсяг збитків, завданих повеннями і паводками – за рахунок повоєнного відновлення гідротехнічних та протипаводкових споруд до 2032 р. заплановано досягнення зниження обсягу збитків на 20 % порівняно з 2020 р.;
- площа земель, на яких здійснюється зрошення та дренаж – до 2030 р. повинна становити 500 тис. га.

Ціль 5. Запровадження інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом та принципів Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) щодо водного врядування в районах річкових басейнів, у прибережних і морських водах.

Деякі показники та завдання з досягнення цілі 5:

- до 1 серпня 2024 р. передбачено затвердження Кабінетом Міністрів України 9 планів управління річковими басейнами для визначених законодавством районів річкових басейнів;

- з 1 січня 2025 р. впровадження планів управління річковими басейнами для встановлених дев'яти районів річкових басейнів, забезпечення їх перегляду кожні шість років;

- кількість автоматизованих інформаційних систем (АІС), задіяних для прийняття управлінських рішень у сфері охорони навколишнього природного середовища, в галузі управління і контролю за використанням і охороною вод та відтворенням водних ресурсів – до 2032 р. має бути введено в експлуатацію не менше ніж 8 АІС у визначених законодавством районах річкових басейнів;

- частка транскордонних районів річкових басейнів, для яких запроваджено басейновий принцип міжнародного співробітництва, – до 2032 р. не менше ніж 15 %;

- підготовлене та затвержене наказом Міндовкілля Керівництво з імплементації принципів Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) щодо водного врядування на басейновому і територіальному рівні – до кінця 2024 р.

3.6.3. Етапи реалізація Стратегії на період до 2050 р.

I етап (2022-2024 рр.) – підготовчий – визначення правових та організаційних засад з підвищення рівня водної безпеки, зокрема внесення відповідних змін до актів законодавства та підготовку нових нормативно-правових актів, що спрямовані на реалізацію цієї Стратегії; виконання операційного плану реалізації у 2022-2024 рр. цієї Стратегії, зокрема: розроблення проектів перших планів управління ризиками затоплення та їх затвердження Кабінетом Міністрів України; розроблення проектів перших планів управління річковими басейнами для кожного району річкового басейну та проведення консультацій з громадськістю; схвалення проектів планів управління річковими басейнами басейновими радами та їх затвердження Кабінетом Міністрів України.

II етап (2025-2030 рр.) – дослідне впровадження – виконання перших планів управління річковими басейнами та планів управління ризиками затоплення та початок процесу їх оновлення, зокрема: досягнення «доброго» екологічного та хімічного стану поверхневих водних масивів; досягнення «доброго» екологічного потенціалу штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод; досягнення «доброго» кількісного та хімічного стану масивів підземних вод.

III етап (2031-2042 рр.) – операційне впровадження – виконання оновлених планів управління річковими басейнами та планів управління ризиками затоплення (другого та третього шестирічних циклів впровадження), зокрема: підтримання «доброго» екологічного та хімічного стану поверхневих

водних масивів; підтримання «доброго» екологічного потенціалу штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод; підтримання «доброго» кількісного та хімічного стану масивів підземних вод.

IV етап (2043-2050 рр.) – коригувальне впровадження – у цілому виконання міжнародних зобов'язань України, пов'язаних з імплементацією законодавства ЄС, та досягнення Цілей сталого розвитку, виконання оновлених планів управління річковими басейнами і планів управління ризиками затоплення (четвертого шестирічного циклу впровадження), перегляд механізмів та інструментів їх виконання, зокрема: підтримання «доброго» екологічного та хімічного стану поверхневих водних масивів; підтримання «доброго» екологічного потенціалу штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод; підтримання «доброго» кількісного та хімічного стану масивів підземних вод.

Реалізація IV етапу дасть змогу отримати такі результати:

- виконання у цілому міжнародних зобов'язань України, пов'язаних з імплементацією законодавства ЄС;
- скасування залежності економічного та соціального зростання від збільшення хімічного, радіоактивного, мікробного забруднення водних об'єктів, шкідливого біологічного та фізичного (теплого) впливу на водойми, а також використання водних та інших природних ресурсів у районі річкового басейну; стабілізація або поступове збільшення водності річок, що сприятиме відновленню їх екологічного стану та поліпшенню самоочисної здатності водойм.

3.6.4. Моніторинг та оцінювання результатів реалізації Стратегії

Загальна координація дій з реалізації Стратегії забезпечується Міндовкіллям. З цією метою утворюється міжвідомча робоча група з питань реалізації водної політики за участю представників органів державної влади та громадськості.

Координацію дій з виконання планів управління річковими басейнами на рівні районів річкових басейнів здійснює Держводагентство та басейнові управління водних ресурсів.

Міндовкілля разом з іншими центральними органами виконавчої влади проводить моніторинг і оцінку стану досягнення цілей, визначених цією Стратегією, та готує річні звіти щодо реалізації цієї Стратегії (відповідно до показників досягнення її цілей, екологічних цілей, визначених у планах управління річковими басейнами), а також раз на 6 років починаючи з 2031 р. – національну доповідь про досягнення цілей цієї Стратегії та екологічних цілей, визначених у планах управління річковими басейнами. Річні звіти про хід і результати реалізації цієї Стратегії Міндовкілля подає Кабінетові Міністрів України щороку до 1 червня року, що настає за звітним періодом.

Підготовка планів управління річковими басейнами здійснюється до 2024 р. для проведення оцінювання досягнень і порівняння результативності запропонованих цією Стратегією показників.

Річні звіти оприлюднюються щороку до 1 червня року, що настає за звітним періодом, на офіційному веб-сайті Міндовкілля.

Міндовкілля готує національну доповідь про досягнення цілей цієї Стратегії та подає її на розгляд Кабінету Міністрів України до 30 грудня року, що настає після завершення 6-річного періоду виконання планів управління річковими басейнами (2031 р.).

Показники досягнення цілей оцінюються Міндовкіллям та у разі потреби коригуються кожні 6 років.

Центральні та місцеві органи виконавчої влади, що беруть участь у реалізації цієї Стратегії, забезпечують відповідно до їх компетенції проведення моніторингу стану її реалізації, оцінювання стану виконання завдань та подають Міндовкіллю відповідну інформацію для її узагальнення та підготовки:

до 1 квітня року, що настає за звітним періодом, – річних звітів;

до 30 червня року, що настає після завершення 6-річного періоду виконання планів управління річковими басейнами, – національної доповіді про досягнення цілей цієї Стратегії.

Контрольні питання до розд. 3

- 1) Дати визначення відновних водних ресурсів.
- 2) Дати визначення внутрішніх відновних водних ресурсів.
- 3) Дати визначення загальних відновних водних ресурсів.
- 4) Дати визначення показника відновних водних ресурсів на одну людину.
- 5) Назвати країни Європи з абсолютним водним дефіцитом за загальними відновними водними ресурсами?
- 6) Назвати країни Європи з абсолютним водним дефіцитом за внутрішніми відновними водними ресурсами?
- 7) Що таке зовнішня залежність водних ресурсів країни?
- 8) Які частки забору прісної води з різних водних об'єктів в ЄС?
- 9) Як зміни клімату впливають на водний дефіцит?
- 10) Що таке індекс експлуатації водних ресурсів плюс (WEI+)?
- 11) Які порогові значення індексу експлуатації водних ресурсів плюс (WEI+) стосовно водного дефіциту?
- 12) Які середньорічні показники загальних відновних водних ресурсів на одну людину в Україні?
- 13) Які середньорічні показники внутрішніх відновних водних ресурсів на одну людину в Україні?

4. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

4.1. 3 історії водопостачання та водовідведення

З давніх-давен людина живе там, де є вода. Історія Стародавнього світу свідчить про те, що природні поверхневі та підземні води, поряд з якими розвивалися стародавні цивілізації, повсюдно були об'єктом освоєння та використання для сільського господарства, транспорту, рибальства і, звичайно ж, для питних та побутових цілей.

Давні цивілізації вже створювали великі системи водопостачання, різні канали та греблі. Перші відомості, які є про штучні споруди для добування води – колодязі, належать до III тисячоліття до н. е. У Стародавньому Єгипті вже були найпростіші механізми для підйому води з колодязів. Вавилонці володіли способом підйому води на досить значну висоту за допомогою різних пристроїв з використанням блоків. Для подачі води із резервуарів використовувалися труби гончарні, дерев'яні, а також металеві (свинцеві та мідні).

В історії народів значна роль належить річкам. Осередки високої культури виникли в давнину в долині Нілу, в нижній течії Тигра і Євфрату, в басейні Інду, на берегах річок Янцзи і Хуанхе, Амудар'ї та Сирдар'ї. Невипадково найдавніші цивілізації світу – єгипетську, шумерську, хараппську – називають річковими цивілізаціями.

4.1.1. Водопостачання

Своїм розквітом багато стародавніх цивілізацій і держав значною мірою були зобов'язані вмінню народів використовувати (піднімати, відводити, розподіляти тощо) поверхневі води (а пізніше і підземні) і насамперед води річок для зрошення полів та водопостачання міст. Протягом багатьох століть у пристрої підйомних механізмів основну роль грали прості машини: важіль, колесо, блок, гвинт, похила площина. Водоводи споруджувалися за принципом самопливу. Загальновідомо, що перші поселення людей виникали в безпосередній близькості від джерел води, але на підвищених місцях, тому з давніх-давен виникала проблема підйому води з глибоких колодязів і знижених місць, де природним чином накопичувалася вода.

Стародавній Єгипет займав всю дельту Нілу на півночі і тягнувся на південь по піщанику і вапняку. Близько 3000 р. до н. е. відбулося об'єднання царства в єдину могутню державу, яка проіснувала понад 3000 років. З найдавніших часів вода Нілу несла єгиптянам процвітання та лиха.

Ніл був основним джерелом води для країни. Розвиток інженерного мистецтва в Єгипті сприяв створенню до 2500 р. до н. е. широкої системи каналів, ровів і жолобів, що проіснувала до римського вторгнення. У Єгипті також була винайдена і введена у широке застосування водовідливна машина – норія. Це був ланцюг, на якому підвішені ковші або черпаки для захоплення рідини і сипких матеріалів, що пересувалися по колу за допомогою колеса.

Ізраїль відомий пам'ятниками інженерного водного мистецтва. Синори, або тунелі для води, були відомі в Палестині ще раніше 1200 р. до н.е. У найдавніших поселеннях на місці Єрусалиму міський водогін починався за стінами міста. Як й інші цивілізації, стародавні юдеї змушені були захищати доступ до води від ворогів, які могли відрізати водопостачання міста. Щоб уникнути цього, містяни будували підземні тунелі, які доставляли воду в місто і відводили її в підземний басейн, приховуючи джерело. Дозволяючи пережити можливу облогу міста, тунель став прикладом небувалої майстерності давніх інженерів.

Юдеї були одним із перших народів, релігійні уявлення яких містили ідеї гігієни та чистоти. Під час релігійних обрядів священнослужителі омивали руки та ноги. У повсякденному житті юдеї мали так само дотримуватися особистої гігієни.

Стародавня Греція велику увагу приділяла хорошому водопостачанню, тому для його влаштування багато грецьких міст-держав не шкодували коштів. На острові Самос досі існує Ефпалініо-Орігма – тунель завдовжки 1040 м, одне з найвищих досягнень інженерного мистецтва античності. Побудований у 529–524 рр. до н.е., тунель забезпечував водопостачання античного Самоса у разі облоги і діяв до ХХ ст. У місті Пергам було споруджено водопровід із свинцевих труб. Міські будинки мали ванні кімнати, каналізацію та водопровід, труби якого були з обпаленої глини. Афіни у період розквіту, коли населення досягло 200 тис. осіб, мали 18 водопроводів, що постачали воду з гір. Жителі також багато в чому залежали від глибоких свердловин, які їм доводилося копати у твердому кам'яному ґрунті. Вся вода, що приходила до міста, прямувала до цистерн, які по черзі забезпечували водою численні фонтани, деякі з них використовуються і в наш час. Аналогічно вода прямувала до будинків заможних громадян.

Стародавній Рим створив найпотужнішу систему виробництва води для питних та господарсько-побутових цілей. У період розквіту в Римі проживало, за різними даними, від 600 тис. до 1 млн осіб, на кожну з яких припадало до 1000 л води на добу. Слід зазначити, що цей показник перевищує водоспоживання у сучасному Римі. Індустрія виробництва води включала значні вишукувальні роботи, спрямовані на визначення водних джерел, трасування водоводів, проектування очисних споруд. За дослідженнями йшло будівництво водопроводів, водоочисних споруд, розподільних споруд для постачання громадських та особистих фонтанів, лазень (терм), купалень, спеціальних акваріумів-садків для розведення морських та річкових риб, а також будівництво водовідвідних каналів.

Будівництво водопроводів у Римі здійснювалося на громадських засадах, а також на кошти, отримані в результаті переможних воєн. Перший водопровід у Римі (Aqua-Appia) було побудовано 312 р. до н. е. Аппієм Клавдієм. Цей водопровід мав довжину близько півтори милі під землею і близько 1 км арками в самому Римі. Підземні труби виконувалися з глини, дерева чи свинцю. У місцях перетину водопроводу з твердими скельними породами вирубувалися водовідвідні канали. Надземні кам'яні водопроводи мали гідроізоляцію зі штукатурки та отвори зверху. Водопроводи виконувалися на стінах, що мали арки. Ці арки утворювали один чи кілька ярусів, що дозволяло споруджувати акведуки (рис. 4.1) через річки як мости і

прокладати по них дороги. Окремі частини римських водопроводів та водорозподільних пристроїв у вигляді фонтанів функціонують досі.



Рис. 4.1. Давньоримський акведук, збудований у I ст. н.е., що зберігся до наших днів (Пон-дю-Гар, Франція)

Середні віки. Розпад та завоювання варварами Римської імперії (V ст. н. е.) не могло не зашкодити загальному стану міст і, зокрема, їх водопостачанню. Одні акведуки були занедбані і стали непридатними без належного догляду, інші – повністю зруйновані. Окрім цього, відому роль у деградації водопроводів відіграла зміна релігійних уявлень. Ранні християни відкидали все, що було пов'язано з язичництвом, включаючи, зрозуміло, і римські традиції чистоти. Вони надавали перевагу антисанітарії, щоб бути «чистими духом», а матеріальні блага вважали гріховними. Домашні ванни чи громадські лазні вважалися синонімами розбещеності та непристойності.

Відомості про влаштування централізованих міських водопроводів в середньовічній Європі належать до XII-XIII ст. Наприкінці XII ст. збудовано перший самопливний водопровід у Парижі (Франція). У XIII ст. розпочалося централізоване водопостачання Лондона (Англія). До початку XV ст. відносяться відомості про влаштування водопроводів у німецьких містах.

Новий та новітній час. Промисловий прогрес XVII ст. поставив нові завдання у різних галузях техніки. Істотний прогрес у транспортуванні води розпочався з винаходом парової машини в середині XVIII ст. Саме це дозволило застосувати для перекачування води насоси і перейти до облаштування напірних водопроводів. У свою чергу, такий перехід хоч і суттєво спростив будівництво водопроводів, проте вимагав застосування нових труб, міцніших за свинцеві та дерев'яні.

Швидкими темпами вдосконалювалися внутрішні системи водопроводу – у будинках містян з'явилися водорозбірні крани, умивальники, душ та ванни.

Збільшення обсягів води, що подається, призвело до утворення великої кількості стічних вод і різкого забруднення водних об'єктів. На рубежі XIX та XX ст. відбувся перехід водопровідних систем на постачання міст очищеною та знезараженою водою з річок та озер. На очисних станціях спочатку

застосовувалося відстоювання з фільтруванням, потім метод коагулювання. Знезараження води для водопостачання в Європі розвивалося з переважанням методу озонування, у США набуло найбільшого поширення хлорування.

Основні тенденції розвитку водопроводу. Після Другої світової війни (1939-1945 рр.) і до теперішнього часу намітилися основні тенденції розвитку водопроводу:

а) скорочення витрат води для господарсько-питних потреб. Якщо на ранніх стадіях історії людства розвиток водопроводу ставив за мету збільшення норми споживання води на людину, то, починаючи з останньої третини ХХ ст., відбувається зворотний процес – у зв'язку з нестачею та подорожчанням водних ресурсів у промислово розвинених країнах відбувається зменшення господарсько-питного використання води, насамперед, за рахунок скорочення її непродуктивних витрат (витік, прориви, аварії тощо). Безумовно, йдеться лише про скорочення водоспоживання до рівня, що не погіршує побутові умови населення. Основний упор робиться на вдосконалення якості очищення води.

б) створення схем повного оборотного водопостачання для промислових підприємств. Забруднення водних об'єктів та збільшення темпів промислового зростання сприяло розробці нових, високоефективних технологій, що не вимагають, по-перше, великих обсягів води та, по-друге, використовують принципи повного обороту води без скидання стічних вод. Зрештою, це дозволяє скоротити плату за користування ресурсами та забруднення довкілля

в) всебічне вдосконалення технологій очищення води. Традиційні, класичні схеми, що з успіхом застосовувалися з початку ХХ ст. в більшості випадків на водопровідних очисних станціях (коагулювання, фільтрування, знезараження), на жаль, нині не здатні очищати питну воду до жорстких санітарних норм. Причина цього – забруднення природних вод антропогенними речовинами, нехарактерними для природного середовища. Наприклад, до таких забруднювальних речовин відносяться СПАР (синтетичні поверхнево-активні речовини), нафтопродукти, сполуки важких металів, пестициди та інші небезпечні для здоров'я людини інгредієнти. Поліпшення якості очищення можна досягти, по-перше, за допомогою розробки нових, ефективніших способів та установок, по-друге, комбінуванням різних методів, по-третє, удосконаленням уже давно відомих технологій.

г) пошук нових, нетрадиційних джерел води. Для цілей, насамперед промислового водопостачання, активно ведуться роботи з використання таких, що раніше не застосовувалися, джерел води, як атмосферна волога, умовно-чисті та поверхневі стічні води, морська вода. Такі дослідження особливо перспективні для постачання тих районів планети, які не мають достатньої кількості чистої води з річок, озер, водосховищ. Наприклад, деякі міста у країнах Близького Сходу вже перейшли на опріснену морську воду.

д) перехід на трубопроводи з полімерних та композитних матеріалів. Недоліки матеріалів, які традиційно використовувалися для виготовлення водопровідних мереж, призвели до створення нових видів труб. Труби з полімерних матеріалів мають низку переваг – вони легкі, морозостійкі,

довговічніші в експлуатації, не схильні до корозії і простіше з'єднуються між собою. Інший шлях удосконалення трубопроводів полягає в комбінуванні різних матеріалів, що дає в результаті такі поєднання властивостей, яких немає в жодному окремо взятому матеріалі. Наприклад, сталеві трубопроводи з полімерним захисним покриттям мають міцність сталі та корозійну стійкість полімерів.

4.1.2. Водовідведення

Коли люди стали об'єднуватись у великі громади, виникла потреба створення пристроїв, призначених для швидкого та повного видалення відходів від житлових місць. Рідкі відходи можна було видаляти самопливом, за принципом існуючої нині системи каналізації.

Стародавня Індія. Вже найдавніші поселення мали споруди для відведення стічних вод. Так, наприклад, у стародавньому індійському місті Мохенджо-Даро, розташованому в нижній течії р. Інд, ще 3000 р. до н. е. існувала добре обладнана система водопостачання з колодязями та водопровідними трубами, а також система каналізації. Будинки були обладнані ванними кімнатами та туалетами. Обпалене або обтесане каміння використовувалося не тільки для будівництва міцного житла, але також і для будівництва каналів, якими відводилися стічні води.

Стародавній Рим. Велике споживання води у Стародавньому Римі призводило до утворення великого обсягу стічних вод. Для відведення їх у р. Тибр використовували струмки. Частина таких струмків перекривалася і утворювалися каналізаційні канали. Так виникла, наприклад, відома «cloaca maxima» (клоака максима) – великий стічний канал (509 р. до н. е.), окремі частини якого використовувалися ще порівняно недавно (рис. 4.2). Лише в 1900 р. на зміну йому прийшли нові каналізаційні споруди.



Рис. 4.2. Вихід каналу «клоака максима», збудованого в V ст. до н.е., на березі р. Тибр у Римі (Італія)

Середні віки. За часів середньовіччя відбувся значний відкат до первозданної простоти. І в містах, і в замках – ні вбиралень, ні каналізації, ні нормального водопостачання. Власники замків могли дозволити собі

спеціальні приміщення для відправлення природних потреб, що іменувалися в Англії гардеробами чи клозетами, але які були далекими від досконалості.

Вміст нічних горщиків та помий виливались на вулицю прямо з вікон. Тому в Парижі в 1270 р. було прийнято закон, який під загрозою штрафу, забороняв «вилити помий та нечистоти з верхніх вікон будинків, щоб не облили тим людей, що проходять внизу».

Новий та новітній час. Інтенсивне будівництво каналізації почалося в Європі лише у ХІХ ст. Це пов'язано насамперед з розвитком водопроводу і зростанням міського населення, що зумовило необхідність: по-перше, централізованого відведення великої кількості стічних вод, що утворюються, по-друге, очищення цих стічних вод перед їх скиданням у водотоки та водойми, оскільки без очищення стічні води сильно забруднювали водні об'єкти, з яких бралася вода для водопостачання.

Найбільшого обсягу будівництво каналізації отримало у передовій країні на той час – Англії. До 1883 р. в Англії каналізаційні системи були у 50 містах. Згодом розпочалося будівництво каналізації у Німеччині (Гамбург – з 1843 р., Берлін – з 1873 р.), до 1880 р. у ній налічувалося понад 50 великих міст, що мають каналізацію.

Повільно розвивалася каналізація міст Франції, хоча каналізацію самого Парижа було розпочато ще у другій половині ХІV ст.

Швидким темпом йшло будівництво каналізації міст США – до 1902 р. каналізовано близько 1000 міст.

Однак відведення стічних вод без очищення дуже швидко призвело до різкого забруднення водних об'єктів. Наслідки цього першою відчула та сама Англія, через маловодність її річок, які не могли розбавити такої кількості стічних вод. Тому ще 1862 р. в Англії було видано закон про очищення стічних вод перед їх випуском у водні об'єкти.

Згодом, на підставі робіт спеціальних комісій у 1870 та 1876 рр., були встановлені норми очищення стічних вод при випуску їх у річки залежно від ступеня розведення.

Саме в цей період за прикладом англійців багато міст стали влаштовувати відомі до нашого часу поля зрошення. Внаслідок цього річки стали чистішими, і, крім того, стічні води могли бути використані у сільському господарстві. Однак поля зрошення мали низку недоліків, і тому було здійснено пошуки нових методів очищення стічних вод. За принципом полів зрошення були розроблені біологічні фільтри (біофільтри), які застосовуються і в наш час. Перші біофільтри з'явилися в Англії 1893 р.

Оскільки встановили, що для подальшої обробки стічних вод необхідне попереднє видалення з них осаду, розроблено різні конструкції відстійників. При цьому виникла проблема обробки осаду стічних вод, який внаслідок здатності до гниття не можна залишати на місцевості. Вирішенням питання стало зброджування осаду в спеціальних резервуарах.

В наш час розроблено методи штучного біологічного очищення. У 1914 р. з'явився метод очищення стічних вод за допомогою активного мулу, який застосовується і зараз як стандартний для глибокого очищення. Варто сказати, що у низці промислово розвинених країн вдалося багато в чому вирішити проблему очищення як стічних вод, так і забруднених ними поверхневих водних об'єктів.

4.1.3. Коротко з історії водопостачання і водовідведення в Україні

Найдавніший водопровід з'явився у Львові. Перший львівський водопровід згадується у 1407 р. Варто зазначити, що користувалися ним не всі бажаючі, а лише ті, хто мав змогу заплатити за прокладення водопроводу до власного будинку. Таких будинків навіть у другій половині XVIII ст. було тільки 86. Отже, більшість населення міста вживало воду з місцевих криниць, що часто ставало причиною епідемії. У 1901 р. за дорученням Львівського міського магістрату було реалізовано проєкт нового водопроводу м. Львова з механічною подачею води з басейну р. Верещиця.

Будівництво і пуск в експлуатацію водопроводів в інших містах: 1872 р. – Київ; 1873 р. – Одеса; 1881 р. – Харків; 1886 р. – Херсон.

Водовідведення. Найдавніші фрагменти каналізації з'явилися у Львові у XV ст. У 1908-1912 рр. почалося впровадження цілісної системи каналізації Львова, яка передбачала використання існуючих колекторів і спорудження нових. Головним колектором повинна була стати р. Полтва (притока Західного Бугу). Роботи над каналізуванням міста тривали аж до початку Другої світової війни (1939-1945 рр.).

Будівництво і пуск в експлуатацію каналізації в інших містах: 1877 р. – Одеса; 1896 р. – Київ; 1914 р. – Харків.

Історія водопостачання і водовідведення в Києві детально розглядається в розд. 11.1 цього навчального посібника.

4.2. Загальна схема водопостачання

Водопостачання – це сукупність заходів із забезпечення водою різних користувачів (населення, промисловості, транспорту тощо). Комплекс інженерних споруд, які здійснюють водопостачання *називають системою водопостачання, або водопроводом*. Усі сучасні системи водопостачання населених місць є централізованими, кожна з них забезпечує водою велику групу користувачів.

Для водопостачання використовуються природні джерела води: *поверхневі* – відкриті водойми (річки, озера, водосховища, моря) і *підземні* (артезіанські води). Найбільш придатні для потреб населення – підземні води. Але для постачання водою великих населених пунктів підземних джерел часто виявляється недостатньо, а отримання з них значної кількості води є економічно не вигідним. Тому для водопостачання великих міст і промислових об'єктів використовують переважно поверхневі джерела прісної води.

Для одержання води з природних джерел, її очищення та подачі до місць користування призначені такі споруди:

водозабірні споруди і насосні станції першого підйому, які подають воду до місць її очищення; споруди для очищення природної води; збірні резервуари чистої води; насосні станції другого чи наступних підйомів, які подають воду в місто або на промислові підприємства; водоводи та водопровідні мережі. Загальна схема водопостачання може змінюватись залежно від конкретних умов (рис. 4.3).

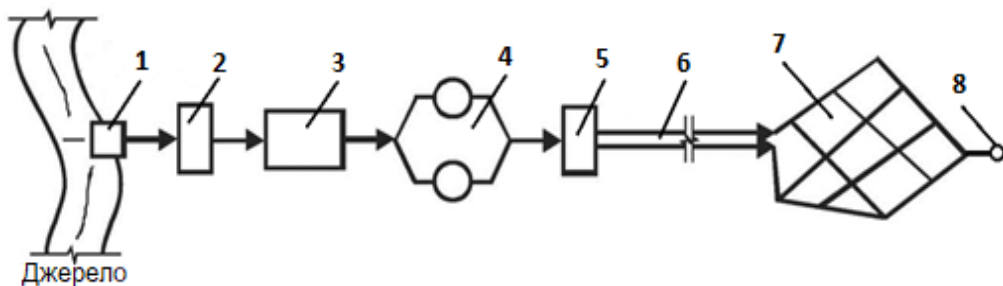


Рис. 4.3. Загальна схема системи водопостачання: 1 – водоприймальна споруда (водозабір); 2 – насосна станція першого підйому; 3 – водоочисні споруди; 4 – резервуар чистої води; 5 – насосна станція другого підйому; 6 – водоводи; 7 – водопровідна мережа; 8 – водонапірна вежа

Якщо вода джерела водопостачання не вимагає очищення, то із схеми випадають споруди для очищення природної води. При розташуванні джерела на більш високих позначках, ніж об'єкт-водокористувач, вода може подаватися самопливом і тому немає необхідності у спорудженні насосних станцій. Розміщення водонапірних веж і резервуарів залежить від рельєфу місцевості. У деяких системах використовується кілька джерел водопостачання, що призводить до збільшення кількості основних споруд.

Для промислових підприємств за певних умов застосовують так звані оборотні системи водопостачання (рис. 4.4), а також системи з послідовним використанням води.

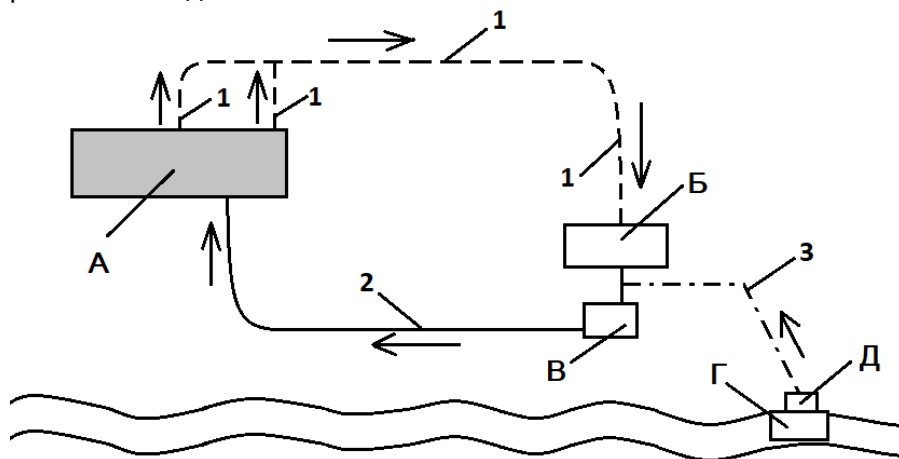


Рис. 4.4. Схема оборотного водопостачання: А – промислове підприємство; Б – охолоджувальний пристрій; В – циркуляційна насосна станція; Г – водоприймач; Д – насосна станція; 1 – відвід нагрітої води; 2 – подача охолодженої води; 3 – подача свіжої води

Оборотні системи водопостачання призначені для запобігання нерациональному використанню природних вод та їхньому забрудненню. У

таких системах воду після необхідної обробки (охолодження чи освітлення) знову подають користувачам. Для охолодження води в оборотних системах застосовуються градирні, охолоджувальні ставки, басейни. При цьому з джерела подається вода лише для поповнення її витрат при охолодженні чи безповоротних втрат у виробництві.

Таким чином, кількість води, яка забирається з джерела водопостачання, за оборотної системи є значно меншою, ніж за звичайної прямої системи. Це дозволяє інколи використати таке природне джерело, якого за прямої системи було б недостатньо для даного користувача.

Системи з послідовним використанням води застосовують у тих випадках, коли вода, що скидається одним виробничим користувачем, може використовуватися іншим. Це також зменшує об'єм води, який треба забрати з джерела водопостачання.

Через значне зростання об'ємів водокористування у містах місцеві природні джерела у деяких районах не можуть задовольнити потреб водопостачання. У такі райони вода надходить з віддалених джерел. Наприклад, у Лос-Анджелес (США) вода подається трьома водоводами з джерел водопостачання, які знаходяться на відстані 420, 610 і 860 км.

В Одесу вода подається з Дністра, який знаходиться на відстані близько 40 км від міста. Для забезпечення водою центральних районів Донбасу створено канал Дніпро-Донбас (263 км).

4.3. Водозабори, насосні станції та водоочисні споруди

Водозабір – це гідротехнічна споруда, яка здійснює забір води із джерела живлення (річки, озера, водосховища) для потреб водокористування. Крім того, є водозабори, які використовуються для потреб гідроенергетики, іригації тощо.

Водозабірні споруди повинні забезпечувати надходження води у водовід (трубопровід, канал, тунель) заданої кількості, необхідної якості і відповідно до графіка водокористування.

4.3.1. Споруди для забору води з поверхневих джерел

Споруди для забору води з поверхневих джерел класифікуються за типом джерела: *річкові, водосховищні, озерні, морські та ін.*

З річкових найбільш поширеними є берегові, руслові, плавучі, ківшові водозабори. Крім того, вони можуть бути суміщені з насосними станціями першого підйому чи встановлені окремо від них.

Берегові водозабірні споруди, які застосовуються за відносно крутих берегів річки, являють собою бетонний чи залізобетонний колодезь великого діаметра, винесений передньою стінкою у річку (рис. 4.5). Вода надходить у нього через отвори, захищені ґратами, а потім проходить через сітки, які забезпечують механічне очищення води.

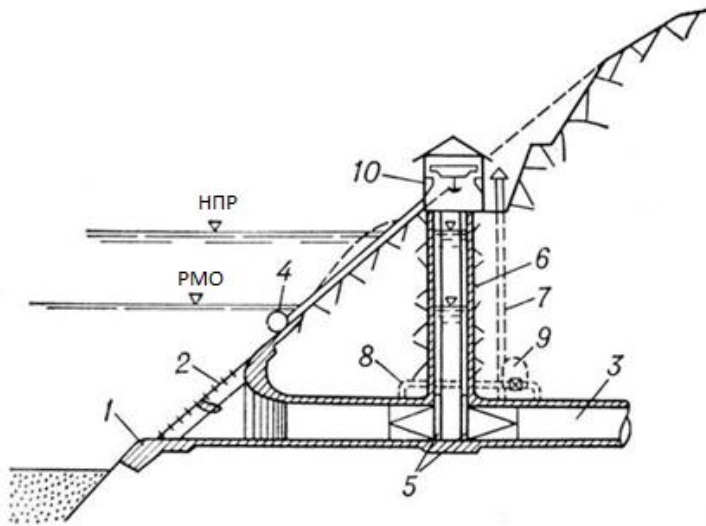


Рис. 4.5. Береговий водозабір: 1 – поріг водозабору; 2 – ґрати для затримання сміття; 3 – дериваційний канал; 4 – пристрій для усунення сміття з ґрат; 5 – затвори; 6 – шахта водозабору; 7 – аераційна шахта; 8 – байпаси; 9 – галерея засувів на байпасах; 10 – приміщення підйому механізмів; НПР – нормативний підпірний рівень; РМО – рівень мертвого об’єму

Руслові водозабірні споруди застосовуються, як правило, за пологого берега, мають оголовок, винесений у русло річки (рис. 4.6). Конструкція оголовків є найрізноманітнішою. З оголовка вода подається по самотпливних трубах до берегового колодязя; останній часто суміщається з насосною станцією першого підйому.

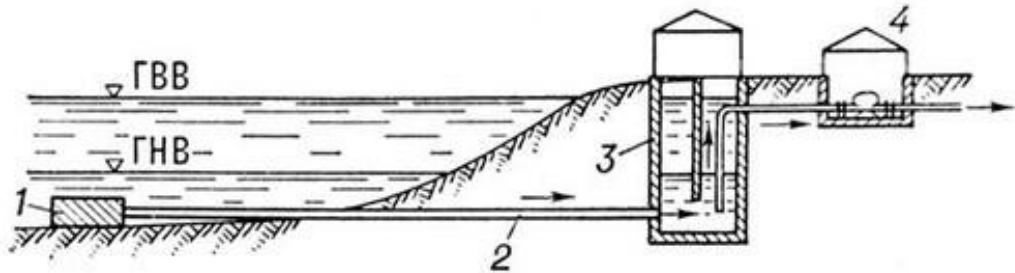


Рис. 4.6. Водозабір руслового типу: 1 – оголовок; 2 – самотпливна лінія подачі води; 3 – береговий колодязь; 4 – насосна станція; ГВВ – горизонт високих вод; ГНВ – горизонт низьких вод

Плаваючі водозабірні споруди – це понтон чи баржа, на яких встановлюються насоси, що забирають воду безпосередньо з річки. На берег вода подається по трубах (з рухливими стиками), які прокладено на з’єднувальному містку.

Після аварії на Чорнобильській АЕС (1986 р.) спеціалісти Київводоканалу знайшли унікальне технічне рішення для забезпечення міста

питною водою – створили плавучу насосну станцію «Роса-300» (рис. 4.7). Її завданням було забезпечення перекачування води з р. Десна на технологічні споруди Дніпровської водопровідної станції в зв'язку з можливим радіоактивним забрудненням води у Київському водосховищі на Дніпрі. Наразі станція знаходиться у законсервованому стані.



Рис. 4.7. Плавуча насосна станція «Роса-300», збудована в 1986 р. (Київ)

У ківшових водозабірних спорудах вода надходить з річки спочатку в розташований біля берега ківш (штучна затока), в кінці якого розташована власне водозабірна споруда. Сам ківш використовується для осадження наносів, а також для боротьби з льодовими явищами.

4.3.2. Водозабір підземних вод

Водозабір підземних вод – це гідротехнічна споруда для забору підземних вод і подачі їх у водопровідні та інші водогосподарські системи. Вибір ділянки для закладання водозабору підземних вод зумовлюється геолого-гідрогеологічними умовами району, відстанню від місця користування водою та ін. Експлуатація водозаборів здійснюється за допомогою каптажних пристроїв. Залежно від умов і призначення вони поділяються *на вертикальні, горизонтальні та каптажі природних виходів – джерел.*

Вертикальні водозабори споруджуються за наявності відносно глибокого залягання водоносних горизонтів як безнапірних, так і напірних вод. Конструктивно вертикальні водозабори поділяються на свердловини (трубчасті колодязі) і шахтні колодязі.

Свердловини є найбільш універсальним, технічно досконалішим типом водозаборів і використовуються для централізованого водопостачання. Вони мають велику продуктивність і найповніше відповідають санітарним вимогам. Глибина свердловин досягає 800 м, але більшість з них обладнується на глибину 100-300 м. Дебіти становлять від 0,5 до 50 л/с, інколи більше. Стінки свердловини у нестійких пухких породах укріплюють колонами обсадних труб, які входять одна в одну і в межах водоносного горизонту закінчуються фільтром з пористого бетону, кераміки, гравію, металевих сіток (рис. 4.8–4.9).

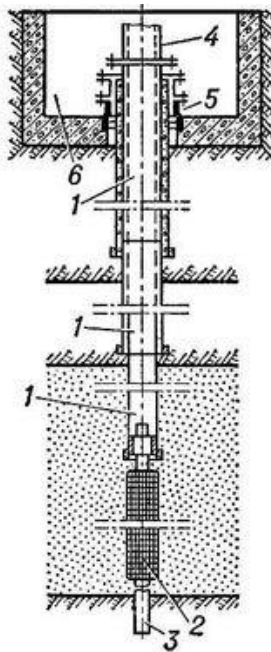


Рис. 4.8. Свердловина (трубчастий колодезь): 1 – колони обсадних труб; 2 – фільтр; 3 – відстійник; 4 – гирло; 5 – оголовок; 6 – шахта для встановлення арматури

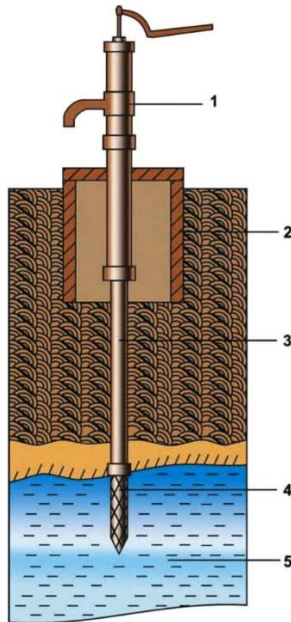


Рис. 4.9. Свердловина (трубчастий колодезь): 1 – ручний насос; 2 – камера насоса; 3 – забивна труба; 4 – фільтр; 5 – водоносний горизонт

Для підйому води зі свердловин використовують занурені насоси. Часто водозабірні свердловини облаштовуються водонапірними вежами, які регулюють напір і витрату води у водопровідній мережі. Строк служби свердловин, як правило, становить 10-15 років, інколи до 30.

Шахтні колодязі (рис. 4.10) можуть закладатися у водоносних шарах з вільною поверхнею (ґрунтові) і в напірних водоносних горизонтах (артезіанські) до глибини 100 м.

Якщо водозабірні споруди перетинають водоносний шар на всю товщу, вони називаються досконалими, коли вони заглиблюються у водоносний горизонт лише частково і не досягають водотриву – недосконалими.

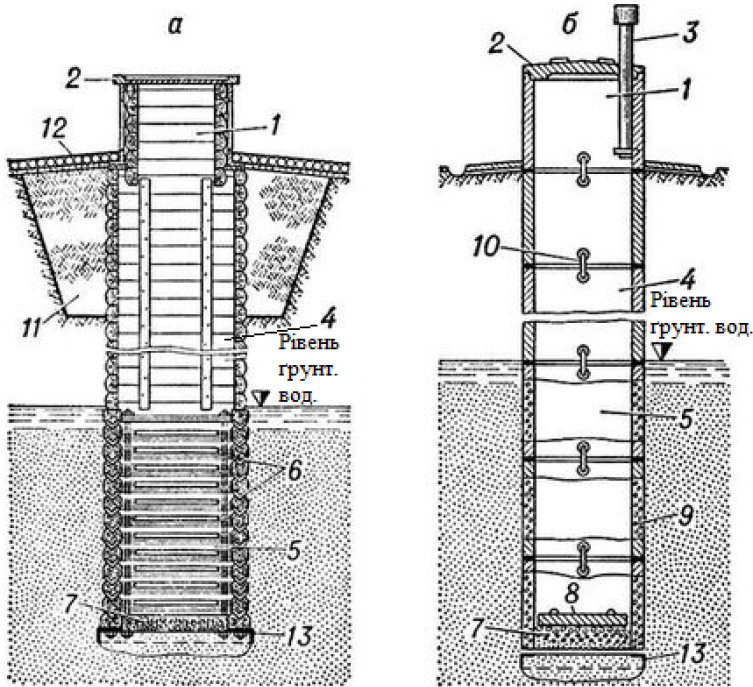


Рис. 4.10. Зрубовий шахтний колодязь з гравітаційним фільтром (а) і залізобетонний з водоприймальною частиною з дірчастого бетону (б); 1 – оголовок; 2 – кришка; 3 – вентиляційна труба; 4 – ствол (частина шахти від поверхні землі до водоносного шару); 5 – водоприймальна частина шахти; 6 – гравітаційний фільтр (у V-подібних отворах); 7 – донний фільтр; 8 – плита з дірчастого бетону; 9 – стінки з дірчастого бетону; 10 – скоби, які скріплюють плити; 11 – замок з глини; 12 – відмостка; 13 – ніж (залізна пластина)

Шахтні колодязі (криниці) споруджуються головним чином для задоволення невеликих потреб водокористувачів. Для більш повного забору підземної води застосовуються променеві водозабори – комбінація шахтного колодязя з горизонтальними свердловинами, які закладено у різні боки водоносного шару.

Горизонтальні водозабори поділяються на: *траншейні, галерейні* (власне галереї та штольні) і *кяризи*. Вибір типу горизонтального водозабору зумовлюється глибиною залягання підземних вод і характером водокористування. Для постійного водопостачання відносно великих водокористувачів застосовуються водозабірні галереї та штольні, які споруджуються за значної глибини залягання водоносних горизонтів. Траншейні споруди використовуються для порівняно невеликого водопостачання за малої глибини залягання підземних вод.

Кяризи (рис. 4.11) – це примітивно влаштовані водозабірні споруди для сільськогосподарського водопостачання і зрошення невеликих земельних ділянок у напівпустельних районах з обмеженим за площею заляганням водоносних горизонтів.



Рис. 4.11. Конструкція кяризу та його зовнішній вигляд

4.3.3. Насосні станції

Насосні станції сучасних систем водопостачання обладнуються, як правило, насосами з електричним приводом, а також регулюючою, запобіжною і контрольно-вимірювальною апаратурою. Багато насосних станцій має телеуправління і є повністю автоматизованими.

4.3.4. Водоочисні споруди

Водоочисні споруди призначені для підготовки природної води з метою надання їй якості, яка відповідає нормативним вимогам.

Води поверхневих водних джерел (річок, озер), як правило, не придатні для пиття через значну каламутність, кольоровість і більш високий, ніж це допустимо для питної води, вміст бактерій. Тому до подачі води у господарсько-питний водопровід на водоочисних спорудах її освітлюють (вилучають завислі та колоїдні частинки), усувають забарвленість (кольоровість) і знезаражують від хвороботворних бактерій, пом'якшують.

Методи підготовки і очищення природної води детально розглядаються в розд. 7. Очищена вода подається до населеного пункту (об'єкта) по водоводах і розводиться по його території водопровідною мережею.

4.4. Водопровідна мережа

Водопровідна мережа, яка є сукупністю водопровідних ліній (трубопроводів) для подачі води до місць користування, є основним елементом системи водопостачання. До ліній водопровідної мережі (ВМ) приєднуються так звані домові відгалуження (труби), по яких вода подається в окремі споруди.

Зовнішня водопровідна мережа – та частина ВМ, яка прокладається поза межами споруд.

Внутрішня водопровідна мережа – та частина ВМ, яка влаштовується всередині будинків для підведення води до водорозбірних кранів.

Для обладнання водопровідної мережі застосовують водопровідні труби. Вибір типу труб залежить від величин необхідного тиску у водопровідній мережі, характеру ґрунтів, способу прокладання, а також від економічних чинників. При підземному прокладанні найбільш поширеними є металеві, пластикові та металопластикові труби.

Глибина закладання труб залежать від рівня промерзання ґрунту, температури води, яка подається по трубах і режиму роботи (на території України близько 1,3-2 м). Також максимальну глибину закладання труб зумовлено необхідністю збереження труб від руйнування у результаті транспортних навантажень на поверхні.

Водопровідні мережі обладнуються запірною арматурою – засувами і вентилями для відключення окремих ділянок мережі, водорозбірним устаткуванням, пожежними гідрантами, інколи вуличними водорозбірними колонками. Гідранти і засуви, як правило, встановлюються у спеціальних збірних залізобетонних чи цегляних колодязях, які перекриваються металевими люками, що за необхідності знімаються.

За технічними умовами тиск води у водопровідній мережі населених пунктів не повинен перевищувати 6 атм. Для подання води в окремі багатоповерхові споруди додатково влаштовують місцеві насосні станції. Водопровідні мережі мають забезпечувати надійне і безперебійне постачання водою користувачів. Цій умові відповідає обладнання **кільцевих водопровідних мереж**, які складаються із суміжних замкнутих контурів – кілець (рис. 4.12), розміщення яких залежить від планування міста. За аварії пошкоджену ділянку водопроводу можна відключити без припинення подачі води до всіх інших ліній системи. Усі водопровідні мережі, в яких передбачається подача води для гасіння пожеж, як правило, влаштовуються кільцевими.

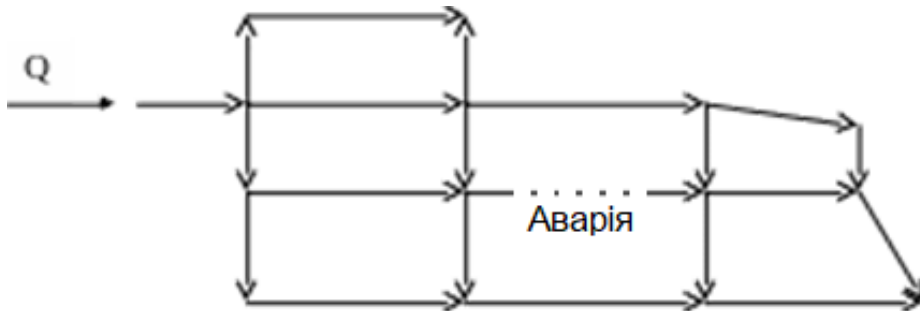


Рис. 4.12. Схема кільцевої водопровідної мережі

У **розгалужених водопровідних мережах** або так званих тупикових (рис. 4.13) за аварії на будь-якій ділянці (наприклад, у точці X) припиняється подача води у всі ділянки мережі, які знаходяться за пошкодженою. Тому розгалужені мережі можуть обладнуватися лише в тих випадках, коли припустимі перерви у водопостачанні.

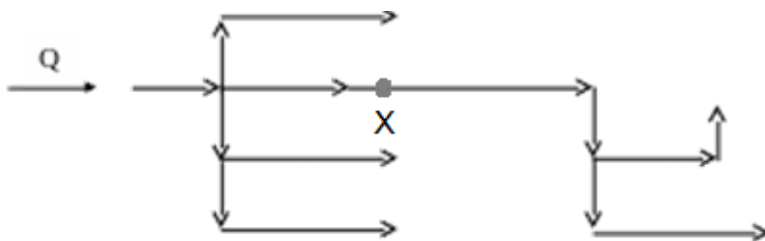


Рис. 4.13. Схема розгалуженої (тупикової) водопровідної мережі

Для регулювання тиску і витрати води у водопровідній мережі, створення її запасу і вирівнювання графіка роботи насосних станцій будуються водонапірні вежі і резервуари.

Водонапірна вежа складається з бака для води, як правило, циліндричної форми і опорної конструкції (ствола) – рис. 4.14 та 4.15. Регулююча роль водонапірної вежі полягає в тому, що під час зменшення водокористування надлишок води, який подається насосною станцією, накопичується у водонапірній вежі та витрачається з неї під час підвищеного режиму водопостачання. Висота водонапірної вежі (відстань від поверхні землі до низу бака), як правило, не перевищує 25 м, інколи – 30 м; ємність бака – від кількох десятків кубічних метрів до кількох тисяч. Опорні конструкції виготовляються в основному із сталі, залізобетону, інколи з цегли; баки – переважно із залізобетону і сталі.

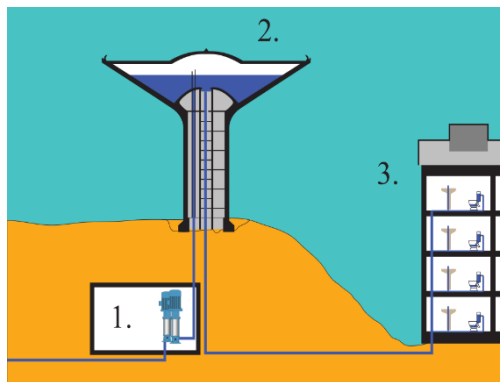


Рис. 4.14. Водонапірна вежа: 1 – насос; 2 – резервуар з водою; 3 – вежі у сільській місцевості споживачі води



Рис. 4.15. Монтаж водонапірної вежі у сільській місцевості

Водонапірний резервуар, на відміну від водонапірної вежі, не має опорної конструкції (ствола), але встановлюється на підвищених позначках місцевості. Інколи водонапірні резервуари служать для зберігання пожежного і аварійного запасу води. У сучасних системах водопостачання найпоширеніші є резервуари із залізобетону.

4.5. Система водовідведення

Система водовідведення (каналізація) – це комплекс інженерних споруд, обладнання і санітарних заходів, які забезпечують забір і відведення за межі населених пунктів і промислових підприємств забруднених стічних вод, а також їх очищення і знезараження перед утилізацією чи скиданням у водні об'єкти. Виділяють внутрішню і зовнішню каналізацію.

4.5.1. Внутрішня та зовнішня каналізація

Внутрішня каналізаційна мережа призначена для прийому стічних вод у місцях їхнього утворення і відведення їх з будинків у зовнішню каналізаційну мережу. Внутрішні каналізаційні пристрої в житлових і громадських спорудах складаються з *приймачів* (унітази, раковини, умивальники, мийки) і *мережі* – відвідних труб, стояків, випусків з будинку у дворову мережу. Санітарні пристрої встановлюють у кухнях, туалетних і ванних кімнатах житлових і виробничих будівель. Стічні води з приймачів надходять у відвідні труби, а потім в стояки внутрішньої каналізаційної мережі.

Щоб повітря та гази не проникали в приміщення, між мережею і санітарними приладами передбачають водяні затвори (рис. 4.16). В унітазах водяні затвори є конструктивним елементом приладу, а під умивальниками, ваннами, мийками і раковинами встановлюють спеціальні фасонні частини – сифони.



Рис. 4.16. Водяний затвор санітарного пристрою (принцип сифона)

Стічні води надходять стояком крізь випуск з будинку у дворову або внутрішньоквартальну каналізаційну мережу. У місці приєднання кожного випуску до дворової або внутрішньоквартальної каналізаційної мережі, обладнують оглядовий колодезь, який призначається для спостереження за роботою внутрішньої мережі і для її прочищення у разі засмічення.

Зовнішня каналізаційна мережа – це прокладена з ухилами розгалужена підземна мережа труб і каналів, що відводить стічні води самопливом до насосної станції, очисних споруд або у водний об'єкт.

Залежно від призначення, місця прокладання та розмірів зовнішньої каналізаційної мережі, вирізняють: *дворову* – прокладену в межах одного будинковолодіння; *внутрішньоквартальну* – прокладену всередині кварталу; *заводську* – прокладену на території промислових підприємств; *вуличну* – прокладену вулицями й проїздами і яка приймає стічні води з дворових, внутрішньоквартальних і заводських мереж.

Для догляду за роботою дворової і внутрішньоквартальної мережі, в кінці таких каналізацій обладнують оглядовий колодязь, який називають контрольним. Ділянку мережі, що сполучає контрольний колодязь з вуличною мережею, називають сполучною гілкою.

Вулична мережа міст дуже розгалужена і охоплює великі території, з яких стічні води відводяться переважно самопливом. Для цього всю територію каналізації населеного пункту поділяють на басейни каналізування (території, обмежені вододілами).

4.5.2. Схема каналізації

Схемою каналізації називають технічно і економічно обґрунтоване вирішення прийнятої системи каналізації з урахуванням місцевих умов і перспектив розвитку об'єкта каналізування міста, селища, промислового чи житлового району (рис. 4.17). Залежно від рельєфу місцевості всю територію населеного пункту умовно поділяють на басейни каналізування, тобто ділянки, які обмежені вододілами. У кожному басейні по підземних каналізаційних трубах вуличної мережі стічні води збирають в один чи кілька колекторів. Стічні води сплавляють по колекторах самопливом, а у разі значного заглиблення колектора, мережу поділяють на кілька районів з нормальним заглибленням трубопроводів. З цих районних мереж стічні води надходять до районної насосної станції перекачування (РСП), звідки вони по напірному трубопроводу подаються на вищу позначку колектора. Влаштовують також каналізаційні насосні станції для подачі стічних вод безпосередньо до очисних споруд, звідки очищені стічні води скидаються у водні об'єкти.

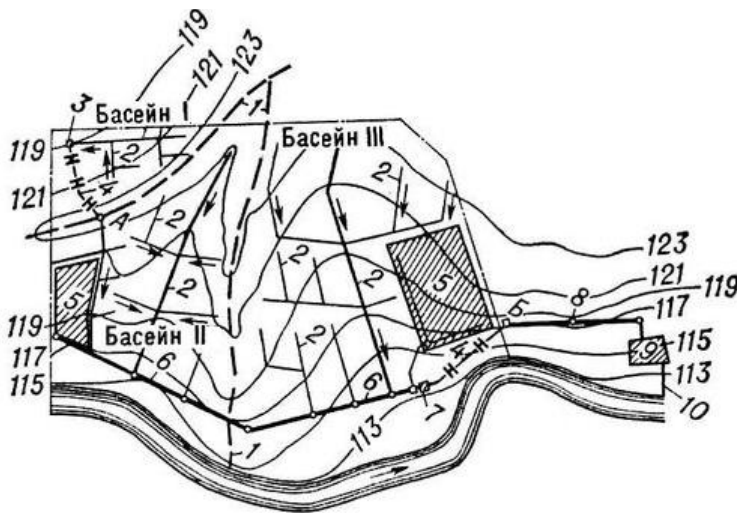


Рис. 4.17. Загальна схема та основні споруди каналізації населеного пункту: 1 – межі басейнів каналізування; 2 – вулична мережа і колектори; 3 – районна насосна станція; 4 – напірні водоводи; 5 – промислові підприємства; 6 – головний колектор; 7 – головна насосна станція; 8 – заміський колектор; 9 – очисні споруди; 10 – випуск очищених стічних вод у водний об'єкт

4.5.3. Каналізаційна мережа

Каналізаційна мережа – це сукупність підземних трубопроводів і колекторів для прийому і відведення стічних вод з території населених пунктів і промислових підприємств до місця розташування очисних споруд. Вона є основною частиною системи каналізації. До складу каналізаційної мережі входять внутрішньоквартальні, дворові та вуличні мережі, колектори і напірні трубопроводи. До внутріквартальної чи дворової *мережі* через випуски приєднуються трубопроводи внутрішньої каналізаційної мережі, яка прокладається всередині споруд.

Для перекачування стічних вод до очисних споруд влаштовуються насосні станції, а для огляду і ремонту каналізаційної мережі – каналізаційні колодязі. На промислових підприємствах може існувати кілька каналізаційних мереж для відведення стічних вод різного складу (сильнокислих, сильнолужних та ін.).

Каналізаційний колектор є ділянкою каналізаційної мережі, яка збирає стічні води з басейнів каналізування (*лат. Collector* – збирач) – рис. 4.18. Вони поділяються на: колектори басейну каналізування, які приймають стічні води з каналізаційної мережі одного басейну, головні колектори, які збирають стічні води з двох чи кількох колекторів басейнів каналізування, і замиські, чи відвідні, колектори, які відводять стічні води транзитом (без приєднань) за межі об'єкта каналізування до насосних станцій, очисних споруд чи до місць скидання у водні об'єкти. Каналізаційні колектори можуть мати вигляд тунелю (рис. 4.19).

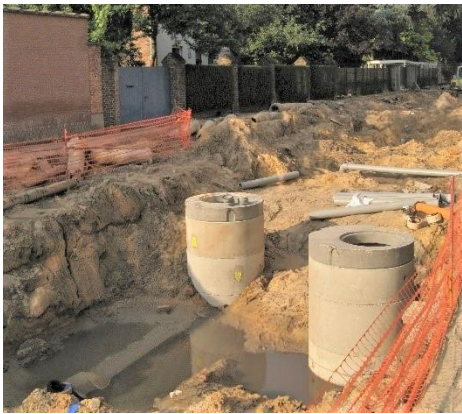


Рис. 4.18. Будівництво каналізаційного колектора



Рис. 4.19. Давній каналізаційний колектор у Львові

Каналізаційні колодязі – споруди для спостереження за функціонуванням каналізаційної мережі, її промивання та очищення. Виділяють каналізаційні *колодязі оглядові, перепадні та промивні*.

Оглядові колодязі бувають *лінійними*, вони обладнуються на прямолінійних ділянках мережі; *поворотними* – у місцях зміни напрямку траси; *вузловими* – коли з'єднуються кілька ліній; *контрольними* – у місцях приєднання дворової чи внутріквартальної мережі до вуличної. *Перепадні* колодязі влаштовують за суттєвої різниці позначок підвідної та відвідної труб.

Промивні колодязі призначені для розмиву осадів, які утворюються в трубах за малих швидкостей руху стічних вод.

При проектуванні каналізаційної мережі беруть до уваги, за можливості, самопливний режим руху господарсько-побутових і промислових стічних вод. Гідравлічний розрахунок полягає у визначенні діаметрів каналізаційних труб, ступеня їх наповнення, швидкості течії стічних вод тощо. Мінімальна глибина закладання каналізаційної мережі, яка залежить від глибини промерзання ґрунту, повинна також бути достатньою для збереження труб від руйнування наземним транспортом (1,5–2 м). Вибір матеріалу труб для прокладання каналізаційної мережі залежить від призначення трубопроводу. Самопливна мережа виконується із пластмасових і залізобетонних труб, а колектори більших діаметрів – із залізобетонних труб чи збірних залізобетонних елементів. Для напірних колекторів застосовують залізобетонні труби.

У практиці міського господарства можуть бути загальносплавна або роздільна системи водовідведення.

Загальносплавна система водовідведення – усі три категорії стічних вод (господарсько-побутові, промислові, дощові) відводяться по одній загальній мережі труб і каналів за межі населеного пункту на очисні споруди.

Роздільна система водовідведення має дві або більше водовідвідних мереж, кожна з яких призначається для відведення стічних вод певного виду окремо на очисні споруди.

4.6. Споруди для очищення стічних вод

Споруди для очищення стічних вод є комплексом інженерних споруд у системі каналізації населеного пункту чи промислового підприємства, призначеним для очищення стічних вод від забруднювальних речовин, які містяться в них (рис. 4.20). Метою очищення є підготовка стічних вод до використання на підприємстві чи до скидання їх у водні об'єкти.

Промислові стічні води, як правило, спочатку очищують на локальних спорудах для очищення стічних вод задля зниження концентрації забруднювальних речовин, вилучення з них та утилізації корисних речовин. Після локального очищення стічні води можуть бути використані знову в технологічному процесі, або скинуті у міську каналізаційну мережу.

4.6.1. Механічні методи очищення стічних вод

Механічними методами на міських очисних спорудах із стічних вод вилучають до 75% нерозчинних забруднювальних речовин (дрібні мінеральні домішки, пісок, жири, нафтопродукти та ін.). Речовини, які спливають, затримуються за допомогою ґрат або сит, вилучаються з води, подрібнюються в подрібнювачах молоткового типу і скидаються назад у потік стічної води або ж піддаються обробці спільно з осадами. Пісок та інші дрібні мінеральні домішки затримуються при пропусканні стічних вод через піскоуловлювачі. Пісок, який осів, переміщується гідроелеватором на так звані піскові майданчики або ж у бункери, звідки вивозиться і використовується для вирівнювання ділянок місцевості.

Не розчинені завислі частинки затримуються головним чином у відстійниках і септиках. Для усунення нафтопродуктів, жирів та інших речовин

з густиною, близькою до густини води, застосовуються флотатори та спеціальні уловлювачі.



Рис. 4.20. Загальний вигляд споруд для очищення стічних вод

Залежно від забруднення і необхідного ступеня очищення стічних вод до складу споруд для очищення можуть входити споруди механічного, біологічного, фізико-хімічного та додаткового очищення (рис. 4.21).

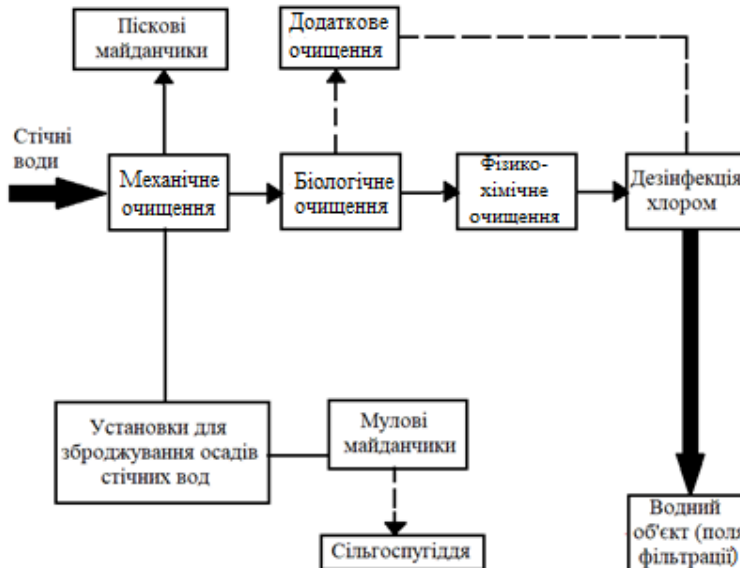


Рис. 4.21. Загальна схема видів очищення стічних вод

4.6.2. Біологічні методи очищення стічних вод

Методами біологічного очищення, які імітують процеси самоочищення у водних об'єктах, вилучається 90–95% органічних забруднювальних

речовин, які містяться у стічних водах у вигляді колоїдів і розчинених речовин. Для цього призначені спеціальні споруди (аеротенки, біофільтри, септики, метантенки, поля фільтрації, біоставки).

4.6.3. Хімічні та фізико-хімічні методи очищення стічних вод

Хімічні методи очищення ґрунтуються головним чином на тому, що при введенні у стічну воду розчинів певних реагентів утворюються пластівці, які сприяють осадженню завислих речовин.

Фізико-хімічне очищення забезпечується обладнанням для приготування і дозування реагенту (при реагентному очищенні), змішувачами для змішування стічних вод з реагентом, камерами реакції для початкового утворення пластівців, відстійниками, в яких осаджуються завислі речовини і частково колоїди. Окрім реагентного очищення, до фізико-хімічних методів належать електрохімічні, гіперфільтрація, окиснення та ін.

4.6.4. Додаткові методи очищення стічних вод

Додатковому очищенню стічні води підлягають, якщо є така необхідність, після біологічного очищення. При цьому використовується в основному фільтрація, реагентна обробка та інші методи, які забезпечують усунення органічних завислих речовин фосфору і азоту.

4.6.5. Дезінфекція

Дезінфекція – останній етап обробки стічних вод, їхнє знезараження хлором, який впливає на бактеріальні організми, що лишилися після біологічного, хімічного та додаткового очищення. Для цього призначені такі споруди, як хлоратори, контактні резервуари.

У процесі очищення стічних вод у відстійниках накопичується осад. Він погано сохне, має неприємний запах і є небезпечним у санітарному відношенні. Після зброджування осад стічних вод вже не має цих негативних властивостей, тому застосовуються споруди для обробки і знезараження осаду – септики, двох'ярусні відстійники, метантенки, мулові майданчики, вакуум-фільтри, центрифуги і фільтрпреси.

Детально процеси, які відбуваються за різних видів очищення стічних вод, розглядаються у розд. 8,9.

Контрольні питання до розд. 4

- 1) *Описати особливості водопостачання стародавніх цивілізацій та держав.*
- 2) *Назвати особливості розвитку водопостачання у новий та новітній час.*
- 3) *Назвати основні тенденції розвитку водопроводу.*
- 4) *Описати особливості водовідведення стародавніх цивілізацій та держав.*
- 5) *Назвати особливості розвитку водовідведення у новий та новітній час.*
- 6) *Дати визначення «водопостачання», «система водопостачання».*
- 7) *Перерахувати споруди для забору води з природних джерел, її очищення та подачі до місць користування.*
- 8) *В чому полягає різниця між звичайною та оборотною схемою водопостачання?*

9) Дати визначення «водозабір». Назвати як класифікуються споруди для забору води з поверхневих джерел за типом джерела.

10) Охарактеризувати берегові, руслові, плавучі та ківшові водозабірні споруди.

11) Дати визначення «водозабір підземних вод». Як вони поділяються залежно від умов і призначення?

12) Що таке свердловини та шахтні колодязі?

13) На які типи поділяються горизонтальні водозабори?

14) Дати визначення «водопровідна мережа». Що таке внутрішня та зовнішня водопровідна мережа?

15) В чому полягає різниця між кільцевою та розгалуженою (тупиковою) схемою водопровідної мережі?

16) Дати визначення «система водовідведення» (каналізація). Що таке внутрішня та зовнішня каналізація?

17) В чому полягає різниця між загальносправною та роздільною системою водовідведення?

18) Дати визначення «каналізаційна мережа». Що входить до складу каналізаційної мережі?

19) Дати визначення «споруди для очищення стічних вод».

20) Описати загальну схему видів очищення стічних вод.

5. ЯКІСТЬ ВОДИ ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ: НОРМУВАННЯ, КОНТРОЛЬ

Ступінь придатності води для тих чи інших цілей характеризується поняттям «якість води». *Якість води* – це поєднання хімічного і біологічного складу та фізичних властивостей води, яке зумовлює її придатність для конкретних видів водокористування. Встановлені значення показників якості води (фізичні, хімічні та біологічні) називаються нормами якості води і відповідають певним стандартам. Мікробіологічна характеристика води розглядається окремо в розд.6.

5.1. Фізичні та хімічні показники якості ВОДИ

5.1.1. Фізичні показники якості води

До фізичних показників якості води належать температура, прозорість чи каламутність, забарвленість, запах і смак.

Температура води. Залежить в першу чергу від походження вод. Води підземних джерел, на відміну від поверхневих, вирізняються сталістю температури. Оптимальною температурою води, яка використовується для пиття, вважається 7-11 °С.

Прозорість і каламутність води. Природні води, особливо поверхневі, рідко бувають прозорими через наявність у них завислих речовин, глини, піску, мулу, органічних решток. Усувається каламутність шляхом відстоювання і фільтрування води.

Забарвленість (кольоровість) води. Чиста вода, узята в малому об'ємі, є прозорою; у товстому шарі має блакитнуватий відтінок. Інші відтінки свідчать про наявність у воді різних розчинених і завислих домішок. Забарвленість води зумовлена наявністю в ній гумусових речовин, розвитком водоростей («цвітіння» водойм), колоїдними сполуками заліза, а також забарвленими стічними водами. Оскільки причини, які зумовлюють забарвленість води, є різноманітними, ефективність усунення забарвленості значною мірою залежить від встановлення її природи.

Смак води. Схематично виділяють чотири смаки природних вод:

- солоний; • солодкий;
- гіркий; • кислий.

Солоний смак надає воді NaCl. Гіркий – MgSO₄, Кислий смак мають мінеральні води за великого вмісту розчиненого CO₂.

Запах води. Запахи води бувають двох видів: 1) природного походження; 2) штучного походження. Причинами запахів природного походження є хімічний склад домішок води, живі та відмерлі організми, гнілі рослинні рештки, специфічні органічні сполуки. Серед запахів цієї групи виділяють: *ароматичний, болотний, гнильний, деревний, землистий, пліснявий, рибний, трав'янистий, сірководневий, непевний.*

Запахи штучного походження, зумовлені домішками деяких промислових стічних вод, називають за продукуючими їх речовинами: *фенольний, хлорфенольний, нафтовий, смолистий.*

5.1.2. Хімічні показники якості води

До хімічних показників якості води належать активна реакція (рН), окиснюваність, наявність азотних сполук, розчинені гази, сухий залишок (мінералізація), твердість, лужність, хлориди, сульфати, залізо, марганець та інші компоненти (специфічні забруднювальні речовини, радіоактивні елементи, важкі метали).

Активна реакція води визначає ступінь кислотності чи лужності води, що у практиці водопідготовки має велике значення; рН дозволяє правильно визначити форму знаходження в природних водах вуглекислих і кремнекислих сполук, відіграє значну роль при обробці води. Для більшості природних вод рН коливається в межах 6,5-8,5 (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Класифікація вод за величиною рН

Тип вод	Величина рН
Сильнокислі	<3,0
Кислі	3,0-5,0
Слабокислі	5,0 - 6,5
Нейтральні	6,5 - 7,5
Слабколужні	7,5 - 8,5
Лужні	8,5 - 9,5
Сильнолужні	>9,5

Окиснюваність води. Серед компонентів природних вод важливу роль відіграють органічні речовини. Через значну різноманітність визначити їх індивідуально досить важко. Тому, як правило, виконують сумарну оцінку їхнього вмісту у воді шляхом визначення окиснюваності. Величина окиснюваності виражається витратою окисника чи еквівалентної кількості кисню на окиснення органічних речовин в 1 дм³ води. Найменшою окиснюваністю (до 2 мг О/дм³) характеризуються артезіанські води. Окиснюваність річкової води й води водосховищ коливається в межах 2-8 мгО/дм³. Підвищена окиснюваність води свідчить про забруднення джерела стічними водами, що вимагає проведення заходів санітарної охорони.

Азотні сполуки. Азотні сполуки (йони амонію, нітриту й нітратні йони) утворюються у воді головним чином у результаті розкладання сечовини і білкових сполук, які потрапляють у неї з господарсько-побутовими стічними водами, а також водами содових, коксохімічних, азотно-тукових заводів.

Білкові речовини під дією мікроорганізмів розкладаються, кінцевим продуктом при цьому є аміак. Тому його наявність викликає підозру щодо забруднення водного об'єкта стічними водами.

Наявність і кількість тих чи інших азотних сполук може свідчити про час забруднення води. Підвищений вміст амонійного і нітритного азоту вказує на свіже забруднення води азотними сполуками, відсутність амонійного і нітритного азоту, але наявність нітратного – про давність забруднення.

Сухий залишок. Кількість солей, які містяться в природних водах, може бути охарактеризовано величиною сухого залишку, який є близьким до поняття **«мінералізація води»**. Сухий залишок, який утворюється при випаровуванні певного об'єму води, попередньо профільтрованого через паперовий фільтр, складається з мінеральних солей і нелетких органічних сполук. Органічна частина сухого залишку води визначається за величиною

втрат при прожарюванні. За величиною сухого залишку можна виділити наступні типи природних вод (табл. 5.2). Зазвичай, інтерес при водопостачанні становлять прісні води.

Таблиця 5.2. Характеристика природних вод за величиною сухого залишку

№	Група	Сухий залишок, мг/дм ³
1.	Ультрапрісні	До 100
2.	Прісні	100-1000
3.	Слабкосолоні	1000 - 3000
4.	Солоні	3000- 10000
5.	Сильносолоні	10000 - 50000
6.	Розсоли	50000 - 300000
7.	Ультрарозсоли	Більше 300000

Хлориди. Через велику розчинність хлористих солей (NaCl – 360 г/дм³, MgCl₂ – 545 г/дм³) йони хлору присутні майже в усіх водах. Велика кількість хлоридів у воді може бути зумовлена вимиванням натрієвої солі чи інших хлористих сполук з найближчих шарів, а також скиданням у воду промислових і господарсько-побутових стічних вод. У проточних водоймах кількість хлоридів є невеликою – 20-30 мг/дм³. Хлориди, які присутні у воді у великій кількості, при контакті з бетоном руйнують його в результаті вилуговування з вапна розчиненого хлориду кальцію і гідроксиду магнію.

Сульфати часто зустрічаються в природних водах. Потрапляють вони у воду головним чином при розчиненні осадових порід, до складу яких входить гіпс, а також у результаті забруднення промисловими і господарсько-побутовими стічними водами. Води, які містять велику кількість сульфатів, руйнують бетонні конструкції. Це пояснюється утворенням гіпсу в результаті реакції між вапном цементу і сульфатами води, що призводить до збільшення об'єму і виникнення тріщин.

Лужність води. Під загальною лужністю води розуміють суму гідратів і солей слабких кислот (вугільної, фосфорної, кремнієвої, гумінової тощо). Відповідно, виділяють лужність бікарбонатну, карбонатну, гумінову, гідратну.

Твердість води (жорсткість) зумовлюється наявністю в ній йонів кальцію і магнію. Присутність у воді великих кількостей солей, які зумовлюють твердість, робить її не придатною для господарсько-побутових потреб і багатьох технологічних процесів. При використанні твердої води погано розварюються овочі та м'ясо, псується вигляд, смак і якість чаю, перевитрачається мило під час прання. Крім того, тканини стають менш еластичними, збільшується крихкість волокна.

Використання твердої води для живлення парових котлів призводить до різкого погіршення їхньої роботи, а то й до аварій. М'яка вода потрібна для цілої низки інших виробництв (при виготовленні штучного волокна, пластмас, паперу). *За твердістю води класифікуються таким чином, ммоль/дм³: дуже м'які – до 1,5; м'які – 1,5-3,0; середні – 3,0-6,0; тверді – 6,0-10,0; дуже тверді – понад 10,0.*

Залізо і марганець за своїм вмістом у воді не перевищують десятих часток міліграма на дм³. Хоча навіть у більших кількостях вони не є

шкідливими для здоров'я, але своєю присутністю роблять воду не придатною для пиття, промислових і господарських потреб, оскільки за концентрацій заліза вище 1 мг/дм³ вода набуває неприємного чорнильного чи залізного присмаку. У результаті окиснення бікарбонату двовалентного заліза киснем повітря утворюється гідроксид заліза, який збільшує каламутність води і підвищує забарвленість. Наявність у воді заліза і марганцю сприяє розвитку в трубопроводах залізистих і марганцевих бактерій, продукти життєдіяльності яких забивають водопровідні труби.

Розчинені гази. З розчинених у воді газів найбільш важливими для оцінки її якості є CO₂, O₂, сірководень (H₂S), азот (N₂) і метан (CH₄). Вуглекислота, кисень і сірководень за певних умов надають воді корозійних властивостей стосовно бетону і металів.

Токсичні речовини (від грецького toxicos – отруйний) потрапляють у воду в основному з промисловими стічними водами. До цієї групи можна віднести свинець, цинк, мідь, миш'як, анілін, ціанід та багато інших. Не зважаючи на незначну концентрацію їх у воді (мкг/дм³), вони можуть завдавати значної шкоди здоров'ю людини.

Радіоактивні елементи, які потрапляють у поверхневі й підземні води, можуть мати природне і штучне походження. Основними ізотопами, які зумовлюють природну радіоактивність вод, є уран-239, торій-232 та продукти їхнього розпаду (аргон, радій), а також калій-40. Штучну радіоактивність, зокрема, після аварії на ЧАЕС у 1986 р., зумовлюють такі ізотопи, як стронцій-90 і цезій-137.

5.2. Характеристика якості води за видами використання

Вода використовується для пиття, господарсько-побутових цілей, промислового виробництва, транспорту і сільського господарства. Основним показником, який визначає придатність води для різних цілей, є склад і концентрація в ній домішок. Особливі вимоги висуваються до питної води, оскільки від цього залежить здоров'я людей.

Залежно від цільового призначення води виділяють такі системи водопостачання: 1) господарсько-питні, які забезпечують також харчову промисловість; 2) сільськогосподарські; 3) виробничі чи технічні (для технологічних процесів виробництва: охолодження агрегатів, пари, рідких і газоподібних продуктів у холодильниках і конденсаторах). Вирізняють ще системи протипожежні, поливні (для поливу і миття вулиць), для заводнення нафтових шарів; об'єднані системи, які задовольняють різні потреби.

5.2.1. Питна вода

Головні вимоги до питної води – нешкідливість і безпечність для здоров'я населення, добрі органолептичні властивості і придатність для господарсько-побутових потреб. Смакові якості води визначаються перш за все кількістю і якістю розчинених в ній солей (табл. 5.3).

Таблиця 5.3. Значення концентрації солей, які надають воді присмаку, мг/дм³

Сіль	Слабко відчутний смак	Помітний смак	Неприємний смак
NaCl	165	495	660
MgCl ₂	135	400	535
Na ₂ SO ₄	150	450	–
CaSO ₄	70	140	–
MgSO ₄	250	625	750
FeSO ₄	1,6	4,8	–
NaNO ₃	70	205	346
NaHCO ₃	415	450	–

Норми якості, яким повинна відповідати питна вода, встановлені ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості питної води» та ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Якщо вода не відповідає вимогам, її обробляють і доводять до норм, які встановлено. Основні вимоги до якості питної води передбачають визначення близько 40 показників.

За мікробіологічними показниками питна вода відповідає: загальне мікробне число – не більше 100 КУО/см³ (КУО – колонієутворювальних одиниць); бактерії кишкової палички (КУО/100 см³) – відсутні.

Концентрації хімічних речовин, які зустрічаються в природній воді або додаються при її обробці, у питній водопровідній воді не повинні перевищувати нормативів, наведених у табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Нормативи концентрацій хімічних речовин, які впливають на органолептичні властивості питної води

Назва показника	Норматив
Водневий показник, рН	6,5-8,5
Залізо (Fe), мг/дм ³ , не більше	0,2
Марганець (Mn), мг/дм ³ , не більше	0,05
Твердість загальна, ммоль/дм ³ , не більше	7,0
Мідь (Cu ²⁺), мг/дм ³ , не більше	1,0
Поліфосфати залишкові (PO ³⁻⁴), мг/дм ³ , не більше	3,5
Сульфати (SO ²⁻⁴), мг/дм ³ , не більше	250
Сухий залишок, мг/дм ³ , не більше	1000
Хлориди (Cl), мг/дм ³ , не більше	250
Цинк (Zn), мг/дм ³ , не більше	1,0

Органолептичні властивості питної води з водопроводу мають відповідати стандартним вимогам, наведеним у табл. 5.5.

Таблиця 5.5. Вимоги до органолептичних властивостей питної води

Назва показника	Норматив
Запах за 20 °С і при нагріванні до 60 °С, бали, не більше	2
Смак і присмак за 20 °С, бали, не більше	2
Каламутність за стандартною шкалою, мг/дм ³ , не більше	1,0

Використання джерел водопостачання з більшим показником сухого залишку ніж 1000 мг/дм³ допускається лише за умови відсутності інших джерел з обов'язковим погодженням з органами санітарного нагляду.

Варто мати на увазі, що дуже мала мінералізація (до 100 мг/дм³) також погіршує якість води, а вода без солей взагалі вважається шкідливою, оскільки вона знижує осмотичний тиск у клітині. Ця проблема стосується Крайньої Півночі та регіонів, де використовується вода від танення льодовиків. Тут низька мінералізація води й нестача в ній кальцію є загальною гігієнічною проблемою, що викликає необхідність збагачення води мінеральними солями. У табл. 5.6 наведено порівняльну характеристику стандартів якості питної води в різних країнах за деякими компонентами.

Таблиця 5.6. Порівняльна таблиця стандартів якості питної води різних країн та міжнародних організацій за деякими хімічними компонентами

Речовина	Стандарти питної води					
	ВООЗ*	**ЄС	США	Канада	Китай	Україна
Миш'як, мкг/дм ³	10	10	10	10	50	10
Фтор, мг/дм ³	1,5	1,5	4	-	1	1,5
Кадмій, мкг/дм ³	3	5	5	5	5	1
Хром, мкг/дм ³	50	50	100	50	50	-
Мідь, мг/дм ³	-	1,3	0,2	1	1	1
Залізо, мг/дм ³	-	0,2	-	0,3	-	0,2
Ціанід, мкг/дм ³	-	50	200	-	50	-
Свинець, мкг/дм ³	-	10	15	10	10	10
Нітрати, мг/дм ³	50	50	10(N)***	10 (N)	10 (N)	50
Нітрити, мг/дм ³	3	0,5	1	-	-	0,5
Селен, мкг/дм ³	40	10	50	10	10	-
Ртуть, мкг/дм ³	6	1	2	1	0,05	0,5
Бензол, мкг/дм ³	10	1	5	-	-	-
Бенз(а)пирен, мкг/дм ³	-	0,1	0,2	-	0,003	-
Хлориди, мг/дм ³	-	250	-	-	-	250
Сульфати, мг/дм ³	-	250	-	-	-	250
pH	-	≥6,5- ≤ 9,5	-	-	-	6,5-8,5
Мінералізація, мг/дм ³	-	1000	500	-	-	1000

Примітка. *ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я; **ЄС – Європейський Союз; *** – вміст нітратів за N.

5.2.2. Вода, яка використовується у харчовій промисловості

Вода, яка використовується у харчовій промисловості, в цілому, повинна мати ті самі властивості, що і питна. Але є й специфічні вимоги. Так, у воді для цукрової промисловості мають бути відсутніми гнильні речовини, які розкладаються у дифузорах. Вміст солей повинен бути найменшим, оскільки підвищена концентрація солей утруднює варіння і кристалізацію цукру. Для пивоваріння необхідно, щоб CaSO₄, який заважає бродінню солоду було у воді якнайменше.

Вода для виробництва алкогольних напоїв не повинна містити хлористого кальцію і хлористого магнію, які шкідливо впливають на життєдіяльність дріжджів. Такі самі вимоги висуваються до води у молочній, консервній та інших видах харчової промисловості.

5.2.3. Вода для зрошення

Вода для зрошення має містити незначну кількість мінеральних солей, оскільки в іншому разі виникає небезпека засолення ґрунту в результаті випаровування води та акумуляції солей, які в ній містяться. Водночас допустимі величини мінералізації води можуть змінюватися в широких межах залежно від умов поливу, дренажу, метео-агротехнічних чинників. Вода з мінералізацією до 1 г/дм³ є придатною для зрошення у всіх випадках. За поганих умов дренажу і слабо фільтруючих ґрунтів гранично-допустимий вміст солей не повинен перевищувати 1,5 г/дм³.

5.2.4. Вода у промисловості

Якість води, яка використовується в промисловості, значною мірою визначає ефективність роботи підприємств, собівартість продукції. Широкий розвиток хімічної промисловості вимагає значного вдосконалення і розширення діапазону методів підготовки води, оскільки хімічні виробництва висувають специфічні, іноді дуже суворі, вимоги до якості води. Окремі види промисловості висувають свої специфічні вимоги, пов'язані з технологією.

5.2.4. Вода для сільськогосподарських тварин

Вода для тварин в основному має відповідати вимогам, які висуваються до питної води, хоча до таких показників, як забарвленість, прозорість і запах вимоги можуть бути дещо зниженими. Температура води повинна, за можливості, знаходитись у межах 8-15°C, допустимий ступінь мінералізації води, в цілому, визначається її смаковими якостями.

5.2.5. Вода для охолодження

Вода для охолодження виробленої продукції чи працюючих агрегатів має бути такою, щоб зменшити об'єм відкладів і не викликати корозію холодильного обладнання. Відклади у холодильних апаратах утруднюють теплопередачу, зменшують переріз труб, знижуючи інтенсивність циркуляції води і тим самим перешкоджають охолодженню. Вода для охолодження не повинна містити крупнозернисту неорганічну суміш (пісок), яка здатна осідати в каналах холодильників і конденсаторах. Дрібніші завислі речовини (мул, глина), хоч і не осідають, але захоплюються утвореним накипом, що порушує умови теплообміну.

За використання для прямого охолодження води, в якій багато органічних речовин, за температури стінок близько 30-40°C виникає небезпека появи на конденсаторах парових турбін біологічних наростів, які складаються з бактерій, грибів, водоростей. У разі використана морської води можливі нарости черепашок мідій, мохуватки та інших організмів.

За оборотної системи водопостачання небезпека відкладів значно зростає, оскільки при нагріванні води, розбризкуванні її в градирнях і в басейнах кількість CO₂ зменшується. У результаті цього відбувається зсув вуглекислої рівноваги у бік утворення малорозчинного карбонату кальцію.

Спеціальних норм, які регламентують якість води для охолодження немає, оскільки її придатність залежить від низки чинників: температури води і охолоджуваної поверхні, карбонатної твердості, вмісту CO₂, завислих речовин, заліза, мікроорганізмів системи водопостачання (пряма чи

оборотна). Тому необхідну якість води для охолодження встановлюють у кожному конкретному випадку, виходячи з перелічених умов.

5.2.6. Вода для вироблення пари

Вода для паросилового господарства має бути вільною від домішок, які можуть спричиняти відклади накипу, винос солей з парою і корозію металу. Тому важливою характеристикою є твердість води.

Небезпека утворення накипу полягає в його малій теплопровідності. Це призводить до погіршення теплопередачі, перевитрати палива, підвищення температури (перегріву) металу, що викликає розриви на найбільш теплонапружених кип'ятильних і екранних трубах. Із солей, що утворюють накип, найшкідливішими є ті, розчинність яких з підвищенням температури зменшується, тобто солі з від'ємним термічним коефіцієнтом розчинності (сульфат кальцію, силікати кальцію, магнію і карбонат кальцію). Ці солі легко осаджуються на стінках парових котлів, утворюючи котельний камінь.

5.2.7. Вода для інших технологічних цілей

Вода, яка використовується для інших технологічних цілей, може мати найрізноманітніше призначення. Вирізняють:

1) воду, яку використовують при видобуванні, відмиванні, сортуванні гідротранспортуванні і збагаченні корисних копалин та іншої сировини; в основному тут вимагається лише звільнення води від грубих завислих речовин;

2) воду, яка контактує з продукцією;

3) воду, яка входить до складу продукції.

В останніх двох випадках вимоги до води є специфічними і зумовлені не тільки окремими видами виробництва, але і прийнятою технологічною схемою. У деяких випадках ці вимоги є вищими, ніж ті, що висуваються до питної води.

Так, у воді, яка використовується у фотографії, не допускається наявності заліза, марганцю, кремнієвої кислоти, значних кількостей хлоридів, органічних речовин.

Дуже суворі вимоги висуваються до якості води, яка використовується для відбілювання і фарбування у бавовняній промисловості; для води, що йде на приготування мила, барвників, розчинників.

5.3. Нормування якості питної води

Питна вода – вода, призначена для споживання людиною (водопровідна, фасована, з бюветів, пунктів розливу, шахтних колодязів та каптажів джерел), для використання споживачами для задоволення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб, а також для виробництва продукції, що потребує її використання, склад якої за органолептичними, мікробіологічними, паразитологічними, хімічними, фізичними та радіаційними показниками відповідає гігієнічним вимогам [47].

Питна вода не вважається харчовим продуктом. Якість питної води в Україні нормується двома основними документами: ДСанПіН 2.2.4-171-10 (табл. 5.7, 5.8) [47]; ДСТУ 7525:2014 [49].

Таблиця 5.7. Показники епідемічної безпеки питної води за ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [47]

№	Показник	Одиниця вимірювання	Нормативи для питної води		
			водопровідна, з пунктів розливу та бюветів	з колодязів та каптажів джерел	фасована
1. Мікробіологічні показники					
1	Загальне мікробне число при t = 37 °С – 24 год.	КУО/см ³	<= 100 (<= 50)**	не визначається	<= 20
2	Загальне мікробне число при t = 22 °С – 72 год.	КУО/см ³	не визначається	не визначається	<= 100
3	Загальні коліформи	КУО/100 см ³	відсутність	<= 1	відсутність
4	E.- coli***	КУО/100 см ³	відсутність	відсутність	відсутність
5	Ентерококи***	КУО/100 см ³	відсутність	не визначається	відсутність
6	Синьогнійна паличка (Pseudomonas aeruginosa)	КУО/100 см ³	відсутність	відсутність	відсутність
7	Патогенні бактерії	наявність в 1 дм ³	відсутність	відсутність	відсутність
8	Коліфаги	БУО/дм ³	відсутність	відсутність	відсутність
9	Ентеровіруси, аденовіруси, антигени рота вірусів, реовірусів вірусу гепатиту А та ін.	наявність в 10 дм ³	відсутність	відсутність	відсутність
2. Паразитологічні показники					
10	Патогенні кишкові найпростіші: цисти криптоспоридій, цисти лямбій, дизентерійних аміб, балантидія	клітини, цисти в 50 дм ³	відсутність	відсутність	відсутність
11	Кишкові гельмінти	клітини, яйця, личинки в 50 дм ³	відсутність	відсутність	відсутність

Таблиця 5.8. Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води за ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [47]

№	Показник	Одиниця вимірювання	Нормативи для питної води		
			водопровідної	з колодязів та каптажів джерел	фасованої, з пунктів розливу та бюветів
1	2	3	4	5	6
1. Органолептичні показники					
1	Запах, при t= 20 °С	бали	<= 2	<= 3	<= 0 (2) ⁴
	Запах, при t= 60 °С	бали	<= 2	<= 3	<= 1 (2) ⁴

Продовження табл. 5.8

1	2	3	4	5	6
2	Забарвленість	градуси	≤ 20 (35) ¹	≤ 35	≤ 10 (20) ⁴
3	Каламутність	1 НОК= 0,58 мг/дм ³	$\leq 1,0$ (3,5) ¹ $\leq 2,6$ (3,5) ¹ – для підз. вод	$\leq 3,5$	$\leq 0,5$ (1,0) ⁴
4	Смак та присмак	бали	≤ 2	≤ 3	≤ 0 (2) ⁴
1. Фізико-хімічні показники					
а) неорганічні компоненти					
5	Водневий показник	од. рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5 ($\geq 4,5$) ⁵
6	Діоксид вуглецю	%	не визначається	не визначається	0,2 - 0,3 – для слабо газованої; 0,31 - 0,4 – для середньо газованої; >0,4 – для сильно газованої
7	Залізо загальне	мг/дм ³	$\leq 0,2$ (1,0) ¹	$\leq 1,0$	$\leq 0,2$
8	Загальна твердість	ммоль/ дм ³	$\leq 7,0$ (10,0) ¹	$\leq 10,0$	$\leq 7,0$
9	Загальна лужність	ммоль/ дм ³	не визначається	не визначається	$\leq 6,5$
10	Йод	мкг/дм ³	не визначається	не визначається	≤ 50
11	Кальцій	мг/дм ³	не визначається	не визначається	≤ 130
12	Магній	мг/дм ³	не визначається	не визначається	≤ 80
13	Марганець	мг/дм ³	$\leq 0,05$ (0,5) ¹	$\leq 0,5$	$\leq 0,05$
14	Мідь	мг/дм ³	$\leq 1,0$	не визначається	$\leq 1,0$
15	Поліфосфати (PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	$\leq 3,5$	не визначається	$\leq 0,6$ (3,5) ⁴
16	Сульфати	мг/дм ³	≤ 250 (500) ¹	≤ 500	≤ 250
17	Сухий залишок	мг/дм ³	≤ 1000 (1500) ¹	≤ 1500	≤ 1000
18	Хлор залишковий вільний	мг/дм ³	$\leq 0,5$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
19	Хлориди	мг/дм ³	≤ 250 (350) ¹	≤ 350	≤ 250
20	Цинк	мг/дм ³	$\leq 1,0$	не визначається	$\leq 1,0$
б) органічні компоненти					
21	Хлор залишковий зв'язаний	мг/дм ³	$\leq 1,2$	$\leq 1,2$	$\leq 0,05$
3. Санітарно-токсикологічні показники					
б) неорганічні компоненти					
22	Алюміній	мг/дм ³	$\leq 0,20$ (0,50) ²	не визначається	$\leq 0,1$
23	Амоній	мг/дм ³	$\leq 0,5$ (2,6) ¹	$\leq 2,6$	$\leq 0,1$ (1,2) ^{1, 4}
24	Діоксид хлору	мг/дм ³	$\geq 0,1$	не визначається	не визначається
25	Кадмій	мг/дм ³	$\leq 0,001$	не визначається	$\leq 0,001$
26	Кремній	мг/дм ³	≤ 10	не визначається	≤ 10

Закінчення табл. 5.8

1	2	3	4	5	6
27	Миш'як	мг/дм ³	<= 0,01	не визначається	<= 0,01
28	Молібден	мг/дм ³	<= 0,07	не визначається	<= 0,07
29	Натрій	мг/дм ³	<= 200	<= 1,0	<= 200
30	Нітрати (за NO ₃)	мг/дм ³	<= 50	не визначається	<= 50 ⁴
31	Нітрити	мг/дм ³	<= 0,5 (0,1) ³	<= 3,3	<= 0,5 (0,1) ⁷
32	Озон залишковий	мг/дм ³	0,1-0,3	не визначається	не визначається
33	Ртуть	мг/дм ³	<= 0,0005	<= 0,05	<= 0,0005
34	Свинець	мг/дм ³	<= 0,010	не визначається	<= 0,010
35	Срібло	мг/дм ³	не визначається	не визначається	<= 0,025
36	Фториди	мг/дм ³	клімат. зони: IY - <= 0,7; III - <= 1,2; II - <= 1,5	<= 1,5	<= 1,5; ⁶ клімат. зони: IY - <= 0,7; III - <= 1,2; II - <= 1,5
37	Хлорити	мг/дм ³	<= 0,02	не визначається	не визначається
б) органічні компоненти					
38	Поліакриламід залишковий	мг/дм ³	<= 2,0	не визначається	< 0,2
39	Формальдегід	мг/дм ³	<= 0,05	не визначається	<= 0,05
40	Хлороформ	мг/дм ³	–	не визначається	<= 6
в) інтегральний показник					
41	Перманганатна окиснюваність	мг/дм ³	–	не визначається	<= 2,0 (5,0) ⁴

Примітки. ¹ – Норматив, зазначений у дужках, мало право використовувати підприємство питного водопостачання до 1 січня 2022 року в окремих випадках, пов'язаних з особливими природними умовами та технологією підготовки питної води, що не дозволяє довести якість питної води до жорсткішого нормативу, про що повинно бути зазначено у технологічному регламенті.

У Державних санітарних правилах і нормах (ДСанПіН 2.2.4-171-10) «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (2010 р.) наведено нормативи для трьох видів питної води: 1) водопровідної; 2) з колодязів та каптажів джерел; 3) фасованої, з пунктів розливу та бюветів. Нормативи встановлено для наступних груп показників безпечності та якості питної води: а) епідемічної безпеки – 11 показників; б) санітарно-хімічні – 66 показників; в) радіаційні – 8 показників.

У ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» наведено нормативи для двох видів питної води: 1) вода систем централізованого питного водопостачання; 2) вода нецентралізованого питного водопостачання (нефасована, фасована). Нормативи встановлено для наступних груп показників безпечності та якості питної води: а) мікробіологічні, вірусологічні, паразитологічні та мікологічні – 12 показників; б) рівня токсичності – 4; в) радіаційної безпеки – 2; г) органолептичні – 4; д) хімічні показники, що впливають на органолептичні

властивості – 17; е) токсикологічні показники нешкідливості хімічного складу – 50 показників.

5.4. Виробничий контроль безпечності та якості питної води

Підприємства питного водопостачання повинні здійснювати систематичний виробничий контроль за безпечністю та якістю води від місця водозабору до місця її споживання: водне джерело → питна вода після підготовки перед надходженням у водопровідну мережу → вода в розподільній системі.

Виробничий контроль безпечності та якості питної води здійснюється підприємствами питного водопостачання відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 [47]. Виробничий контроль проводиться згідно з робочою програмою, що є складовою технологічного регламенту виробництва питної води, в якій повинно бути відображено: перелік показників, що потребують контролю, та порядок його здійснення, місця та календарні графіки відбору проб води для лабораторних досліджень. У програмі може бути передбачено: а) повний; б) скорочений; в) скорочений періодичний контроль (табл. 5.9).

Повний контроль безпечності та якості питної води обов'язково проводиться під час введення в експлуатацію новозбудованих водопроводів, технологічних ліній, після їх реконструкції, капітального ремонту і переобладнання та у разі зміни технології водопідготовки тощо.

Таблиця 5.9. Періодичність здійснення скороченого, скороченого періодичного та повного виробничого контролю безпечності та якості питної води перед її надходженням у розподільну мережу для водопроводів з підземних джерел водопостачання (централізоване питне водопостачання) за ДСанПіН 2.2.4-171-10

Види контролю	Групи показників	Кількість осіб, що забезпечуються питною водою			
		до 500	500-20 тис.	20 тис.-50 тис.	понад 50 тис.
		Кількість проб питної води, досліджених протягом одного року, не менше ніж			
Скорочений	Мікробіологічні	12 (одна на місяць)	52 (одна на тиждень)	156 (три на тиждень)	365 (одна на добу)
	Органолептичні	12 (одна на місяць)	52 (одна на тиждень)	156 (три на тиждень)	365 (одна на добу)
Скорочений періодичний	Згідно з табл. 3 додатка 8 ДСанПіН	4 (одна на сезон)	4 + 2 на кожні 10 тис. населення (4 - 8)	8 + 2 на кожні 10 тис. населення (8 - 14)	14 + 2 на кожні 10 тис. населення (понад 14)
Повний	Мікробіологічні, органолептичні, фізико-хімічні та санітарнотоксикологічні	1	1	2	2

Контроль у місцях водозабору проводять за програмою повного виробничого контролю.

На водопроводах з підземними джерелами питного водопостачання протягом першого року експлуатації аналіз води проводять 4 рази на рік (за сезонами), а надалі – один раз на рік у найбільш несприятливий період року за результатами спостережень попередніх років.

На водопроводах з поверхневими джерелами питного водопостачання аналіз води проводять один раз на місяць.

Повний, скорочений періодичний та скорочений виробничий контролю безпечності та якості питної води здійснюються перед її надходженням у водопровідну мережу відповідно до вимог, наведених у табл. 5.9 (з підземних джерел питного водопостачання) та табл. 5.10 – з поверхневих. Кількість проб повинна бути рівномірно розподілена у часі.

Таблиця 5.10. Періодичність здійснення скороченого, скороченого періодичного та повного виробничого контролю безпечності та якості питної води перед її надходженням у розподільну мережу для водопроводів з поверхневих джерел питного водопостачання (централізоване питне водопостачання) за ДСанПіН 2.2.4-171-10 [47]

Види контролю	Групи показників	Кількість осіб, що забезпечуються питною водою		
		до 20 тис.	20 тис.-100 тис.	понад 100 тис.
		Кількість проб питної води, досліджених протягом одного року, не менше ніж		
Скорочений	Мікробіологічні	52 (одна на тиждень)	365 (одна на добу)	365 (одна на добу)
	Паразитологічні	4 (одна на сезон)	4 (одна на сезон)	4 (одна на сезон)
	Органолептичні	52** (одна на тиждень)	365 (одна на добу)	365 (одна на добу)
Скорочений періодичний	Згідно з табл. 3 додатка 8 ДСанПіН	12 (одна на місяць)	12 + 3 на кожні 10 тис. населення (12 - 36)	36 + 3 на кожні 10 тис. населення (понад 36)
Повний	Мікробіологічні, органолептичні, фізико-хімічні та санітарнотоксикологічні	4 (одна на сезон)	4 (одна на сезон)	12 (одна на місяць)

Виробничий контроль безпечності та якості питної води у розподільній мережі проводять за мікробіологічними та органолептичними показниками з періодичністю, наведеною у табл. 5.11. У разі проведення дохлорування питної води на спорудах водопровідних мереж у питній воді розподільної мережі також необхідно визначати вміст хлороформу та залишкового активного хлору після кожного дохлорування.

Таблиця 5.11. Періодичність здійснення виробничого контролю безпечності та якості питної води у розподільній мережі за ДСанПіН 2.2.4-171-10 [47]

Кількість осіб, що забезпечуються питною водою	Кількість проб питної води, досліджених протягом одного місяця
до 500	1
500 - 5000	5
5 тис. – 50 тис.	10
50 тис. – 500 тис.	20
500 тис. – 1 млн	50
понад 1 млн	100

Відбір проб води у розподільній мережі здійснюють з вуличних водорозбірних пристроїв на найбільш підвищених та тупикових її ділянках, а також з кранів внутрішніх водопровідних мереж будинків, що мають підкачку та місцеві водонапірні баки.

Контрольні питання до розд. 5

- 1) Дати визначення поняття «якість води».
- 2) Назвати фізичні показники якості води.
- 3) Від чого залежить прозорість, каламутність та забарвленість води?
- 4) Назвати види запахів води.
- 5) Назвати хімічні показники якості води.
- 6) Для яких вод притаманна найменша окиснюваність?
- 7) Підвищений вміст якої сполуки азоту вказує на давність забруднення?
- 8) Що характеризує величина сухого залишку?
- 9) Чим може бути зумовлена велика кількість хлоридів у воді?
- 10) Які недоліки використання твердої води для господарсько-побутових потреб та технологічних процесів?
- 11) Назвати основні ізотопи, що зумовлюють природну радіоактивність вод.
- 12) Які системи водопостачання виділяють залежно від цільового призначення води?
- 13) Назвати головні вимоги до питної води.
- 14) Назвати, яким вимогам повинна відповідати вода для використання у сільському господарстві, у промисловості, у паросиловому господарстві.
- 15) Якими основними документами нормується якість питної води?

6. БАКТЕРІАЛЬНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ВОД

6.1. Загальна характеристика деяких мікроорганізмів

Оскільки у цьому розділі розглядаються питання, що стосуються мікробіології води, треба коротко охарактеризувати основні терміни які використовуються.

Мікроорганізми, або *мікроби* – мікроскопічні організми, занадто маленькі, щоб їх можна було побачити неозброєним оком. Мікроорганізми можуть бути бактеріями, археями, грибами або деякими іншими (ніж грибами) еукаріотами, але не вірусами чи пріонами, бо останніх загалом класифікують як неживих, хоча мікробіологія вивчає і ці об'єкти. Мікроорганізми часто описують як одноклітинні організми; проте, деякі одноклітинні бактерії або протисти видимі неозброєним оком, а деякі багатоклітинні види є мікроскопічними. Вивченням мікроорганізмів займається мікробіологія.

Мікробіологія – галузь біології, що вивчає одноклітинні, багатоклітинні та неклітинні мікроорганізми. Мікробіологія охоплює численні піддисципліни, включаючи вірусологію, бактеріологію, протистологію, мікологію, імунологію та паразитологію.

Бактерії (від дав.-грецьк. βακτήριον – паличка) – це велика група мікроскопічних, переважно одноклітинних організмів, які містять багато дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК) у ядрах клітин і значно менше рибонуклеїнової кислоти (РНК) у цитоплазмі. Бактерії мають примітивне ядро, розмножуються, як правило, поперечним діленням. Хоча переважна більшість бактерій має паличкоподібну форму, є також мікроорганізми кулеподібні чи звивистої форми. Бактерії є різноманітними за своєю фізіологією, біохімічно дуже активні, тому розповсюджені у воді, донних відкладах, ґрунті. Значну роль відіграють бактерії у кругообігу речовин у природі.

6.1.1. Морфологія, фізіологія, поширеність бактерій

За розмірами бактерії дуже малі. Довжина паличкоподібних форм становить 2-5 мкм, ширина 0,4-0,8 мкм, діаметр кулеподібних форм – 1-2 мкм. Але бувають бактерії значних розмірів. Так, сіркобактерія *Thiophysa macrophysa* має діаметр 20 мкм, а нитки інших сіркобактерій (*Beggiatoa*) видно неозброєним оком.

Більшість бактерій мають або сферичну форму – так звані *коки* (від грецького слова kokkos – зерно або ягода), або паличкоподібну – так звані *бацили* (від латинського слова bacillus – паличка) – рис. 6.1.

Якщо коки розташовані попарно, їх називають *диплококами*. Якщо коки розмножуються поперечним діленням і після цього залишаються з'єднаними, утворюючи ланцюги, то їх називають *стрептококами*. Під час ділення коків у різних площинах виникають скупчення клітин у вигляді грон, що є характерним для *стафілококів*. Бактерії, які утворюють довгі нитки (ниткові бактерії), мешкають переважно у воді. Бактерії, які мають форму коми, називають *вібріонами*. Бактерії звивистої форми з грубими спіральними завитками

називаються *спірилами*, з кількома рівномірними тонкими завитками – *спірохетами*.

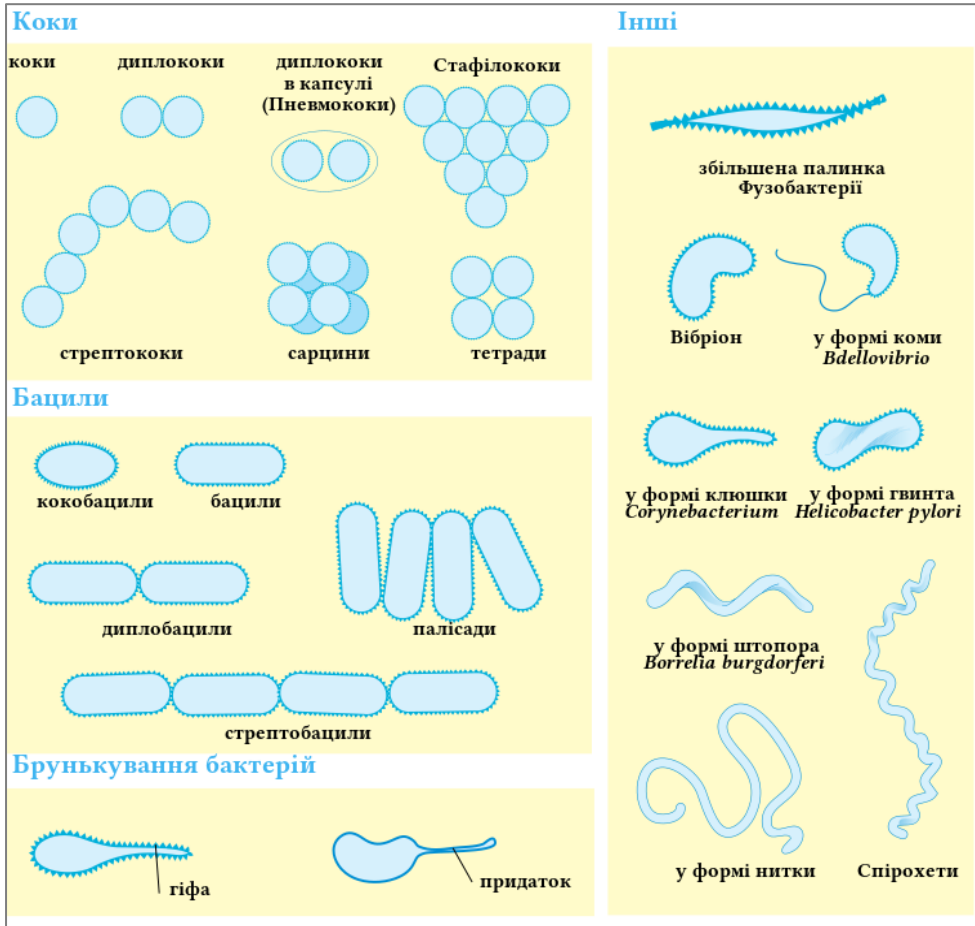


Рис. 6.1. Типові форми бактеріальних клітин (збільшене схематичне зображення)

Фізіологія. До складу клітин бактерій входять ті самі біогенні елементи і мікроелементи, що і до складу клітин вищих рослин і тварин. Це – С, N, O, H, S, P, K, Mg, Ca, Cl, Fe та ін. Окрім білків, вуглеводів і жирів, бактерії містять також РНК і велику кількість ДНК. Усі ці речовини можуть бути синтезовані лише з речовин, які містяться у навколишньому середовищі. Як правило, через напівпроникну цитоплазматичну мембрану всередину бактерій проходять лише розчинні речовини. Під дією гідролітичних ферментів, які надходять з бактеріальних клітин назовні, відбувається розкладання більш складних речовин (наприклад, крохмалю, целюлози) з утворенням розчинних продуктів, що потім засвоюються бактеріями.

Джерелом азоту для бактерій є білки, амінокислоти, амонійні солі та нітрати. Існує багато видів бактерій, які можуть фіксувати азот з атмосфери (азотобактер, мікробактерії, бульбочкові бактерії).

Солі P, S, Cl, K, Na, Ca, а також Mo, Mn, Cu, B, V та інші становлять важливу частку мінерального живлення бактерій. Для їхнього розмноження необхідними є також такі чинники росту, як вітамін B, біотин та ін. Вуглець засвоюється бактеріями з вуглеводів, спиртів, органічних кислот, жирів та ін.

Бактерії, які здатні розвиватися лише в присутності кисню, називаються *аеробними*, без нього – *анаеробними*. При аеробному диханні відбувається окиснення органічних сполук з виділенням вуглекислого газу. Якщо ж окиснення йде до кінця, то в середовищі накопичуються проміжні продукти. Такі процеси називаються *окиснювальним бродінням* (наприклад, оцтовокисле бродіння). Розкладання органічних речовин за анаеробних умов з вивільненням енергії називається *бродинням*. При зброджуванні вуглеводів можуть утворюватися молочна чи масляна кислота, етиловий чи бутиловий спирт та інші речовини.

Поширеність бактерій. Бактерії належать до космополітів. Одні і ті самі види можна зустріти на всіх материках на суходолі та у воді. В 1 г ґрунту містяться сотні тисяч чи мільйони бактерій, в 1 г води – десятки чи сотні і тисячі клітин. Вважається, що сучасній мікробіології відомо не більше десятої частини бактерій, які існують у природі.

У процесі своєї еволюції бактерії пристосувалися до різноманітних умов життя. Існують *термофільні бактерії*, які мешкають, наприклад, у воді гарячих джерел. *Психрофільні форми* живуть за низької температури у воді полярних морів, *галофільні* – здатні розмножуватися у середовищі з 20% розчином кухонної солі, *ацидофільні і алкалофільні* – існують в сильно кислому чи сильно лужному середовищі тощо.

Між різними видами бактерій, з одного боку, та іншими мікроорганізмами, рослинами чи тваринами – з іншого, можуть існувати як антагоністичні, так і симбіотичні відносини.

Антибіоз. Пригнічення одних видів мікроорганізмів іншими називають *антибіозом* (антагонізмом). Вперше це явище було виявлено Л. Пастером (1877 р.). В одних випадках під впливом антагоністів мікроби перестають розвиватися і розмножуватися, в інших пригнічуються, перестають розвиватися і розмножуватися, в інших пригнічуються біохімічні процеси. Частіше за все мікроби-антагоністи діють на конкурентів продуктами обміну речовин, у тому числі антибіотиками, або ж витісняють їх внаслідок більш інтенсивного розмноження. Мікроби-антагоністи широко використовуються у виробництві антибіотиків – препаратів, що широко використовуються в медицині.

Думка про використання явищ антагонізму мікробів для знешкодження хвороботворних бактерій належить І.І. Мечникову, який наприкінці 19 ст. запропонував застосувати молочнокислі бактерії з кислого молока для пригнічення шкідливих гнильних бактерій, що знаходяться в шлунку людини. У 1928 р. А. Флемінг виявив антибактеріальну дію плісняви *Penicillium notatum*, а в 1940 р. Г. Флорі добув стійкий препарат пеніциліну.

Симбіоз. За симбіотичного існування, яке ґрунтується на взаємній користі, один вид бактерій може споживати продукти життєдіяльності іншого виду, накопичення яких пригнічує розвиток останнього. У свою чергу симбіонт може виділяти у середовище речовини, які є додатковими чинниками розвитку іншого виду бактерій. Прикладом такого симбіотичного існування можуть бути

мікроорганізми кишкової флори людини і тварин. Мікроби заселяють кишківник господаря з перших годин життя, потрапляючи туди головним чином з їжею. З розвитком організму (від немовляти до дорослого) кишкова флора змінюється, поки не набуває певної стабільності. Так звана нормальна кишкова флора складається з двох груп мікроорганізмів: 1) коменсальних форм і сапрофітів (гнильних бактерій); 2) умовно, чи потенційно, хвороботворних.

У верхньому відділенні кишок мікробів порівняно мало, оскільки більшість з них гине під дією соляної кислоти шлункового соку. Тут переважають аеробні стрептококи, лактобацили і дріжджі. У нижніх відділах кишківника мешкають бактерії головним чином з групи кишкової палички і спороносних бацил. У 1 г екскрементів людини міститься $3\text{-}5 \cdot 10^{11}$ мікробів, а у всьому кишківнику – близько 10^{15} мікроорганізмів. Бактерії, які мешкають у кишківнику, утворюють ферменти, необхідні для травлення, а також низку речовин, надзвичайно важливих для життєдіяльності людини (незамінні амінокислоти, різні вітаміни тощо).

Роль бактерій у кругообігу речовини в природі. Мінералізуючі рослинні та тваринні рештки, мікроорганізми беруть участь у кругообігу всіх хімічних елементів, що входять до складу живих клітин. Так, джерелом вуглецю для вищих рослин і хемоавтотрофних бактерій є вуглекислота атмосфери (CO_2), яка фіксується в процесі фото- чи хемосинтезу. Біомаса рослин і тварин розкладається мікроорганізмами, які здатні утворювати целюлозу, пентозу, крохмаль, лігнін, пектинові речовини, вресіті-ресіт, до вуглекислоти та води.

Значну роль відіграють мікроорганізми у кругообігу азоту. Тварини, споживаючи рослини, синтезують білок та інші азотовмісні продукти за рахунок білка рослин. Під час мінералізації тваринного і рослинного білка гнильні бактерії утворюють аміак, який окиснюється нітрифікуючими бактеріями до нітритів, а потім нітратів. Як амонійні солі, так і нітрати служать джерелом азотистого живлення для вищих рослин, які синтезують при цьому білки свого тіла.

Мінералізуюча здатність бактерій забезпечує кругообіг й інших біогенних елементів. Руйнуючи органічні сполуки фосфору (нуклеїнові кислоти та ін.), вони збагачують мінеральними сполуками фосфору водойми і ґрунт. Під впливом бактерій відбувається мінералізація й органічних сполук сірки. Сірчані бактерії можуть окиснювати сірководень, сірку чи деякі їх сполуки до сірчаної кислоти; інші здатні відновлювати сульфати з утворенням сірководню. Бактерії беруть участь у окисненні заліза і марганцю, відкладанні солей кальцію, окисненні метану і водню, руйнуванні гірських порід продуктами своєї життєдіяльності та ін. Уся ця діяльність дозволяє вважати бактерії важливим екологічним чинником.

6.1.2. Небезпечність бактерій

З багатьма видами бактерій доводиться вести серйозну боротьбу, попереджаючи їх шкідливий вплив на продукти харчування, різні матеріали і виробы. Багато захворювань людини викликаються *патогенними* (хвороботворними) бактеріями. До таких захворювань належать різні епідемічні захворювання (холера, черевний тиф, паратифи, чума, дифтерія,

бруцельоз), а також туберкульоз, зараження крові – сепсис та ін. У тварин бактерії викликають теж низку захворювань.

Від фітопатогенних мікроорганізмів зазнають шкоди рослини. Боротьба з хвороботворними бактеріями ґрунтується на застосуванні антисептичних і асептичних заходів, на використанні спеціальних бактерицидних речовин.

Також бактерицидні властивості мають вина. Так, додавання 1/3 столового вина до води, яка вживається, призводить до загибелі більшості бактерій, зокрема, тифозних і холерних вібріонів, кишкових паличок. Чистий етиловий спирт (C_2H_5OH) застосовують головним чином як зовнішній антисептичний засіб, а також у настоях і екстрактах для внутрішнього вживання, як бактерицидний засіб.

6.1.3. Віруси

Віруси (від латин. слова *virus* – отрута) – це субмікроскопічні внутріклітинні паразити, які розмножуються лише в живих клітинах і є збудниками інфекційних захворювань. Віруси є набагато дрібнішими, ніж усі відомі бактерії, їх розміри становлять від 20-30 нм до 300-400 нм. Вивчають їх в основному за допомогою електронних мікроскопів.

Віруси пристосовані до перенесення несприятливих умов за межами організму і не проявляють на цій стадії ніяких ознак життя. Потрапивши в організм, у чутливі до них клітини, віруси переходять у стадію розвитку і розмноження. Стійкість вірусів до зовнішнього впливу є різною. Деякі з них переносять температуру до $+90^{\circ}C$, а також існують за низьких температур ($-70^{\circ}C$). Поширюються, як безпосередньо вражаючи чутливий людський організм, так і переносяться за допомогою інших організмів.

Вірусні захворювання вражають людину, тварин, птахів, рибу, комах, рослин, найпростіших і навіть бактерії. До вірусних захворювань людини належать: натуральна і вітряна віспа, кір, грип, поліомієліт, гепатит вірусний, ендемічні енцефаліти (кліщовий, комариний) та ін. Лікування проходить важко і триває довго. Антибіотики на вірус не діють, їх застосування доцільне лише для попередження бактеріальних ускладнень.

Бактеріофагами (фагами) називають бактеріальні віруси, які викликають руйнування бактерій. Зустрічаються вони у кишківнику людини і тварин, у рослинах, ґрунті, водоймах, стічних водах. Деякі фаги застосовувалися для лікування низки бактеріальних захворювань людини і тварин. Але антибіотики виявилися більш ефективними.

6.2. Санітарно-показові організми води та контроль за їх вмістом

Відповідну якість питної води в бактеріологічному відношенні може бути підтверджено лише аналітичним шляхом. У той самий час перелік інфекцій, які передаються через воду, є настільки широким, що для дослідження однієї тільки проби води доводиться працювати великому колективу бактеріологів. Причому результат може бути отримано лише через значний проміжок часу. У зв'язку з цим виникла необхідність в *основному санітарно-показовому мікроорганізмі води*. Такий мікроорганізм, з одного боку, має бути постійним мешканцем кишківника людини, а з іншого – за тривалістю збереження у

водному середовищі дещо перевищувати строки перебування в ньому відповідних патогенних бактерій. Було запропоновано декілька санітарно-показових організмів води; найбільш оптимальним було прийнято кишкову паличку.

6.2.1. Кишкова паличка – основний санітарно-показовий організм

Кишкова паличка (Escherichia coli) є постійним мешканцем кишківника людини (товстих кишок) – рис. 6.2. Усі свійські тварини теж містять в своїх виділеннях кишкову паличку. Також містять кишкову паличку і ті представники фауни, які живуть поблизу людського помешкання – голуби, ворони, миші, щурі. У кишковому тракті диких тварин, які не мають контакту з людиною (наприклад, куріпки, зайці, білі полярні вовки, білі ведмеді, моржі), кишкова паличка зустрічається надзвичайно рідко.

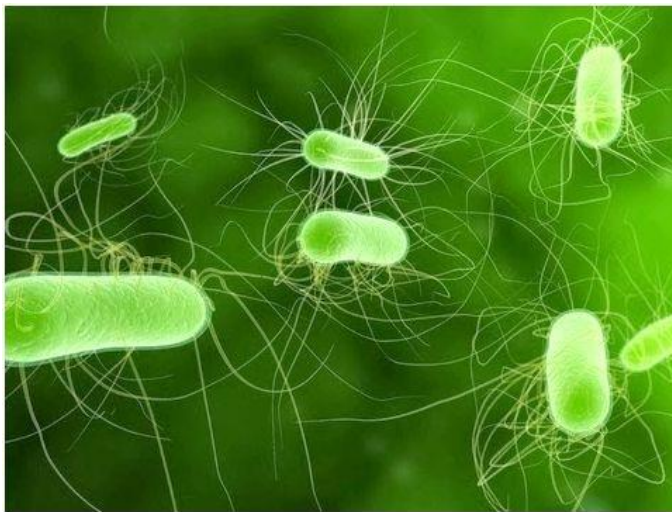


Рис. 6.2. Кишкова паличка (*Escherichia coli*) – зображення збільшене в 20 тис. разів

Таким чином, забруднення природних водойм бактеріями кишкової групи знаходиться в тісному зв'язку з надходженням в них фекалій людини, домашніх тварин, господарсько-побутових стічних вод, а відповідно і з наявністю патогенних бактерій. Кількісними показниками фекального забруднення води є колі-індекс та колі-титр.

Колі-індекс – кількість особин кишкової палички, що виявляється в 1 дм³ (1 л) води.

Колі-титр – це найменший об'єм води, який припадає на одну кишкову паличку; величина ця виражається у см³ (мл), причому розмірність не пишеться.

Залежність між ними: колі-індекс = 1000 / колі-титр. Дослідження показали, що вода очищена до колі-титру 333 (чи колі-індексу 3), є нешкідливою і не викликає ніяких епідемічних захворювань. Це дозволило прийняти цю концентрацію кишкових паличок як стандартну величину для питної води.

Лабораторно-виробничий контроль якості води за мікробіологічними показниками (колі-титр, колі-індекс) перед надходженням її у мережу на водопроводах з підземним джерелом водопостачання згідно із ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» повинен виконуватися таким чином. *За відсутності регламенту знезараження води:* не менше одного разу на місяць за чисельності населення, яке користується водою, до 20 тис. осіб; не менше двох разів на місяць – до 50 тис. осіб. *При необхідності знезараження води:* один раз на тиждень, якщо чисельність населення становить до 20 тис. осіб; три рази на тиждень – до 50 тис. осіб; щоденно – понад 50 тис. осіб.

На водопроводах з поверхневим джерелом водопостачання мікробіологічний аналіз повинен виконуватися не рідше одного разу на тиждень і щоденно у весняно-осінній період за чисельності населення до 10 тис. осіб; не рідше одного разу на добу – понад 10 тис. осіб.

6.2.2. Додаткові санітарно-показові організми води

Крім основного показника – кишкової шлички, в санітарії є ще додаткові організми. Потреба в цьому зумовлена тим, що нерідко необхідно виявити санітарну ситуацію навколо даного джерела, дати прогнози поліпшення чи погіршення якості води в ньому.

У цьому випадку використовуються *додаткові санітарно-показові організми*. До них відносяться: протей, термофільні мікроби, бактеріофаги, гідробіологічні одноклітинні та багатоклітинні організми. Для практики водопостачання та каналізації всі ці організми становлять інтерес не тільки як санітарні індикатори – вони сприяють за певних умов поліпшенню чи погіршенню якості води.

Протей (*proteus vulgaris*) – типовий мікроб гниття, який розвивається при розкладанні білків та вуглеводів. Цей мікроорганізм є індикатором забруднення води органічними речовинами, що легко загнивають, і може стати у нагоді санітарному працівнику при ідентифікації такого роду забруднення. Так, дослідження показали, що в чистих озерах, а також у плавальних басейнах (де кишкову паличку виявлено) протей повністю відсутній; у слабо забруднених водоймах його виявлено в концентрації до 1 особини в 1 см³; у середньо забруднених водоймах – від 1 до 10 особин в 1 см³; у сильно забруднених водоймах – від кількох сотень до кількох тисяч. У водах, які містять величезну кількість легко органічних речовин, як наприклад, стічні води м'ясокомбінатів, концентрація протeya досягає кількох мільйонів в 1 см³. Цікаво зазначити, що спостерігається певний паралелізм між концентраціями протeya в забруднених водах та гідрохімічними показниками, які свідчать про забруднення води органічними речовинами, що легко розкладаються: дефіцит кисню, окиснюваність.

Термофільні мікроорганізми. Термофільні, чи теплолюбні мікроорганізми є дуже цікавою групою, оскільки мають властивість існувати за підвищених температур (до 80°C). Було встановлено, що всі цілинні ґрунти не містили термофільних мікробів. Але ґрунти, у які вносяться перегній та компост, багаті на термофіли. Звідси випливає, що джерелом їх надходження є екскременти травоядних тварин. Надійшовши з перегноем у ґрунт, термофільні мікроби не розмножуються, але зберігаються тривалий час. Коли

ж вони потрапляють у термічну масу, то починається їх інтенсивне розмноження. Ця властивість широко використовується в санітарній техніці при анаеробному розкладанні твердої фази стічних вод.

Бактеріофаги. У процесі одужання людей після інфекційних захворювань в їх виділеннях можуть з'являтися бактеріофаги, які руйнують патогенні мікроби, що викликають захворювання. Із стічними водами бактеріофаги потрапляють у водойми і, коли там є патогенні мікроби, бактеріофаги живляться ними і розмножуються. Таким чином, зростання титру бактеріофагів у природних водах може свідчити про надходження до них патогенних бактерій.

Гідробіологічні організми (гідробіонти). Організми, які населяють водне середовище, називаються *гідробіонтами*. Їх якісний та кількісний склад залежить від ступеня забрудненості водойми органічними речовинами. У свою чергу вони самі впливають на якість води.

Біотоп – місце перебування певної групи організмів у воді.

Біоценоз – сукупність організмів, які населяють певний біотоп.

Взаємовідносини між біоценозом і біотопом так, як і всередині самого біоценозу, є дуже складними. Організми, які входять до його складу, зв'язані між собою не тільки здатністю жити у даних фізико-хімічних умовах, але й наявністю відповідної біологічної обстановки: можливістю знайти відповідне живлення, укриття від ворогів тощо.

Водні біоценози поділяються на класи:

I) *бентос* – це мешканці дна водойми чи водотоку, а також прикріплені до підводних предметів організми;

II) *планктон* – мешканці товщі води – від дна водойми до його поверхні;

III) *нейстон* – організми, які мешкають у поверхневій плівці води;

IV) *пагон* – до цієї групи належить 150 видів різних гідробіонтів (найпростіші, коловертки, черви, молюски, ракоподібні), які зимові місяці проводять у льоду, знаходячись в стані анабіозу, а весною оживають і продовжують характерний для них планктонний чи бентосний спосіб життя.

Нижче коротко розглянуто ті з груп гідробіонтів, які суттєво впливають на склад води і мають певне санітарно-показове значення (гідрофлора, гідрофауна, бактерії). До гідрофлори належать водорості (*мікрофіти*) та вища водяна рослинність (*макрофіти*).

Водорості – це організми, до складу яких входить хлорофіл; на світлі вони здійснюють процес фотосинтезу. Наприклад, зелені водорості (*Chlorophyceae*), діатомові (*Diatome*).

Зелені водорості мають яскраво-зелене забарвлення, у водоймах розвиваються на початку літа.

Діатомові водорості містять, крім хлорофілу, ще бурий пігмент – діатоміт; розчинний у воді. У водоймах вони розвиваються ранньою весною і пізно восени у холодній воді.

Раніше виділяли синьозелені водорості, зараз ця назва застаріла. Вірно – ціанобактерії. Ціанобактерії (лат. *Cyanobacteria*) – тип бактерій, що отримують необхідну енергію через фотосинтез (рис. 6.3). Ціанобактерії, крім хлорофілу, містять ще і синій пігмент – фікоціан. Фікоціан є розчинним у воді, тому після загибелі клітини він переходить у воду і забарвлює її в зелений

колір, інколи з відтінком червонуватого, а також інших кольорів. Розвиваються у другій половині літа.

З позиції фізіології ціанобактерії є єдиним на землі організмом, який споживає три розчинені у воді гази: азот (включаючи аміак), вуглекислоту та кисень; у процесі фотосинтезу вони виділяють кисень ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}(\text{H}_2\text{O}) + \text{O}_2$). Споживання аміаку є дуже важливим у санітарному відношенні, оскільки у водоймах нерідко в результаті анаеробних процесів у воду виділяється чимало аміаку.

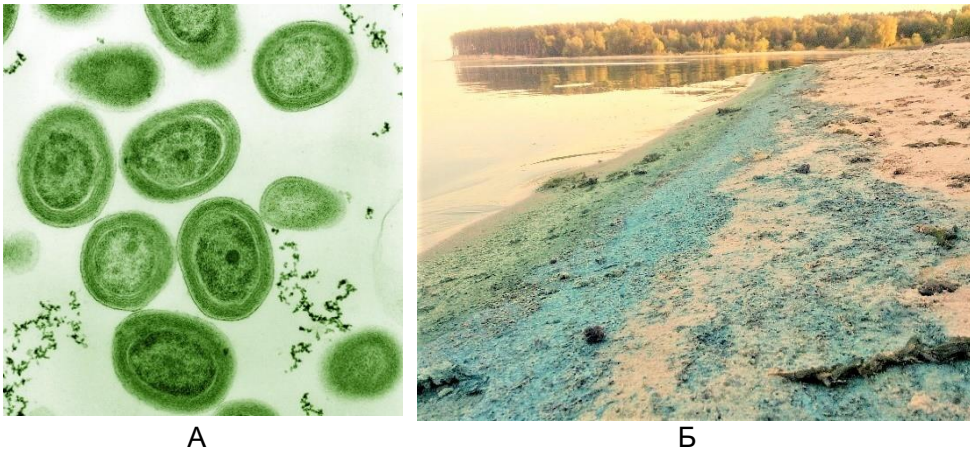


Рис. 6.3. Ціанобактерії під мікроскопом (А); ціанобактерії, що висушили на березі Київського водосховища на Дніпрі (Б)

Ціанобактерії вирізняються своєю властивістю виділяти в навколишнє середовище токсичні речовини. Так, відзначено багато випадків отруєння худоби при споживанні води з водойм, де спостерігалось масове цвітіння ціанобактерій; відомі випадки сильних заморів риби і масового отруєння водоплавної птиці. Серед людей смертельних випадків не спостерігалось, але описано випадки захворювання кишківника, коли до міського водопроводу надходила вода з водосховища, де спостерігався масовий розвиток ціанобактерій. Ціанобактерії вирізняються ще й тим, що синтезують і виділяють сполуки, токсичні для інших гідробіонтів, наприклад, для деяких видів риб і зелених водоростей.

Вища водяна рослинність у природних водах представлена великою кількістю видів. На відміну від вищих наземних рослин, усі підводні рослини не мають отворів, через які здійснюється процес дихання. Дихання в них відбувається через оболонку листя, через яку проникають гази (рис. 6.4).

Гідрофауна водойм представлена найрізноманітнішими організмами – від примітивних корененіжок, які не мають оболонки, до високоорганізованих хребетних – риб. Основну роль в процесах очищення води відіграють організми, які відносяться до зоопланктону та зообентосу. Процеси живлення у воді відрізняються від атмосферних тим, що основним джерелом синтезу органічної речовини є одноклітинні рослинні організми – водорості.

Гідрофауна поділяється на дві великі групи: *одноклітинні (Protozoa) і багатоклітинні (Metazoa) організми.*

Санітарно-показове значення гідробіонтів. Біологічне значення речовин, які виділяють у воду водорості, ще повністю не встановлено. Безумовно, що воно пов'язано з процесами фотосинтезу, нормального обміну речовин, але очевидним є і те, що водорості в процесі еволюції виробили властивість виділяти в навколишнє водне середовище сполуки, які мають значні бактерицидні властивості.

Продуктування речовин антибіотичного характеру виявлено у всіх водоростей.



Рис. 6.4. Дихання вищих водяних рослин відбувається через оболонку листя

Оскільки між водою як середовищем проживання і гідробіонтами, що його населяють, існує певна залежність, то виникла думка про зіставлення певних видів водоростей та найпростіших із складу води.

Уперше таке зіставлення було зроблено А. Мецом. Але далі розвинули ці роботи Р. Кольквітц і М. Марсон. У результаті було розроблено шкалу сапробності, за якою води поділено на зони:

- *полісапробна* (зона дуже сильного забруднення);
- *мезосапробна* (зона середньої забрудненості);
- *олігосапробна* (зона чистої води).

При оцінюванні води за шкалою Кольквітца-Марсона необхідно враховувати не окремі організми, а суму видів, які є характерними для даної зони.

Але при оцінюванні біоценозів, до яких входять як планктон, так і бентос, завжди слід більшого значення надавати бентосу. Дійсно, якщо порівняно чиста річка має на своєму шляху коротку, але сильно забруднену ділянку, то планктонні організми з верхньої чистої ділянки можуть переміщатися через забруднену ділянку, не відмираючи.

Бентосні організми, прикріплені до якихось предметів на дні, будуть відтворювати дійсний ступінь забрудненості, характерний для даної ділянки річки. При цьому чим більша швидкість течії річки, тим меншого значення слід надавати планктону. Коли ж проводиться санітарне обслідування озера чи водосховища з дуже повільною течією, то тут санітарне значення планктону є практично ідентичним санітарному значенню бентосу.

Поряд з хімічним і бактеріологічним аналізом води, гідробіологічні дослідження мають самостійне значення, яке можна сформулювати деякими положеннями:

- Бентосні організми акумулюють забруднювальні речовини (включаючи й епізодичні), які переміщуються повз них на певній ділянці річки або озера, реєструючи мовби середній ступінь забрудненості досліджуваної ділянки. Хімічний і бактеріологічний аналіз одиначної проби води може й не виявити забруднення, яке відбулося раніше.

- При дослідженні водойми за розрізом гідробіологічний метод вивчення надає можливість обмежитися одноразовим дослідженням, у той час як хіміку чи бактеріологу довелося б виконувати чимало повторних визначень.

Ці положення знайшли своє відображення у Водній рамковій директиві Європейського Союзу (2000 р.), в якій здійснено перехід головним чином від хімічного контролю якості води як ресурсу, на біологічний контроль екологічного стану гідроекосистем [46].

6.3. Мікробіологічні процеси на водопровідних спорудах

Характер змін якості води в результаті біологічних процесів, що відбуваються у водопровідних спорудах, є різноманітним: водопровідні споруди обростають водоростями і тваринними організмами, з'являються відклади оксиду заліза тощо. Це призводить до погіршення органолептичних показників якості води, забивання фільтрів, а також інших небажаних явищ.

Ріст, розвиток і розмноження у водопровідних спорудах тих чи інших мікро- та макроскопічних організмів, а також біоценозів залежить від багатьох чинників. До них відносяться температурні умови, сезонні зміни, за яких звичайно відбувається зміна спільнот видів, вплив світла, швидкість руху води, умови живлення організмів, кількість і якість органічних речовин, які містяться у воді, насиченість киснем тощо.

На водопровідних спорудах першими звичайно розвиваються бактерії, які осідають з частинками мулу. Потім з'являються зооглейні організми, найпростіші, сувійки, колоніальні інфузорії, джгутикові, пізніше черв'яки, ракоподібні, молюски тощо.

Поява первинних бактеріальних плівок часто зумовлюється розвитком залізобактерій та марганцевих бактерій.

Залізобактерії відносяться до водяних організмів, які широко розповсюджені в природі. Вони зустрічаються на всіх широтах і мають велику кількість видів. Важливою умовою життєдіяльності залізобактерій є наявність у навколишньому середовищі заліза і кисню.

Залізобактерії каталітично прискорюють окиснення Fe^{2+} до Fe^{3+} в розчинах бікарбонату заліза, викликаючи випадання в осад його гідроксиду.

Колоїдний гідроксид заліза відкладається на поверхні клітин залізобактерій. Поступово відбувається старіння колоїдів, вони втрачають воду, кристалізуються і, деформуючись, ущільнюються. Згодом перетворюються на суцільну масу, в якій уже не виявляються окремі клітини залізобактерій. Найбільш сприятливі умови для залізобактерій створюються за рН 5,9-7,6.

Залізобактерії утворюють на металевих поверхнях відклади гідроксиду заліза жовтуватого кольору, в результаті чого через 1-2 роки поверхня вкривається горбочками різної висота. Простір між ними заповнює щільна плівка відкладів. На думку багатьох мікробіологів, первинні бактеріальні плівки на будь-яких споруді сприяють наступному обростанню більш стійкими організмам (дрейсени, мідії).

Молюски. Значні труднощі в роботі водоочисних споруд викликають молюски. Молюски, які потрапляють до водопровідної системи з річок, мають різний видовий склад. Найбільш небезпечною з них є дрейсена річкова або тригранка річкова (рис. 6.5). Вона живе у черепашці розмірам від 0,8 до 5 см, яка стійко закріплюється на різних поверхнях і відпадає лише після відмирання молюска.



А



Б

Рис. 6.5. Дрейсена річкова (А) та прояв її скупчення на поверхні предмету (Б)

Проникнення тваринних організмів і рослин у водопровідні споруди впливає на органолептичні показники якості води. Залізобактерії надають воді жовтого кольору і в'язучого присмаку, водорості – сіруватого кольору. У воді з'являється слизистий чи крихкуватий осад, а також каламутність. Загибель і розкладання у водопровідних спорудах черв'яків, дрейсен може надавати воді неприємної смаку, запаху сірководню, аміаку, метану тощо. Біологічні обростання, крім погіршення якості води, призводять до механічних порушень роботи водопроводу.

Засоби боротьби з цими процесами поділяються на *активні* та *профілактичні*. Усі заходи з охорони водних об'єктів від забруднення одночасно і є профілактикою проти обростань і забруднення водопровідних споруд різними організмами та водоростями.

Боротьба з обмілінням річок, насадження лісів на берегах створення зон санітарної охорони джерел водопостачання – все це профілактичні заходи.

Добре санітарне утримання водопровідних споруд, систематичні профілактичні ремонти створюють несприятливі умови для обростань.

До активних методів боротьби відноситься механічне очищення з наступною промивкою і дезінфекцією споруд.

Найбільш загальноприйнятими способами боротьби з обростанням залізобактеріями, водоростями та іншими організмами є періодичне хлорування споруд. При цьому застосовуються великі дози хлору з таким

розрахунком, щоб залишкова кількість хлору становила 33,5 мг/дм³. Хлорування рекомендується поєднувати з амонізацією. Використовується також срібна вода.

Як засіб боротьби з ціанобактеріями застосовується обробка ультрафіолетовим промінням. Усі ці методи забезпечують загибель мікроорганізмів і наступне вилучення їх з води, яка готується для подачі в міську водопровідну мережу.

6.4. Біологічні організми в стічних водах

Для міських стічних вод є характерним високе бактеріальне забруднення. Людина виділяє за добу близько $4,48 \cdot 10^{12}$ мікробів, відповідно і концентрація бактерій у неочищених міських стічних водах досягає десятків мільйонів в 1 см³. Біологічне населення міських стічних вод представлено також вірусами, бактеріофагами, яйцями гельмінтів та ін.

Бактеріальне населення міських стічних вод складається з *апатогенних* і *патогенних* (хвороботворних) бактерій. Апатогенні бактерії становлять основну масу бактеріального населення; головним чином це мікроби, які розкладаються в умовах анаеробіозу. У значній кількості розвиваються в колекторі уробактерії, які гідролізують основний компонент сечі – сечовину. Тому в колекторі середньої довжини вся сечовина гідролізується з утворенням карбонату амонію.

Також у міських стічних водах активно діють анаеробні мікроби, у результаті чого виділяються різні гази: сірководень, вуглекислота, водень, метан.

Життєдіяльність мікробів гниття викликає утворення небезпечного для життя людини складу повітря каналізаційного колектора. Повітря над стічною рідиною в колекторах містить 8-12 % кисню, 1-2 % вуглекислоти, по 0,07 мг/100 дм³ аміаку, сліди сірководню, 11-12 % горючих газів.

Патогенні бактерії, особливо збудники кишкових інфекцій, надходять до міських стічних вод від: 1) хворих; 2) тих, хто переносить хворобу в латентній (прихованій) формі; 3) бацилоносіїв. Тому в малих населених пунктах може й не бути патогенних мікробів у міжепідеміологічний період. У великих же містах завжди є бацилоносії, тому навіть за відсутності епідемії бувають окремі захворювання гострими інфекційними хворобами.

До стічної рідини надходять віруси, які є причиною захворювання людини. Але виживають лише ті з них, які пристосовані до умов життя в цьому середовищі.

Як і віруси до міського колектора надходять усі бактеріофаги, які виділяються людським організмом. Але після потраплення до каналізаційної рідини далеко не всі вони зберігаються через величезну чисельність і різноманітність за складом бактеріального населення, яке в деяких випадках пригнічує інших представників мікросвіту.

Гельмінти (з грецької – черви). З господарсько-побутовими стічними водами міського колектора надходять гельмінти, головним чином у вигляді яєць. Кількість їх у господарсько-побутових стічних водах досягає кількох сотень в 1 дм³, це в основному аскариди. Яйця гельмінтів є найбільш стійкими представниками живого світу міських стічних вод, вони добре переносять

відносно високі та низькі температури, хлорування. Ті дози, які знищують бактеріальні клітини, на яйця гельмінтів не діють і лише за температури 55-60°C викликають їх загибель. Тому на очисних спорудах зменшення концентрації яєць гельмінтів досягається лише при їх осадженні разом з твердою фазою і наступній термічній обробці осаду.

Гриби. У міських стічних водах зустрічаються різні представники грибів. Звичайно присутність їх на поверхні каналізаційних споруд виявляється за наявності своерідної слизької плівки.

Контрольні питання до розд. 6

- 1) Розкрити поняття «мікроби».
- 2) Розкрити поняття «бактерії».
- 3) Охарактеризувати морфологію бактерій.
- 4) Охарактеризувати фізіологію бактерій.
- 5) Що таке аеробні та анаеробні бактерії?
- 6) Що таке антибіоз у бактерій?
- 7) Що таке симбіоз у бактерій?
- 8) Яка роль бактерій у кругообігу речовини в природі?
- 9) Розкрити поняття про санітарно-показові організми.
- 10) Що таке кишкова паличка?
- 11) Які показники використовуються при визначенні кишкової палички у воді?
- 12) На які класи поділяються водні біоценози за сапробністю?
- 13) Охарактеризувати ціанобактерії.
- 14) Які мікробіологічні процеси на водопровідних станціях шкодять технологічним системам? Які засоби боротьби з цими процесами?
- 15) Коротко охарактеризувати біологічні організми в стічних водах.

7. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ

7.1. Основні технологічні процеси очищення води

Необхідність обробки води виникає тоді, коли якість води природних джерел не задовольняє необхідні вимоги. Така невідповідність може бути тимчасовою (сезонною) чи постійною.

Характер і ступінь невідповідності якості води джерела вимогам користувача зумовлює вибір методів обробки води. Якщо при цьому може бути використано різні методи очищення, то вибір їх проводиться на основі техніко-економічних розрахунків. Вирізняють поняття: більш широке – водоочищення; вужче – водопідготовка.

Водоочищення – це комплекс технологічних процесів, які спрямовані на доведення якості води, що надходить у водопровід з джерела водопостачання, до встановлених показників.

Водопідготовка – це обробка води, яка надходить з природного джерела постачання для живлення парових котлів та інших технологічних цілей. Водопідготовка проводиться на ТЕС, транспорті, у комунальному господарстві, на промислових підприємствах.

Хімічні, фізичні та фізико-хімічні процеси, які використовуються для очищення природної води при водопостачанні, можна поділити на дві групи.

Перша група – процеси, пов'язані з коригуванням фізичних і хімічних властивостей води.

Друга група – процеси, які забезпечують знезараження води, тобто звільнення від шкідливих бактерій та мікроорганізмів.

7.1.1. Процеси коригування властивостей води

Найважливішими є процеси освітлення та усунення забарвленості (кольоровості). Для освітлення та усунення забарвленості використовують безреагентні та реагентні методи.

- *Освітлення води і часткове усунення забарвленості без використання реагентів* відбувається при тривалому її відстоюванні, яке може здійснюватися у відкритих, спеціально споруджених басейнах: відстійниках чи водосховищах. Термін освітлення води (і то неповного) має становити не менше 12 діб, для часткового усунення забарвленості – 12 і більше місяців. Зрозуміло, що такий метод використовується рідко.

До безреагентних методів відноситься також *повільна фільтрація*. Характерною особливістю є дуже мала швидкість фільтрації (0,1-0,2 м/год) і використання фільтруючого матеріалу (зазвичай кварцового річкового піску) з дрібними фракціями (0,25-0,35 мм), який затримує завислі речовини.

Реагентний метод ґрунтується на використанні спеціальних хімічних речовин *коагулянтів* і називається *коагуляція*. У результаті цього процесу у воді утворюються пластівці, які включають завислі та колоїдні частинки, що надають воді каламутності та забарвленості. Потім ці пластівці осідають і

забезпечують освітлення та усунення забарвленості. Частіше за все використовують сульфат алюмінію $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, хлорид заліза $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, сульфат заліза (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Після осадження основної маси завислих частинок вода зазвичай фільтрується – пропускається через шар зернистого матеріалу, частіше за все – піску. На відміну від повільної фільтрації, швидкість процесу становить 5-10 м/год, фільтруючий матеріал містить більші фракції (0,5-1,00 мм). Цей процес називається *швидкою фільтрацією*.

Крім освітлення, до першої групи (коригування властивостей) відносяться процеси, які дозволяють усунути з води небажані присмаки і запахи, агресивні гази, залізо, марганець, кремнієву кислоту тощо.

- *Усунення запахів і присмаків* досягається різними методами залежно від їхнього походження. Появі запахів і присмаків натурального походження можна запобігти обробкою водойм мідним купоросом. Усунення аналогічних запахів у водопровідній воді виконують сильними окисниками (озон, діоксид хлору) чи адсорбентами (наприклад, активованим вугіллям). Запахи і присмаки, зумовлені розчиненими газами чи солями, усуваються відповідними методами дегазації та знесолення.

- *Усунення агресивних газів* – вуглекислого газу, O_2 і H_2 – досягається аерацією (фонтануванням, дощуванням), а також обробкою води відповідними хімічними реагентами. Для усунення CO_2 воду обробляють хлором, для зв'язування надлишку CO_2 – розчином вапна, крейди чи фільтрують через мармурові крихти. За надлишку O_2 його усувають фільтруванням через залізну стружку, обробкою сульфатом натрію.

- *Усунення заліза і марганцю* здійснюється низкою способів. За наявності заліза у воді у вигляді бікарбонату усунення заліза відбувається за допомогою аерації, подальшого відстоювання чи фільтрації. Колоїдні органічні сполуки заліза усуваються хлоруванням з подальшою обробкою коагулянтами. Залізо в йонній формі вилучається за допомогою фільтрації через H-, Na- чи Ca-катионіти.

- *Пом'якшення води*, тобто зниження концентрації катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} , які зумовлюють твердість води, здійснюється різними методами.

Термічний метод (безреагентний) – це переведення бікарбонатів кальцію та магнію при кип'ятінні у малорозчинні карбонати, що випадають в осад. Цей метод використовується для паросилових установок.

У випадку реагентних методів пом'якшення води розчинні солі кальцію та магнію за допомогою хімічних реагентів переводяться в нерозчинні сполуки, які утворюють завислі речовини, що потім усуваються відстоюванням чи фільтруванням. Найпоширенішим є *вапняково-содовий спосіб*.

Метод йонного обміну полягає у фільтрації через Na- чи H-катионіти, у результаті чого йони Ca^{2+} і Mg^{2+} з води обмінюються на йони Na^+ чи H^+ . Як катионіти використовуються натуральні (глауконітові піски) чи штучні (сульфовугілля, штучні смоли) матеріали.

Існує спосіб пом'якшення води за допомогою пропускання через неї *магнітних чи електромагнітних хвиль*.

- *Знесолення води* – це усунення усіх розчинених у ній солей.

- *Опріснення води* – зменшення вмісту розчинених солей до потрібних концентрацій. Воно може здійснюватися за допомогою термічної обробки, електрохімічним шляхом чи методом йонного обміну.

- *Дезактивація води* – усунення радіоактивних речовин. Може досягатися комбінацією існуючих методів залежно від того, в якому стані (істинно розчинному, колоїдному чи завислому) знаходяться у воді радіоактивні речовини.

7.1.2. Процеси знезараження води

Знезараження води є обов'язковим за санітарної ненадійності джерела, що використовується для водопостачання. Як правило, перед знезараженням проводять освітлення й усунення забарвленості води, в результаті чого вода звільняється від завислих частинок, що утруднюють проведення знезараження, і від частини бактерій (при фільтруванні затримується 98-99 % усіх бактерій).

Знезараження можна розглядати і як самостійний та часто єдиний процес обробки води, наприклад, на водопроводах, джерелом яких є підземні води. Знезараження води може здійснюватися двома способами – за допомогою спеціальних реагентів і без них.

Реагентними методами називаються такі, за яких для знезараження води використовуються хімічні речовини, що викликають загибель мікроорганізмів. Такими речовинами є низка окисників (хлор, озон), а також солі деяких важких металів (в основному срібла і міді). Солі міді, через свою отруйність для організму людини, використовуються лише при обробці води, яка йде для технічних потреб (боротьба з наростами на поверхнях труб), а також як засіб боротьби з цвітінням води у відкритих водоймах. У водопровідній практиці хлорування є найпоширенішим методом знезараження води.

За безреагентних методів знезараження води здійснюється шляхом впливу ультрафіолетовим опроміненням, яке має бактерицидні властивості (короткі хвилі в межах 2000-2950 Å), чи високої температури (кип'ятіння). Вивчаються можливості використання для знезараження води ультразвукових хвиль, струму високої частоти, γ-випромінювання та інших фізичних агентів.

7.2. Освітлення, усунення забарвленості, присмаків і запахів

7.2.1. Освітлення води, усунення забарвленості

Неорганічна каламутність у воді частіше за все має глинисте походження, а також, залізне та вапнякове.

Органічна каламутність та забарвленість природних вод пов'язана з гуміновими речовинами. Властивості гумусу утворювати органо-мінеральні комплекси переважно адсорбційного характеру зумовлюють стійкість каламутності багатьох природних вод. Чисто органічна каламутність має невисоку стійкість. Якщо ж неорганічні частинки адсорбують гуміни, утворюється забарвлена каламутність, що значно ускладнює очищення води.

Освітлення води або усунення речовин, що надають воді каламутності та забарвленості, може здійснюватися методом тривалого відстоювання. Якщо фізико-хімічні властивості речовин не дозволяють чи роблять нераціональним усунення їх цим методом, то освітлення здійснюється за допомогою процесу коагуляції.

Коагуляція – злипання частинок колоїдів при їхньому зіткненні в процесі теплового (броунівського) руху, перемішування.

Коагулянти являють собою солі слабких основ і сильних кислот – сульфат алюмінію, сульфат окисного і закисного заліза, хлорне залізо та ін. При розчиненні у воді вони гідролізуються, тобто взаємодіють з гідроксильними йонами, які завжди присутні у воді в результаті електролітичної дисоціації останньої.

Розчинність гідроксидів алюмінію і заліза є надзвичайно малою. Вони виділяються з розчину, утворюючи колоїдні частинки, які під впливом електролітів коагулюють, тобто укрупнюються в результаті взаємного злипання. Утворюються більш чи менш великі пластівці, які випадають в осад разом з колоїдами і тонкодисперсними завислими речовинами, які забруднюють воду.

Процес коагуляції води складається з трьох стадій: а) гідролізу коагулянтів і утворення розведених золів гідроксидів; б) взаємодії золів гідроксидів з колоїдами і завислими речовинами води і наступної коагуляції золів; в) утворення пластівців і вилучення з води утворених агрегатів.

Гідроліз солей коагулянтів значною мірою визначає межі використання їх за різних умов водоочищення. Повнота протікання гідролізу впливає на весь наступний хід процесу коагуляції, тим більше, що згідно санітарно-гігієнічних вимог вміст навіть невеликих кількостей солей коагулянтів (особливо алюмінієвих) є неприпустимим в очищеній воді; наприклад, гідроліз сульфату алюмінію протікає у кілька етапів.



Укрупнення колоїдних частинок, що утворюються в результаті гідролізу коагулянтів, відбувається поступово протягом певного часу. Спочатку в результаті броунівського руху утворюються агрегати з масою, не достатньою для випадіння їх з розчину. Це так звана стадія прихованої коагуляції. Якщо укрупнення досягає межі, коли утворюються пластівці, які вже можна побачити неозброєним оком і які осідають під дією сили тяжіння, настає стадія седиментації (осадження). Появі видимих пластівців передують стадія утворення надміцелярних структур, тобто спостерігається виникнення пухкої сітки, яка включає велику кількість дисперсійного середовища (води). З часом сітка розривається на окремі пластівці, що осідають.

Флокулянти – речовини, що використовуються для інтенсифікації і поліпшення процесу коагуляції в технології освітлення та усунення забарвленості води. Їхня дія виявляється в тому, що флокулянти сприяють утворенню великих щільніших пластівців, які швидко осідають у відстійниках.

Це сприяє поліпшенню роботи фільтрів за рахунок зменшення кількості завислих речовин, що виносяться із споруд першого ступеня очищення (відстійників, освітлювачів). До флокулянтів відносяться речовини мінерального (активна кремнієва кислота) та органічного (природні та синтетичні) походження.

Після змішування розчину коагулянту з водою спочатку не відбувається ніяких змін. Згодом вода стає каламутною від утворення величезної кількості дрібних пластівців – до 5000 в 1 дм³ (початок утворення пластівців). Утворені пластівці агрегують у більшій за розмірами, кількість частинок в одиниці об'єму зменшується. Після того, як вона досягає 5-10 в 1 см³ (кінець утворення пластівців), починається процес їхнього осадження. Для інтенсивного освітлення та усунення забарвленості води намагаються отримати великі пластівці з добре розвинутою поверхнею, які легко осаджуються. Водночас прагнуть до скорочення часу формування пластівців.

Рухливість частинок залежить від температури і перемішування. Практично встановлено, що швидкість утворення пластівців дуже уповільнюється за низької температури, при цьому їх розмір і структура залишаються незадовільними. Перемішування дозволяє значною мірою компенсувати несприятливий вплив низької температури. При цьому прискорюється зростання частинок у результаті їх більшого взаємного контакту і сильнішає зв'язок між частинками, тобто пластівці стають більш міцними. Встановлено, що в інтервалі температур 3-18 °С при перемішуванні на утворення пластівців витрачається лише 2-7 % часу, необхідного для досягнення того самого ефекту без перемішування.

Вилучення пластівців, що утворилися в результаті коагуляції, досягається шляхом відстоювання та фільтрації.

Відстоювання води забезпечує вилучення з неї основної маси завислих частинок. Найпростіший процес відстоювання здійснюється в нерухомому середовищі. При відстоюванні завислих речовин можливе як вільне, так і взаємне осадження (коли одні частки захоплюють інші, сприяючи процесу осадження). Практично встановлено, що швидкість осадження частинок у природних водах є пропорційною величині

$$(t + 23) / 23,$$

де t – температура води, °С.

Осадження пластівців, що утворилися в процесі коагуляції, відбувається у спеціальних відстійниках.

Фільтрація – пропускання води через шар фільтрувального матеріалу, є завершальним етапом звільнення води від завислих речовин. Фільтрацією з води вилучаються завислі частинки, які не були затримані на першому етапі очищення (при відстоюванні). Фільтрувальний шар періодично очищається від накопичених у ньому забруднювальних речовин. Суть фільтрації полягає в розподілі завислих частинок у порах фільтрувального матеріалу, закріпленні їх на його поверхні (*адгезія*).

Для фільтрації можуть використовуватись *інертні речовини* (кварцовий пісок річковий чи кар'єрний, подрібнений антрацит, доменний шлак, керамзит аглопорит), які слугують лише для затримання завислих частинок, чи *активні наповнювачі* (діатоміт, трепел, активоване вугілля, магма), які одночасно з освітленням забезпечують поліпшення деяких показників якості води.

7.2.2. Усунення присмаків і запахів

Методи усунення присмаків і запахів залежать від характеру речовин, що зумовили їхню появу, і стану, в якому вони знаходяться (йонні та молекулярні розчини, колоїди та завислі речовини).

Як уже відзначалося, деякі методи обробки води сприяють усуненню з неї неприємних присмаків і запахів. Так, присмаки та запахи від речовин, що знаходяться у завислому чи колоїдному стані, усуваються з води при коагуляції. Присмаки та запахи, зумовлені підвищеним вмістом неорганічних речовин, що знаходяться в йонному чи молекулярному стані – методами коригування мінерального складу води (знесолення, дегазація тощо). Присмаки та запахи біологічного походження, а також зумовлені наявністю органічних сполук з промислових стічних вод – усуваються в основному за допомогою окисників, адсорбентів, а також аерацією.

Метод аерації води став одним з перших і впродовж десятиліть надійним методом усунення з природних вод присмаків і запахів. Він ґрунтується на леткості речовин, що їх викликають. У багатьох випадках при усуненні запахів і присмаків біологічного походження аерація забезпечує досить повну дезодорацію води. Але цим методом важко чи зовсім неможливо усунути стійкі присмаки, які зумовлені розкладанням водяної рослинності, а також забрудненнями промисловими стічними водами. Тому цей спосіб, як правило, використовується в комбінації з іншими. Аерація відбувається в спеціальних установках – *аераторах* (розбризувального, каскадного чи барботажного типу).

Метод окиснення передбачає використання сильних окисників: хлор, діоксид хлору, озон, перманганат калію тощо.

Однією з найбільш поширених промислових речовин, яка забруднює природні води, є феноли. Їхня присутність у воді в кількості, що перевищує $0,001 \text{ мг/дм}^3$, призводить при хлоруванні води з метою знезараження до появи хлорфенольних запахів. Тому для боротьби з хлорфенольними запахами використовують хлорування з амонізацією. Воно не усуває ці запахи, а попереджає їх виникнення, оскільки хлор енергійніше реагує з аміаком, ніж з фенолами, утворюючи хлораміни.

Обробка активованим вугіллям – один з найпоширеніших способів дезодорації води. Пояснюється це високою ефективністю вугілля, його універсальністю, а також можливістю успішного використання у будь-якій технологічній схемі обробки води.

Активоване вугілля відрізняється розвинутою пористістю і тому має величезну внутрішню поверхню. На такій поверхні виникають сили міжмолекулярної взаємодії, завдяки яким молекули газів, пари чи розчинених речовин утримуються активованим вугіллям. У результаті концентрація цих молекул у газах чи розчинах зменшується.

З активованого вугілля для дезодорації найбільш часто використовують торфове вугілля (ТАВ), березове вугілля (БАВ). На спорудах для очищення води активоване вугілля застосовують у вигляді вугільного порошку чи гранул, якими заповнюють фільтри. Вугільні фільтри розміщують зазвичай після освітлювальних, щоб запобігти зниженню адсорбційної ємності вугілля за рахунок поглинання речовин, що надають воді забарвленості.

Результати роботи фільтрів свідчать, що активоване вугілля повністю усуває присмаки та запахи води, значно зменшує забарвленість та окиснюваність води. Експлуатація та обслуговування фільтрів прості і надійні. Недоліком вугільних фільтрів є велика витрата води на промивання, швидке зниження адсорбційних властивостей вугілля, корозія корпусу фільтра.

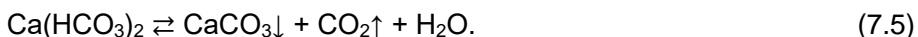
7.3. Пом'якшення, знесолення та опріснення

7.3.1. Пом'якшення води

Пом'якшенням води називається процес, що призводить до зниження твердості, тобто зменшення концентрації кальцієвих і магнієвих солей у воді. Існує кілька методів зниження твердості:

1) термічний метод, який ґрунтується на нагріванні води, дистиляції її чи виморожуванні; 2) реагентні методи, за яких йони Ca^{2+} і Mg^{2+} зв'язуються різними реагентами практично в нерозчинні сполуки; 3) метод йонного обміну, який ґрунтується на фільтруванні води через спеціальні матеріали, які замінюють йони Na^+ і H^+ зі свого складу на йони Ca^{2+} і Mg^{2+} з води; 4) комбіновані методи (різні сполучення описаних методів).

Термічне пом'якшення води методом нагрівання базується на зсуві вуглекислотної рівноваги в бік утворення карбонату кальцію



Зміщення рівноваги відбувається в результаті зниження розчинності вуглекислого газу за підвищення температури. Кип'ятінням можна повністю усунути вуглекислий газ і відповідно набагато знизити карбонатно-кальцієву твердість. Але повністю позбавитися її не вдається, оскільки карбонат кальцію, хоча і не значно (13 мг/дм^3 при $t = 18^\circ\text{C}$), але все ж розчинний у воді. Коли є бікарбонат магнію, то спочатку утворюється порівняно добре розчинний (110 мг/дм^3), карбонат магнію:

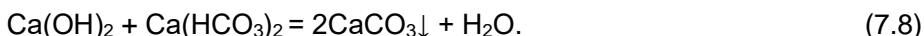


Ця сіль при наступному кип'ятінні гідролізується і випадає малорозчинний ($8,4 \text{ мг/дм}^3$) гідроксид магнію



Реагентне пом'якшення води. Як реагенти використовуються вапно, кальцинована сода, їдкий натр, тринатрійфосфат, гідроксид барію тощо.

Вапно є одним із дешевих реагентів, тому для пом'якшення води з високою карбонатною твердістю і відсутністю чи невеликою некарбонатною твердістю слід проводити пом'якшення води вапном (*вапнування*)



Для некарбонатної твердості



Йонний метод пом'якшення води. Йонообмінний метод широко використовується при обробці питних і технічних вод (пом'якшення, знесолення), а також при очищенні промислових стічних вод. Він ґрунтується на використанні деяких твердих, практично нерозчинних у воді мінералів

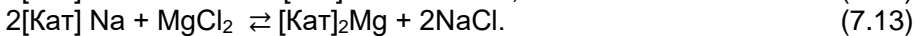
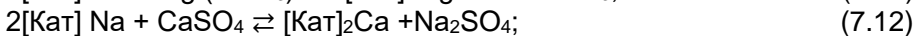
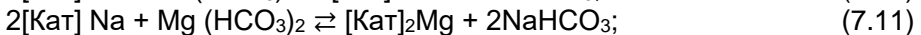
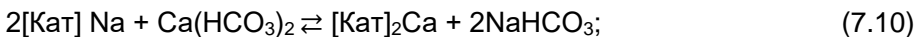
йонітів, які мають властивість обмінювати йони зі свого складу на йони з розчину. При цьому речовини, які обмінюють катіони називаються катіонітами, а аніони – аніонітами.

В основі йонообмінного процесу лежать хімічні реакції, які проходять на зовнішніх і внутрішніх поверхнях йонітів. Обмін йонів відбувається в еквівалентних кількостях. Рівновага встановлюється швидко. Ступінь обміну протягом перших декількох секунд досягає 90-98 %. Катіонний метод пом'якшення ґрунтується на використанні катіонітів природного і штучного походження, які мають здатність обмінювати йони Na^+ і H^+ на Ca^{2+} і Mg^{2+} у воді.

Катіоніти бувають слабо кислотні і сильно кислотні. У слабо кислотних катіонітів обмінна властивість за рН менше 7 дуже знижується, тому їх раціонально використовувати за рН середовища не нижче 7. Обмінна властивість сильно кислотних катіонітів дозволяє використовувати їх у будь-якому середовищі.

Найпоширенішим є катіоніт сульфовугілля, який готується обробкою кам'яного вугілля сірчаною кислотою.

Коли використовується катіоніт у Na-формі (Na-катіонування), йонний обмін відбувається за такими реакціями



Схему роботи Na-катіонітового фільтра наведено на рис.7.1.



Рис. 7.1. Схема роботи Na-катіонітового фільтра

Регенерація фільтра після зниження його обмінної властивості виконується 5-10 %-им розчином кухонної солі.

Недоліком Na-катионування є збільшення лужності оброблюваної води. У цьому випадку використовують H-Na-катионування. Метод H-Na-катионування дозволяє отримати пом'якшену воду з необхідним рН.

7.3.2. Знесолення та опріснення води

Як відзначається в розд.2.2. та 2.4 цієї книги, основною причиною, яка актуалізує увагу спеціалістів до розробки технологій знесолення та опріснення води є дефіцит водних ресурсів, що загострюється на планеті.

Початок розробок з технології опріснення солоних морських вод відноситься до кінця 40-х років ХХ ст. Станом на 2022 р. у світі нараховувалося близько 18 тис. опріснювальних установок, з яких близько 50 % – у Північній Африці та Близькому Сході. Для прикладу, солоність води в Середземному морі становить 38 ‰ (г/дм³), в Червоному морі та Перській затоці – 40-42 ‰ (г/дм³).

Розвинуті ці технології в США. Опріснення є динамічним сектором «блакитної економіки» в Європейському Союзі. Так, в ЄС станом на 2022 р. налічувалося понад 2,3 тис. установок із опріснення морської води. Середземномор'я є місцем розташування для більшості з них.

Процес усунення солей з води залежно від ступеня їх вилучення називається знесоленням або опрісненням.

Знесолення води – видалення з води розчинених в ній солей до концентрації, близької до їхнього вмісту у дистильованій воді.

Дистильована вода – вода, очищена від розчинених у ній мінеральних солей, органічних речовин та інших домішок. Вона не проводить електричний струм.

Опріснення води – видалення з води розчинених в ній солей до концентрації, яка є допустимою під час використання води для господарсько-питних або технічних потреб. Наприклад, норматив мінералізації питної води в США – до 500 мг/дм³, в ЄС та Україні – до 1000 мг/дм³.

Опріснення може бути здійсненим як із зміною агрегатного стану води (дистиляція, виморожування), так і без його зміни (електродіаліз, зворотний осмос чи гіперфільтрація, йонний обмін, екстракція води у вигляді кристалізаційної води кристалогідратів та ін.).

Знесолення води дистиляцією ґрунтується на випаровуванні її з наступною конденсацією пари. Загальну схему цього процесу показано на рис.7.2.

Дистиляційні опріснювачі є: одноступеневими; багатоступеневими з трубчастими нагрівальними елементами чи випаровувачами; багатоступеневими з миттєвим закипанням; парокompресійні.

Викликає інтерес сонячне опріснення, що дуже важливо для районів з жарким кліматом. Воно набагато дешевше, ніж інші методи.

Опріснення води методом виморожування ґрунтується на використанні явища розділення кристалів прісного льоду і розсолу при замерзанні солоної води. Температура замерзання розсолу нижча за температуру замерзання чистої води й залежить від концентрації солей. Тому

в твердий стан спочатку переходить чиста вода, а між кристалами прісного льоду утворюються порожнини, заповнені розсоллом.

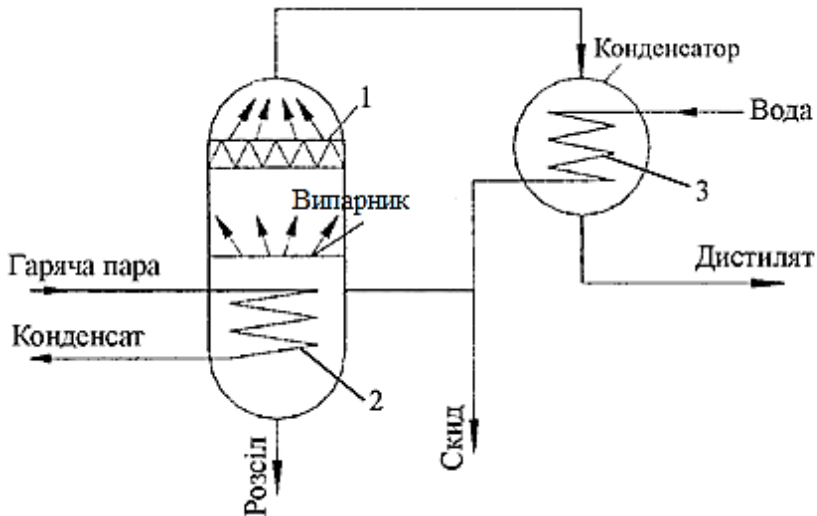


Рис. 7.2. Схема знесолення води дистиляцією: 1 – краплелловлювач; 2, 3 – змійовики випарника та конденсатора

При поступовому підвищенні температури першими в рідкий стан переходять включення розсолу. Розсіл дренає масу льоду і стікає раніше, ніж починають танути кристали прісного льоду. Коли температура навколишнього середовища підвищується до 0,5-4,0 °С, залишається дірчаста маса прісного льоду, при таненні якого і отримують прісну воду.

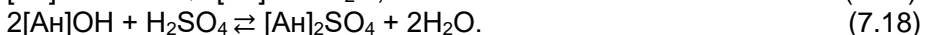
У даний час витрата енергії на отримання холоду більша, ніж витрата енергії для отримання тепла. Тому виморожування може мати практичне значення при використанні природного холоду.

Йонітний метод опріснення полягає в послідовному пропусканні води через Н-катіонітовий, а потім ОН-аніонітовий фільтри. У Н-катіонітовому фільтрі катіони, які містяться в солоній фільтрованій воді (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), обмінюються на йон водню катіоніту



Вуглекислий газ, який виділяється в процесі розкладання бікарбонатних солей, вилучається в дегазаторі.

При пропусканні води після Н-катіонітових фільтрів через аніонітові фільтри аніони утворених кислот обмінюються на йон ОН



Регенерація ОН-аніонітових фільтрів здійснюється 23 %-ним розчином їдкою натру.

Електрохімічний метод опріснення та знесолення води ґрунтується на використанні електродіалізу та електроосмосу. Спрощена схема установки для електрохімічного знесолення і опріснення являє собою ємність, яку розділено двома дірчастими перетинками 3 і 4 на три камери (катодну, робочу і анодну) із зануреними в крайні комірки електродами 1 і 2 (рис. 7.3).

Після заповнення ванни водою, яку треба обробляти, і вмикання постійного струму спостерігається перенесення йонів у крайні комірки: катіонів, розчинених у воді солей, до катода («-»), а аніонів – до анода («+») й опріснення води в середній камері.

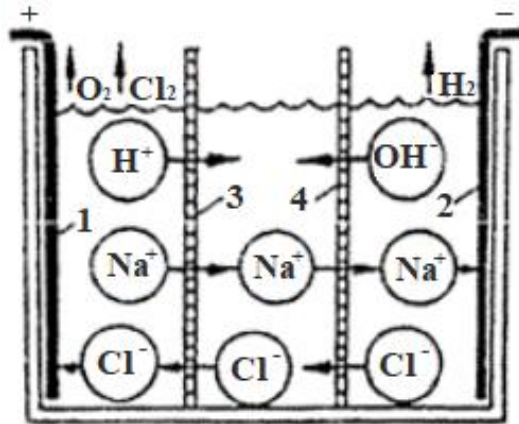


Рис. 7.3. Схема електрохімічного знесолення води в трикамерному електролізері

При цьому на катоді відбувається утворення вільного водню, а на аноді виділення кисню, тобто підкислення анодної рідини й підвищення катодної лужності.

Ці камери є проточними і сполучаються послідовно. Для мембран використовуються хімічно і механічно стійкі матеріали: перхлорвінілова тканина, мікропористий вініпласт. Матеріалом для катода слугує нержавіюча сталь, для анода – магнетит.

Значної практичної цінності набув перспективний спосіб знесолення води методом електродіалізу з використанням селективнопроникних йонітових мембран.

Метод зворотного осмосу (гіперфільтрація). Зворотно-осмотичні опріснювачі складаються з насоса високого тиску, який прокачує солону воду через плоскі або трубчасті мембрани чи волокна, які здатні під тиском, вищим за осмотичний, пропускати молекули води, але не пропускати гідратовані йони розчинених у воді солей.

Помітною стала тенденція до збільшення частки зворотно-осмотичних опріснювачів, що зумовлено низькою витратою енергії, застосуванням модульних конструкцій, а також невеликими об'ємами скидного розсолу.

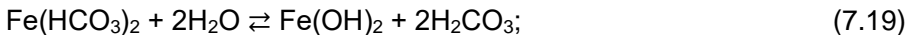
7.4. Вилучення заліза, марганцю, кремнію, фтору. Фторування води

7.4.1. Вилучення заліза

Вибір методу вилучення заліза залежить від форми вмісту заліза у воді. Вилучення заліза здійснюється такими методами: *аерацією, вапнуванням, хлоруванням, коагулюванням, катіонуванням*, а також за допомогою каталізаторів.

При вилученні заліза з підземних вод, які зазвичай містять закисне залізо (Fe^{2+}) в йонній формі, використовують аерацію; при вилученні заліза з поверхневих вод, де воно міститься у вигляді колоїдів і завислих речовин – коагулювання. Вапнування і катіонування застосовують у тих випадках, коли треба вилучити залізо і зробити воду м'якою. Дуже часто використовують комбіновані методи вилучення заліза.

Аерація. Суть процесу вилучення заліза з води за допомогою аерації полягає в тому, що двовалентне Fe^{2+} переходить у Fe^{3+} і утворюється гідроксид заліза, який випадає в осад. При аерації з води вилучається бікарбонат заліза який є нестійкою сполукою, що легко гідролізується у воді



Гідроксид заліза ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) з валентністю 2^+ при окисненні киснем з повітря переходить у гідроксид заліза з валентністю 3^+ :



Крім насичення води киснем, аерація сприяє також інтенсивному вилученню з неї CO_2 . Оскільки процес окиснення двовалентного заліза в тривалентне суттєво уповільнюється за рН менше 7 і може не закінчитися на очисних спорудах, усунення CO_2 (вуглекислоти), яка при цьому утворюється і призводить до зниження рН, стає в деяких випадках необхідним технологічним етапом при вилученні заліза.

Кількість вуглекислоти, яку треба усунути (C_B), визначається за формулою

$$C_B = 1,57C_{\text{Fe}} + (C_{\text{поч}} - C_{\text{он}}). \quad (7.22)$$

де C_{Fe} – загальний вміст заліза у воді, мг/дм³; $C_{\text{поч}}$ – початкова концентрація вуглекислоти, мг/дм³; $C_{\text{он}}$ – концентрація вільної вуглекислоти, яка відповідає оптимальному значенню рН при вилученні заліза (7,0-7,5 мг/дм³).

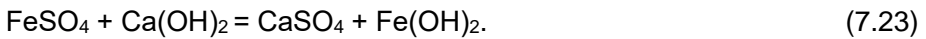
Якщо рН води після гідролізу не падає нижче 7, повітря вводять у воду в кількостях, необхідних тільки для окиснення. Це відбувається шляхом подачі його в патрубок насосу чи шляхом додавання в трубопровід перед фільтруванням.

У таких випадках, коли необхідно підвищити рН, використовують розбризування води в спеціальних басейнах, аерацію на градирнях.

Як правило, установка для вилучення бікарбонату заліза складається із спеціального пристрою для вилучення вуглекислоти і окиснення заліза киснем, контактних резервуарів чи заповнених піском фільтрів. Там завершуються процеси окиснення. За вмісту заліза до 10 мг/дм³ вивільнення води від гідроксиду заліза можна здійснити безпосередньо на освітлювальних фільтрах. Під час аерації концентрація заліза знижується до 0,1-0,3 мг/дм³.

Вапнування і хлорування часто проводяться додатково до аерації або ж замість неї. Залізо окиснюється і випадає в осад.

Вапнування здійснюється за низьких рН (нижче 6,5) води, що обробляється, коли утруднюється перехід закисного заліза в окисне. Підвищення рН води значно прискорює процеси гідролізу і окиснення заліза. Вапнуванням вилучається сульфат заліза. Доза вапна повинна забезпечити рН води не менше, ніж 8,3. Додане вапно спочатку реагує з сульфатом двовалентного заліза



Утворений гідроксид заліза окиснюється до Fe(OH)₃.

У багатьох випадках вапнуванням може бути вилучено залізо з поверхневих вод. Якщо вміст кисню у воді не є достатнім для окиснення, одночасно з вапнуванням проводять хлорування води чи аерацію. Доза хлору визначається за спеціальною формулою.

Хлорування. Часто необхідний ефект окиснення заліза досягається без додавання вапна лише хлоруванням дозами 13 мг/дм³ Cl₂, після чого вода фільтрується через піщані фільтри.

Коагулювання. Залізо, яке знаходиться у воді у вигляді колоїдів, тонкодисперсних і комплексних органічних сполук, вилучається обробкою води коагулянтами (сульфатом амонію тощо). Інколи використовується попереднє хлорування води з метою руйнування органічних сполук заліза. Застосування залізних коагулянтів забезпечує повне вилучення заліза з води в результаті інтенсивної адсорбції йонів заліза на пластівцях.

Величина дози коагулянту встановлюється дослідним шляхом. Технологічна схема при цьому включає набір реагентів, змішувачі, освітлювачі та фільтри.

Метод катіонного обміну дозволяє повністю звільнити воду від солей заліза. Цей спосіб є простим і зручним в експлуатації, але не завжди економічним через те, що поряд з йонами заліза відбувається затримання катіонів твердості. Тому використання методу є раціональним за необхідності одночасного пом'якшення води, а також тоді, коли вода достатньо прозора і витрати її невеликі.

Частіше використовується H- чи Na-катіонітова схема з використанням будь-яких катіонітових матеріалів. Коли пом'якшення не потрібне, можна використати Ca-катіоніт. Для ефективної обробки фільтрів важливо встановити оптимальне співвідношення між твердістю і вмістом заліза.

Використання каталізаторів надає можливість швидкого окиснення закисного заліза і за низьких рН. Встановлено, що навіть у присутності каталізаторів за рН 5,0-5,5 окиснення заліза відбувається майже миттєво. Як каталізатор при окисненні використовують або ж подрібнений піролюзит

($MnO_2 \cdot nH_2O$) або ж «чорний пісок». Останній – це кварцовий пісок, вкритий плівкою оксидів марганцю (має чорний колір).

7.4.2. Вилучення марганцю№

Вилучення марганцю з води відбувається: *вапнуванням* чи *аерацією* з майбутнім фільтруванням через контактні фільтри; *катіонуванням*; *за допомогою біологічних методів*.

Вапнування, аерація. Воду після вапнування чи аерації фільтрують через контактні фільтри, які заповнено піролюзитом або ж «чорним піском» Під дією кисню повітря чотиривалентний марганець піролюзиту окиснюється до семивалентного.

Катіонування. Марганець вилучається з води до 0,01-0,1 мг/дм³ при фільтрації через Н-катіоніти. Але у зв'язку з тим, що під час фільтрації усуваються також інші катіони, які знаходяться у воді, цей метод економічно не виправдовує себе.

Біологічний спосіб вилучення марганцю ґрунтується на використанні бактерій, які поглинають Mn у процесі життєдіяльності. Бактерії, що відмерли, утворюють на тілі фільтра пористу масу, збагачену MnO_2 .

7.4.3. Вилучення кремнію

Для вилучення кремнію з води використовують *вапнування, солі заліза, магнезiальне вилучення осадженням чи фільтруванням, обмін катіонів*.

Вапнування. Усунення кремнію вапнуванням ґрунтується на відносно малій розчинності силікату кальцію. Ефективність методу є невеликою – за вмісту у воді 10-12 мг/дм³ кремнієвої кислоти залишковий вміст її в обробленій воді становитиме 6-8 мг/дм³.

Використання солей заліза. Метод вилучення кремнію з використанням як реагенту солей заліза знижує початковий вміст кремнієвої кислоти до 2,5-4,0 мг/дм³. Він ґрунтується на властивості пластівців гідроксиду заліза сорбувати молекулярно-дисперсну і колоїдну кремнієву кислоту.

Магнезiальний метод ґрунтується на властивості магнезiальних реагентів (оксид маґнію, доломіт, маґнезит тощо) сорбувати з водних розчинів колоїдну і молекулярно-дисперсну кремнієву кислоту.

З метою зниження витрати магнезiальних реагентів у три-чотири рази використовують високий підігрів і рециркуляцію шламу з відстійників у камеру. Так, при нагріванні води до температури 35-45°C залишковий вміст кремнієвої кислоти при обробці оксидом маґнію не перевищуватиме 2 мг/дм³.

У зв'язку з дефіцитом і значною вартістю оксиду маґнію як реагенту часто використовують випалений декарбонізований доломіт і напіввипалений каустичний доломіт. Випалений доломіт замочується у воді протягом 1,5-2,0 год., а потім дозується у воду у вигляді розчину 5 %-ної концентрації (за сумою $CaO + MgO$). В освітлювачі утворюється осад з карбонату кальцію і оксиду маґнію, які сорбують на собі кремнієву кислоту. Вилучення кремнію з води магнезiальними сорбентами використовується в основному в теплоенергетиці.

За фільтраційного методу для заповнення фільтрів застосовують магнезiальні сорбенти (напіввипалений доломіт тощо), активований оксид алюмінію, боксити. Суть вилучення кремнієвої кислоти шляхом фільтрування

через такий сорбент полягає в утворенні малорозчинного у воді силікату магнію. Недолік такого методу – необхідність за вмісту SiO_2 до 10 мг/дм^3 кожні шість місяців замінювати наповнювач фільтрів, оскільки сорбент не регенерується.

Великий практичний інтерес становить використання для заповнення фільтра активованого оксиду алюмінію і бокситу.

Повністю вилучити кремнієву кислоту з води можна шляхом пропускання її через йонітові фільтри. Як йонообмінний матеріал використовуються сильно лужні аніоніти.

7.4.4. Вилучення фтору і фторування води

Як раніше зазначалося, концентрація фтору в питній воді, яка перевищує $1,5 \text{ мг/дм}^3$, викликає в людей специфічне враження зубів. Воно отримало назву «плямиста емаль». А в людей, які користуються водою з концентрацією фтору, яка перевищує $3\text{-}5 \text{ мг/дм}^3$, окрім «плямистої емалі» зубів виявляються зміни в кістках скелета, у дітей частіше спостерігається недокрів'я та рахіт, є дані щодо несприятливого впливу підвищення концентрацій F на функціональний стан серцево-судинної та нервової системи тощо.

При споживанні води з низьким вмістом F ($< 0,5 \text{ мг/дм}^3$) у сукупності з іншими чинниками (нераціональне харчування, несприятливі умови праці та побуту) спостерігається поширення захворювання на карієс зубів. Вважають, що оптимальна концентрація F у воді має становити $0,7\text{-}1,2 \text{ мг/дм}^3$, гранично-допустима норма – $1,5 \text{ мг/дм}^3$.

З розглянутого видно, що вилучення надлишків F з природних вод, як і фторування вод з малим його вмістом, є заходами однаково важливими.

Вилучення фтору з води. Методи, які використовуються для вилучення фтору з води поділяються на дві групи: реагентні та фільтраційні. В їх основі лежать процеси сорбції.

Реагентні методи ґрунтуються на сорбції фторид-йона свіжими осадами гідроксидів магнію чи алюмінію.

При уведенні солей магнію (сульфатів чи хлоридів) у воду утворюється малорозчинний гідроксид магнію, який добре сорбує фтор. Оскільки утворення гідроксиду відбувається ефективно за рН води близько $10,2\text{-}10,3$ у воду частіше за все додають вапно. Цим методом зазвичай користуються при вилученні фтору з поверхневих вод, при освітленні та пом'якшенні води.

Фільтраційні методи є важливими для підземних вод, яким не потрібно освітлення. Вони полягають у фільтруванні води через гранульовані матеріали, які здатні сорбувати фтор. Як сорбенти практичного значення набули активованій оксид алюмінію та гідроксилпатит.

Фторування води. Підвищення вмісту іонів фтору у воді (фторування) досягається уведенням в неї речовин, які містять фтор. Найпоширенішими є реагенти: фторид натрію, кремнієфтористоводнева і фтористоводнева кислоти. Усі вони мають однакову протикорозійну реакцію. Але при виборі реагенту беруть до уваги не тільки ефективність його протикорозійних властивостей, але і токсичні властивості. Реагенти, які містять фтор, додаються у воду або у вигляді сухого порошку, або ж у вигляді розчину.

7.5. Знезараження води хлором, озоном, сріблом та йодом

7.5.1. Знезараження води хлором

Хлорування води – один із найпоширеніших методів знезараження води на водопровідних станціях. Ця процедура виконується у всіх випадках забору води з поверхневих водних об'єктів, а також при отриманні води з підземних джерел, бактеріальні показники яких не відповідають вимогам стандарту.

Хлорування води відбувається газоподібним хлором або ж речовинами, що містять активний хлор: хлорне вапно, хлорит, діоксид хлору. Під «*активним хлором*» розуміють кількість газоподібного хлору, що відповідає кількості O_2 , який виділяється сполуками при уведенні їх у воду. Для знезараження води, як правило, використовують рідкий хлор. На станціях невеликої продуктивності (до $3000 \text{ м}^3/\text{добу}$) знезараження води допускається хлорним вапном. Суть дії хлору полягає в пригніченні обміну і окиснення речовин, які входять до складу протоплазми клітин бактерій, в результаті чого останні гинуть.

Збудники тифу, дизентерії, холери й бруцельозу є дуже чутливими до дії хлору. Навіть сильно заражена бактеріями вода значною мірою дезінфікується порівняно невеликими дозами хлору. Але все одно при хлоруванні повної стерилізації води не відбувається. У ній залишаються одиничні представники мікроорганізмів, що залежить від різної стійкості до впливу хлору окремих видів мікроорганізмів та вірусів.

Бактерицидний ефект хлору значною мірою залежить від його початкової дози і тривалості контакту з водою. Частіше за все на руйнування клітин витрачається лише незначна частина хлору. Більша частина хлору витрачається на реакції з різноманітними органічними та мінеральними домішками, які містяться у воді. Ці реакції протікають з різною швидкістю залежно від концентрації хлору, рН, температури води тощо.

Хлоропоглинання води – кількість хлору, який поглинуто в результаті його взаємодії з речовинами, що містяться у воді. Воно визначається кількістю хлору у мг/дм^3 , який витрачається при 30-хвилинному контакті його з досліджуваною водою на окиснення певних органічних речовин. До таких речовин відносяться гумус, продукти розкладання клітковини й білкових сполук, солі двовалентного заліза, нітриту, аміак і солі амонію, сірководень.

Зазвичай хлоропоглинання річкових та озерних вод становить $2\text{-}2,5 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cl}_2$, у ставкових і болотних водах воно підвищується до $5 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cl}_2$. Різне підвищення кількості поглинутого хлору може свідчити про забруднення води органічними речовинами.

На практиці при визначенні необхідної дози хлору виходять із загальної потреби хлору для води. Це включає її хлоропоглинання і деякий надлишок хлору, який забезпечує протягом певного часу бактерицидний ефект. Надлишок хлору необхідний для запобігання повторного бактеріального забруднення води під час проходження по водопровідній мережі. Вміст залишкового активного хлору у водопровідній воді лімітується стандартом і повинен досягати в найближчій до насосної станції точці $0,3\text{-}0,5 \text{ мг/дм}^3$. Оптимальну дозу хлору, яка є необхідною для отримання заданої величини

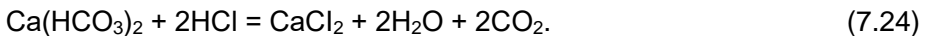
залишкового хлору, встановлюють шляхом проведення пробного хлорування, в результаті чого будують криву хлоропоглинання води за 30 хв.

Наявність завислих у воді домішок як органічного походження, так і мінерального, значно знижує бактерицидний ефект хлорування. Їхня поверхня, яка сорбує на собі хлор, вилучає його з води. Крім того, бактерії, які знаходяться всередині згустків завислих речовин, меншою мірою піддаються впливу хлору. Знезараження насичених домішками вод вимагає збільшення доз хлору протягом тривалого проміжку часу. Тому гігієнічні та смакові якості води бувають знижені.

Добрі результати при знезараженні води, бактеріальне забруднення якої перевищує допустимі межі, дає хлорування підвищеними дозами з наступним *дехлоруванням води*. Збільшення бактерицидного ефекту невеликих доз хлору може бути досягнуто використанням комбінованих методів хлорування (додавання до хлорованої води перманганату калію і солей важких металів).

Хлор, як уже зазначалося, окиснює і руйнує органічні домішки води, в результаті чого знижується кольоровість води, зникають запахи, а також інші показники, які пов'язані з наявністю у воді органічних речовин. Руйнування при хлоруванні гумінових речовин сприяє поліпшенню процесів самоочищення. Але відомі випадки, коли хлорування призводило до утворення продуктів, що мають сильний запах. Особливо стійкими і неприємними є хлорфенольні запахи і присмаки. Вони виникають при хлоруванні води, забрудненої стічним водами, що містять феноли та інші ароматичні речовини.

Зазвичай хлорування сприяє також очищенню води від заліза, марганцю і деяких отруйних речовин. При хлоруванні води великими дозами відбувається перехід частини карбонатної твердості в некарбонатну

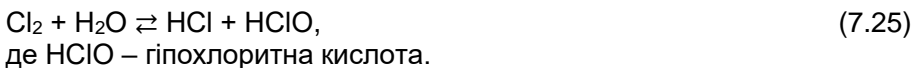


Таким чином, хлорування води, поряд із знезараженням, відіграє велику роль також як чинник, що сприяє поліпшенню процесів коагуляції, відстоювання і фільтрації.

Реагенти для хлорування води. Хлор є газом жовто-зеленого кольору з різким неприємним запахом. Отримують його шляхом електролізу розчину кухонної солі. Сухий хлор за низьких температур вступає у взаємодію з дуже малою кількістю речовин, але за наявності слідів вологи його активність різко зростає. Він безпосередньо сполучається з усіма металами і, окрім кисню, благородних газів, азоту і фтору, з усіма неметалами.

Газоподібний хлор добре розчинний у воді, розчинність його підвищується із зниженням температури і збільшенням тиску. Але за низьких температур утворюються гідрати хлору загального складу $\text{Cl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, які випадають в осад, і, таким чином, визначають граничну концентрацію хлору у воді. За насичення води хлором утворюється хлорна вода, яка має сильні окислювальні властивості.

Взаємодія хлору з водою (гідроліз хлору) при хлоруванні відбувається за рівнянням

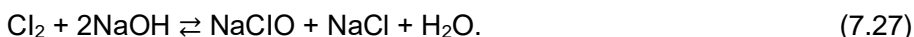


Ступінь гідролізу визначається активною реакцією середовища. За рН 5 активний хлор майже повністю знаходиться в розчині в молекулярній формі. В інтервалі рН 5-9,2 присутня гіпохлоритна кислота з деякими домішками гіпохлоритів. За рН 9,2 активний хлор знаходиться в розчині тільки у вигляді йонів ClO^- . Гідроліз хлору залежить також від тиску, температури, інтенсивності перемішування та інших чинників. Процес гідролізу хлору протікає приблизно за 2 хв.

Гіпохлоритна кислота (HClO) існує тільки в розчині. В сильно розведених розчинах вона не має кольору. Концентровані розчини мають жовтий колір і різкий запах. У нейтральному чи лужному середовищі на світлі відбувається фотохімічне розкладання гіпохлоритної кислоти з виділенням кисню (фотоліз)



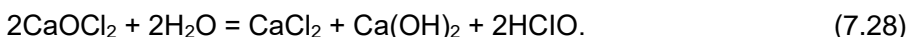
Гіпохлоритна кислота – сильний окисник, який робить безколірними лакмус та індиго. Солі гіпохлоритної кислоти – гіпохлорити – одержують при взаємодії хлору з холодним розчином лугу



Відбувається ця реакція або при пропусканні газоподібного хлору через розчин лугу, або ж при електролізі розчинів хлоридів лужних металів в умовах, які забезпечують перемішування продуктів електролізу.

Розчини солей гіпохлоритної кислоти є завжди гідролізованими. При взаємодії хлору з гашеним вапном отримують хлорне вапно. Окиснювальні властивості хлорного вапна цілком залежать від наявного в ньому аніона гіпохлоритної кислоти. Існуючі способи технічного виробництва хлорного вапна в заводських умовах забезпечують одержання її із вмістом активного хлору в межах 32-36 %.

Реакція розкладання у хлорного вапна водою протікає за рівнянням



Серед гіпохлоритів особливе місце посідає NaClO як вихідний продукт для отримання діоксиду хлору. Гіпохлорит натрію є сильним окисником. За рН 2 розкладання гіпохлориту натрію у воді протікає з утворенням ClO_2 і HCl .

Діоксид хлору (ClO_2) являє собою зеленувато-жовтий отруйний газ із запахом, значно більш інтенсивним, ніж запах хлору. Діоксид хлору легко розчиняється у воді, не гідролізуючись. ClO_2 має порівняно з хлором ту перевагу, що при обробці води, яка містить феноли, не виникає хлорфенольних запахів, оскільки фенол практично окиснюється ClO_2 до хінону та малеїнової кислоти, які в малих дозах не надають воді запаху і присмаку. Тому використання діоксиду хлору може бути рекомендовано для підвищення ефективності знезараження води і попередження виникнення специфічних запахів у воді.

Методи хлорування води. Хлорування води є заходом, який постійно здійснюється на комунальних водопроводах та станціях з очищення господарсько-побутових і деяких категорій промислових стічних вод. Крім

того, хлорування проводиться як короткочасний чи періодичний захід, необхідний для дезінфекції ділянок водопроводу, що вводяться в експлуатацію, фільтрів, резервуарів чистої води.

При виборі методу хлорування необхідно враховувати цільове призначення цього процесу, наявність забруднювальних речовин у воді, їх характер, специфіку споруд для очищення води. Виходячи з різних цілей хлорування, існуючі методи обробки води хлором та солями, які містять активний хлор, можна об'єднати у дві групи: *постхлорування* (завершальне) і *прехлорування* (попереднє) води.

Постхлорування – це процес знезараження води, який проводиться після всіх інших способів її обробки і є завершальним етапом очищення води. Постхлорування може здійснюватися як невеликими дозами (нормальне хлорування), так і підвищеними (перехлорування). Використовується воно і спільно з іншими речовинами для знешкодження мікроорганізмів (комбіноване хлорування).

Нормальне хлорування застосовується для знезараження води, яка відбирається в надійних у санітарному відношенні джерелах і має добрі фізико-хімічні показники. Дози хлору мають забезпечувати необхідний бактерицидний ефект без погіршення органолептичних показників якості води. Кількість залишкового хлору після 30-хвилинного контакту води з хлором допускається не вище 0,5 мг/дм³, оскільки за вищих концентрацій вода набуває специфічного запаху і присмаку.

Перехлорування використовується найчастіше в тих випадках, коли спостерігаються різкі коливання бактеріального забруднення води та коли нормальне хлорування не дає потрібного бактерицидного ефекту. Перехлорування усуває багато неприємних присмаків, запахів і в деяких випадках може використовуватися для очищення води від токсичних речовин.

Доза залишкового хлору при перехлоруванні звичайно встановлюється в межах 3-10 мг/дм³. Відомі випадки, коли перехлорування проводилося дуже високими дозами – до 100 мг/дм³ (*суперхлорування*). За великих доз хлору досягається швидкий ефект.

Дехлоруванням усувається залишок хлору, який перевищує допустиму у воді концентрацію. За невеликого надлишку хлор може бути усунуто аерацією, а за високих концентрацій залишкового хлору застосовуються хімічні методи. З них найпоширенішими є обробка води сірчаним ангідридом та активованим вугіллям.

Комбіновані методи хлорування, тобто обробка вода хлором разом з іншими бактерицидними препаратами (тіосульфатом, сульфітом натрію, біосульфітом натрію), можуть використовуватися для підсилення дії хлору чи фіксації його у воді на більш довгий строк. До комбінованих методів відносяться: *хлорування з мангануванням* (додається $KMnO_4$), *хлорсрібний та хлормідний способи* (у воду вводяться одночасно хлор та йони Ag і Cu), а також *хлорування з амонізацією* (уводиться аміак чи солі амонію). Комбіновані методи використовуються не лише для обробки великих об'ємів води на стаціонарних водопроводах, але і як індивідуальні засоби знезараження води.

Прехлорування води використовується як попередній засіб, який поліпшує деякі процеси очищення води (наприклад, коагуляцію і усунення заліза), а також як ефективний засіб знезараження деяких токсична речовин.

Прехлорування, як правило, здійснюється великими дозами хлору, але на відміну від перехлорування воно не вимагає наступного дехлорування води, оскільки надлишок хлору звичайно повністю усувається при подальших процесах її обробки. Надлишковий хлор витрачається на окиснення різноманітних домішок води, сорбується пластівцями коагулянту, окиснює організми, які розвиваються на поверхні і в товщі наповнювачів фільтрів.

Практичне застосування процесу хлорування води в основному зводиться до пре- та постхлорування. До кожного з цих процесів висуваються різні вимоги: попереднє хлорування проводять для того, щоб підготувати воду до наступних етапів очищення; від завершального хлорування вимагається забезпечення необхідної концентрації залишкового хлору у воді, яка гарантує санітарну якість води (хлор уводиться після фільтрів).

Застосування рідкого хлору є найширше вживаним методом знезараження води на середніх і великих водопровідних станціях. Хлор-газ розчиняють у малій кількості води у спеціальному змішувачі, отримуючи так звану *хлорну воду*, яку потім перемішують з оброблюваною водою. Включенням у схему регулювання аналізатора залишкового хлору можна автоматично підтримувати задану концентрацію хлору в очищеній воді. Перед подачею води у водопровідну мережу додається також аміак для консервації спроможної дії хлору у водопровідній мережі (так званий хлор-аміачний метод).

Знезараження питної води в Україні станом на 2019 р.:

- 90 % – рідким хлором;
- 10 % – гіпохлоритом натрію, діоксидом хлору, змішаними оксидантами.

Для забезпечення знезараження питної води на усіх водопровідних підприємствах («водоканалах») України потреба у рідкому хлорі складає щомісячно – 800 т, щорічно – близько 10 тис. т.

Починаючи з 2020 р. Київ почав зменшувати застосування рідкого хлору для знезараження води. На Дніпровській водопровідній станції було збудовано цех з виробництва діоксиду хлору (газоподібна речовина, яка легко розчиняється у воді).

7.5.2. Знезараження води озоном

Одним з ефективних методів знезараження води є її обробка озоном. Озон, як відомо, є алотропічною модифікацією кисню, і молекула його на відміну від молекули кисню (O_2) складається не з двох, а з трьох атомів (O_3).

Уперше озон було виявлено в 1785 р. голландським фізиком М. ван Марумом за характерним запахом (свіжості) і окисними властивостями, які набуває повітря після пропускання через нього електричних іскор. Характерний запах озону вже відчувається за його вмісту в повітрі навіть у співвідношенні 1/500000. Озон є вибуховим газом синюватого кольору з різким характерним запахом. Розчинність озону за температури $0\text{ }^\circ\text{C}$ у воді становить $0,394\text{ г/дм}^3$, тобто у 15 раз більша, ніж у кисню ($0,049\text{ г/дм}^3$).

Озон утворюється за зворотною реакцією



Молекула O_3 є нестійкою і самочинно перетворюється на O_2 з виділенням тепла. За невеликих концентрацій без сторонніх домішок озон

розкладається повільно, за великих – з вибухом. Нагрівання та контакт озону з найменшими кількостями органічних речовин, деяких металів чи їхніх оксидів різко прискорює його перетворення. І навпаки присутність значної кількості HNO_3 стабілізує озон, а у ємностях зі скла, з деяких видів пластмаси або з чистих металів озон за температури 78°C практично не розкладається. Озон є одним з найсильніших окисників, набагато сильнішим, ніж кисень. Він окиснює всі метали за виключенням золота і платинових, а також більшість інших елементів. Присутність озону у газовій суміші можна встановити за реакцією



Зазвичай кисень (O_2) в реакцію з KI не вступає.

Озон в атмосфері зумовлює характер поглинання сонячної радіації земною атмосферою, хоча і міститься він у надзвичайно малих кількостях. Так, товщина шару озону за нормальних умов тиску й температури в середньому для всієї Землі становить 2,5-3 мм (в екваторіальних областях близько 2 мм, а у високих широтах до 4 мм). Основна маса озону розташована у вигляді шару, який називається *озоносферою*, на висоті 10-50 км (максимум на висоті 20-25 км). Озон найсильніше поглинає радіацію на ділянці спектру з довжиною хвилі 2900 Å, тому ця досить активна у біологічно відношенні частина сонячної радіації не досягає земної поверхні. В результаті поглинання радіації температура у шарі озону сильно підвищується.

У промисловості озон отримують з повітря в *озонаторах* пропусканням тихого електричного розряду за низьких температур. Зріджується O_3 краще, ніж O_2 , і тому їх легко розділити.

Озонування води ґрунтується на властивості озону розкладатися у воді з утворенням атомарного кисню ($\text{O}_3 \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}$), який руйнує ферментні системи мікробних клітин, окиснює деякі сполуки, що надають воді неприємного запаху (наприклад, гумінові речовини).

Кількість озону, яка є необхідною для знезараження води, залежить від ступеня забруднення води і становить 1-6 мг/дм³ за контакту близько 8-10 хв. Кількість залишкового озону не повинна перевищувати 0,3-0,5 мг/дм³, оскільки більш висока доза надає воді специфічного запаху і викликає значну корозію водопровідних труб.

З позиції гігієни озонування є одним з найкращих способів знезараження води. Вода при цьому не збагачується додатковими домішками. Залишковий невикористаний озон через короткий проміжок часу розпадається і перетворюється на кисень. Нагадаємо, що перші дослідження з озонування дніпровської води у Києві було проведено 1908 р., а промислову озонаторну установку на дніпровському водозаборі було встановлено 1974 р. (див. розділ 11.1.).

Треба зазначити, що озонування води є відповідальним технологічним процесом, який вимагає великих витрат електроенергії, застосування складних приладів і висококваліфікованого технагляду, оскільки концентрований озон – отруйний газ. Це до певної міри є стримуючим чинником для його широкого застосування.

Озонування використовують також і для очищення повітря в приміщеннях для переробки і зберігання продуктів, які швидко псуються, інколи в місцях скупчення людей. Але в повітрі допустимі лише мікроконцентрації озону, оскільки він є надзвичайно отруйним, навіть більше, ніж чадний газ CO (гранична концентрація озону у повітрі 10^{-5} %).

7.5.3. Знезараження води йонами срібла

Срібло навіть у малих концентраціях має властивість знищувати мікроорганізми, що пояснюється властивістю його йонів руйнувати протоплазму мікроорганізмів. Теоретично механізм бактерицидної дії срібла пояснюється порушенням обміну речовин у клітинах бактерій внаслідок блокування активних груп (COOH та SN) в окремих ферментів.

Ступінь активності срібла тим більший, чим вища концентрація його йонів у розчині. Домішки, які містяться у воді, негативно впливають тільки в тому разі, якщо вони зв'язують йони срібла в малодисоційовані чи важкорозчинні сполуки, які випадають в осад або ж відновлюють їх до металу.

Збагачення води йонами срібла досягається кількома способами: методом контактування води з розвинутою поверхнею металу (посріблені кільця Рашига, пісок Краузе тощо), методом безпосереднього розчинення у воді препаратів срібла електролітичними способами.

Електролітичний метод, який ґрунтується на анодному розчиненні срібла, становить найбільшу практичну цінність. Цей метод забезпечує можливість швидкого отримання бажаних концентрацій срібла в розчині, дозволяє вести за допомогою електровимірювальних приладів точне дозування і регулювання процесу.

«Срібна вода», яка готується електролітичним розчиненням, має високі бактерицидні властивості і з успіхом може бути використана для очищення води від шкідливих мікроорганізмів, дезінфекції та консервування продуктів харчування, для лікувальних цілей тощо. Завдяки мізерним дозам срібла вона є зовсім не шкідливою.

Досліди показали, що за ефективністю дії срібної води на різні види бактерій останні розміщуються в такій послідовності: бактерії колі → бактерії Флекснера (дизентерія) → бактерії Еберга (черевний тиф) → стрептококи → стафілококи.

Інтерес до знезараження води електролітичними розчинами срібла в світі є значним. Багато зарубіжних фірм випускає йонатори різної продуктивності для знезараження води на водопроводах, у тих місцях, де використання хлору є не бажаним, але існує необхідність тривалого зберігання питної води (наприклад, на суднах).

7.5.3. Знезараження води йодом

З галогенів, окрім хлору, для знезараження води можна використовувати також йод і бром. Але в практиці водопостачання знайшло застосування лише йодування води.

Йодування у виробничих масштабах здійснюється на водному транспорті. Йодування має низку суттєвих переваг порівняно з хлоруванням:

- 1) менша тривалість контакту з водою;
- 2) більший бактерицидний ефект;

- 3) розширення діапазону бактерицидної дії;
- 4) йод не є елементом, чужим для людського організму;
- 5) концентрація йоду в обробленій воді нерідко не перевищує фонових значень вихідної води.

7.6. Безреагентні методи знезараження ВОДИ

Знезараження води ультрафіолетовим випромінюванням. Негативну дію світла на розвиток більшості бактерій було помічено давно. Але механізм дії світла довгий час залишався невідомим. За більш детального вивчення цього явища було встановлено, що бактерицидною дією характеризується в основному короткохвильова частина спектра. У кінці XIX ст. було встановлено бактерицидну дію ультрафіолетового випромінювання з довжиною хвиль від 2000 до 2950 Å (1 ангстрем дорівнює 10^{-8} см), причому максимально ефективним є випромінювання з довжиною хвиль близько 2600 Å. У наш час достатньо правильним поясненням бактерицидних властивостей ультрафіолетового випромінювання є те, що воно впливає на білкові молекули і ферменти цитоплазми клітин, а це викликає їхню загибель.

Знезараженню ультрафіолетовим випромінюванням краще за все піддається очищена прозора вода, забарвленість якої не перевищує 20 градусів, оскільки завислі та колоїдні частинки розсіюють світло і заважають проникненню ультрафіолетового випромінювання.

Джерелами ультрафіолетового випромінювання є ртутні лампи, виготовлені з кварцового скла (оскільки звичайне скло не пропускає ультрафіолетові промені). Під дією електричного струму ртутні пари дають яскраве зеленувато-біле світло, багате на ультрафіолетове випромінювання.

Існують два основні види апаратів для опромінення: апарати із зануреними і незануреними джерелами ультрафіолетового випромінювання. Апарати із зануреними джерелами відзначаються високим коефіцієнтом використання бактерицидної потужності випромінювання, але конструктивно вони є складними. Апарати з незануреними джерелами у конструктивному відношенні оформлені досить просто, але в них непродуктивно втрачається частина бактерицидної потужності внаслідок розсіювання променів, поглинання їх поверхнями частинок, що знаходяться у воді.

Знезараження ультрафіолетовим випромінюванням не вимагає додавання у воду хімічних реагентів, не змінює фізико-хімічних властивостей домішок і не впливає на смакові якості води. Але використання методу обмежується високою вартістю обробки води й відсутністю післядії. Короткочасність знезаражуючого ефекту виключає застосування методу, якщо існує небезпека повторного зараження води.

Знезараження води ультразвуковими хвилями. Ультразвуком називають механічні коливання, частота яких вища порога чутливості людського вуха, тобто більше 20 кГц. Велика інтенсивність коливань – одна з особливостей ультразвуку – зумовлює його фізико-хімічну та біологічну дію.

Єдиної теорії, яка пояснювала б досконало бактерицидну дію ультразвуку, немає. Найбільш вірогідною є гіпотеза, що пояснює дію

ультразвуку на бактерії у воді явищем кавітації, тобто утворенням у рідині порожнин та бульбашок, миттєве «закривання» яких підвищує тиск до десятків тисяч атмосфер.

Дослідження ультразвукових хвиль з метою використання їх в практиці на вітчизняних водопроводах не вийшло із стадії експериментів. За кордоном існують промислові установки.

Термічне знезараження води. Термічний метод знезараження застосовується для невеликих об'ємів води. Цим методом користуються в побутових умовах, в санаторіях, в лікарнях, на судах, у потягах. Знезараження досягається 5-10-хвилинним кип'ятінням.

Термічний метод знезараження води не знайшов застосування навіть на малих водопроводах через його високу вартість, пов'язану з великими витратами палива, та через малу продуктивність установок.

7.7. Ефективність різних методів знезараження води

Серед відомих окисних методів знезараження води найбільше практичне застосування отримало хлорування. В основному використовується рідкий хлор, але можуть застосовуватися і препарати, які містять активний хлор (хлорне вапно, гіпохлорити кальцію і натрію, хлораміни, діоксид хлору та ін.), а також активний хлор, отриманий методом електролізу на місці використання.

Основною особливістю хлору є його здатність консервувати оброблену воду протягом досить тривалих проміжків часу, а відносна доступність і дешевизна зумовили широке використання методу хлорування вже на початку ХХ ст. і до нашого часу.

Застосування в практиці водопідготовки інших окисників (озону, йоду, бром, перманганату калію, пероксиду водню та ін.), як основних реагентів, стримується їхнім дефіцитом, високою вартістю, відсутністю широких спеціальних досліджень, багаторічних спостережень за дією на організм людини продуктів їхньої взаємодії з неорганічними і органічними домішками природних вод. Так, застосування лише озонування недостатньо для надійного знезараження питної води через дуже малий період його післядії. Тому озонування ефективно застосовується для деструкції органічних, токсичних речовин та речовин, що важко окиснюються.

Обробка води йонами важких металів (наприклад, срібла) прийнятна для пристроїв незначної продуктивності. Обробка ультрафіолетовим випромінюванням також не забезпечує достатньої консервації великих обсягів води та їх супроводу у водопровідній мережі.

Наявність певних недоліків і технологічних труднощів у застосуванні цих методів поки що не дозволяє успішно конкурувати їм з методами хлорування. Їх використання можливе як проведення додаткових заходів, що посилюють чи коригують методи хлорування в особливих випадках.

Відомо низка комбінованих методів хлорування води: хлорування з амонізацією, хлорування з мангануванням, хлорсрібний метод та ін.

Хлорування з амонізацією рекомендується у таких випадках: за появи хлорфенольних запахів і присмаків; для економії хлору за високого хлоропоглинання води і відсутності запахів, присмаків і значного бактеріального забруднення; для консервації залишкового хлору у довгих водоводах і мережах з метою забезпечення санітарного режиму; для зменшення корозії сталевих водоводів; з метою зниження інтенсивності запаху і присмаку хлору, особливо відчутного в літній час; для попередження утворення токсичних речовин при хлоруванні води, що містить гумусові речовини.

Контрольні питання до розд. 7

- 1) *Що означає термін «водоочищення»?*
- 2) *Що означає термін «водопідготовка»?*
- 3) *Процеси, які використовуються для очищення природної води при водопостачанні поділяють на дві групи. Як називаються процеси, що належать до першої групи, як – до другої?*
- 4) *Назвати основні процеси коригування властивостей води.*
- 5) *Назвати основні процеси знезараження води.*
- 6) *Що таке реагентні та безреагентні методи підготовки води?*
- 7) *Що таке коагулянти, як вони застосовуються?*
- 8) *Що таке флокулянти?*
- 9) *Як відбувається освітлення води та усунення забарвленості?*
- 10) *Як відбувається усунення присмаків і запахів води?*
- 11) *Як відбувається пом'якшення води?*
- 12) *Що таке знесолення води?*
- 13) *Що таке опріснення води?*
- 14) *Які є методи опріснення води?*
- 15) *Як відбувається вилучення заліза?*
- 16) *Що таке фторування води?*
- 17) *В чому сенс процесу хлорування води?*
- 18) *Що таке хлоропоглинання води?*
- 19) *Які реагенти для хлорування води застосовуються?*
- 20) *Які інші види знезараження води, крім хлорування, відомі?*

8. СТИЧНІ ВОДИ ТА МЕТОДИ ЇХ ОЧИЩЕННЯ

8.1. Міські стічні води

Міські стічні води – це суміш господарсько-побутових, промислових, дощових (зливових, снігових) вод, а також стічної води від поливання і миття міських територій, що надходять у міську каналізацію.

Дощові води – найменш забруднена частина міських стічних вод, яка утворюється під час дощів, злив і танення снігу та містить забруднювальні речовини, що змиваються з території населеного пункту. *Переважаючими домішками є неорганічні речовини* – пісок, глина тощо. Патогенні мікроби в дощових водах, як правило, не зустрічаються.

Господарсько-побутові води – це води, які відводяться від житлових будинків, лазень, пралень, закладів харчування та інших об'єктів комунального господарства. Вони забруднені великою кількістю органічних і неорганічних домішок, бактеріальними компонентами, у них постійно присутні патогенні бактерії.

Порівняно з водами, які відводяться від житлових будинків, стічні води лазень і пралень мають більш високу величину рН, меншу концентрацію всіх інших хімічних і бактеріальних компонентів, що все ж не виключає їх небезпечності в санітарно-епідемічному відношенні.

Так, відомо, що кожна людина під час купання вносить у воду в середньому понад 3 млрд бактерій-метатрофів і близько 20 млн кишкових паличок. Із стічних вод лазень неодноразово виділяли патогенні мікроби – збудники дизентерії, черевного тифу тощо. Температура ж вод пральних комбінатів досить висока, тому патогенні мікроби, потрапляючи в них, зустрічають умови, близькі до термостатних і тому можуть гинути.

Промислові стічні води – це води, які утворюються від технологічних операцій на промислових підприємствах. Більш широким є поняття **«виробничі стічні води»** – це води, які утворюються в процесі виробництва і включають промислові та сільськогосподарські стічні води.

Залежно від ступеня забруднення промислові стічні води скидаються без очищення чи після очищення на локальних очисних спорудах у міську каналізацію. В останньому випадку вони стають компонентом міських стічних вод, наявність якого треба враховувати при очищенні.

Склад промислових стічних вод відрізняється надзвичайною різноманітністю. Так, в одних випадках у цих водах домінують тільки неорганічні домішки, в інших – органічні. Вони можуть містити компоненти, які сприяють розвитку бактерій і мікробів чи, навпаки, пригнічують їх життєдіяльність. У деяких виробничих ставках виявляються речовини, токсичні для людського організму.

За випускання промислових стічних вод безпосередньо у водойми завжди слід мати на увазі можливий вплив цих вод на процес бактеріального самоочищення від органічних домішок. Тому особливу увагу треба приділяти стічним водам підприємств, які виробляють різні антибіотичні речовини. Виявлено, наприклад, що стічні води, в яких є пеніцилін, впливають стимулююче на низку видів водоростей – зростає кількість клітин,

посилюється фотосинтез. У той самий час стічні води, які містять біоміцин, пригнічують життєдіяльність водоростей, знижується інтенсивність фотосинтезу, зменшується кількість клітин. На процес самоочищення значний вплив справляють токсичні речовини.

Як відзначалося раніше, **використовують два способи каналізації стічних вод.**

Перший – у міську каналізаційну мережу скидаються господарсько-побутові та промислові стічні води, спуск яких допускається в міську каналізацію, а дощові води збираються окремо і без очищення направляються в найближчу водойму. Ця система каналізації носить назву **роздільної**.

Другий – у міську каналізаційну мережу скидаються стічні води всіх видів. Ця система називається **загальносплавною** і з санітарно-епідемічних позицій має більш високий рівень, оскільки всі стічні води надходять на очисні споруди і є відсутнім скидання зливових вод без очищення у водойми.

За кількістю забруднювальних речовин промислові стічні води поділяються на три основні групи:

- 1) відносно чисті промислові стічні води;
- 2) малозабруднені промислові стічні води;
- 3) брудні промислові стічні води;

На більшості підприємств зустрічаються усі три типи стічних вод. Відносно чисті та малозабруднені води використовуються як оборотна вода, а також для розведення брудних вод за невеликої концентрації забруднювальних речовин у них. Брудні води, як правило, очищаються перед спуском їх у міську каналізаційну мережу.

Промислові стічні води навіть одного підприємства відрізняються великою різноманітністю забруднювальних речовин. *За складом забруднювальних речовин їх раціонально звести до трьох категорій:*

- перша охоплює стічні води із забруднювальними речовинами в основному мінерального походження;
- друга – стічні води із забруднювальними речовинами переважно органічного походження;
- третя – із забруднювальними речовинами мінерального і органічного походження.

Домішки стічних вод можуть бути рідкими, твердими й газоподібними речовинами і перебувати у розчиненому, завислому й колоїдному стані.

Багато речовин, які забруднюють стічні води, самі по собі є цінними продуктами (фенол, жири, бензин, волокно, вовна тощо). Вилучення та утилізація таких домішок призводить до зменшення ступеня забруднення стічних вод, що полегшує і робить дешевшим подальше очищення. У зв'язку з цим методи очищення промислових стічних вод може бути розділено на **деструктивні та регенеративні**.

Деструктивні передбачають руйнування домішок чи зменшення їх концентрації, **регенеративні** – мають за мету виділення із стічних вод домішок для використання їх як сировини чи напівфабрикату. Застосуванням регенеративного методу звичайно не досягається відповідний ступінь очищення, тому стічні води в цьому разі ще доочищаються деструктивно.

Недостатнє очищення стічних вод нерідко призводить до утворення шламу, який негативно виливає на життя водойм. Нерозчинні речовини стічної

рідини можуть викликати утворення донних відкладів. Якщо речовини, що осідають, мають органічне походження, то виділення газів при розкладанні мулу викликає часткове чи повне вилучення кисню, необхідного для процесів самоочищення, що може викликати загибель риби. Крім того, деякі органічні речовини сприяють появі та розвитку у водоймах різних грибів, що знижує якість води.

Тверді відходи – ще один вид міських відходів, які інколи можуть усуватися загальносплавним шляхом. Тверді відходи – це сміття, відходи підприємств громадського харчування, торговельних підприємств, вміст контейнерів для сміття.

Вилучення міського сміття може відбуватися таким чином:

- 1) сплав сміття у каналізацію; цей метод рідко використовується, він ґрунтується на подрібненні сміття на спеціальних установках, після чого воно може скидатися у міський колектор;
- 2) вивіз твердих відходів (сміття) у місця їх знезараження та утилізації;
- 3) знезараження твердих відходів на місці у біотермічних камерах.

У більшості міст використовується тільки другий метод – вивіз твердих відходів за міську смуту, хоча із санітарно-епідеміологічного погляду він мало прийнятний. При виборі способу знезараження відходів варто враховувати, що патогенні мікроби, які знаходяться в смітті харчових відходів, можуть жити досить довго (табл. 8.1).

Таблиця 8.1. Термін виживання збудників деяких захворювань у відходах

Збудники	Характер відходів	Термін виживання
Холери	Фекалії	20 днів - 7 місяців
	Вигрібні ями	7 - 15 днів
Черевного тифу	Фекалії	30-100 днів
	Вигрібні ями	30 - 150 днів
	Кімнатне сміття	42 дні
Паратифів	Кімнатне сміття	107 днів
Дизентерії	Кімнатне сміття	24 дні
Туберкульозу	Мокрота	4 - 6,5 місяці

8.2. Чинники, що впливають на склад міських стічних вод

Міські стічні води характеризуються різноманітним і несталим складом. Стічні води одного населеного пункту можуть бути дещо не схожі на стічні води іншого. Чинники, які впливають на склад міських стічних вод, розглянемо нижче.

Водопровідна вода. Водопровідна вода населеного пункту – це фон стічних вод, який до певної міри визначає не тільки якість міських стічних вод, але й їх подальше очищення. Це зумовлено низкою причин і перш за все кількістю водопровідної води, яка подається населенню. Від кількості цієї води залежить концентрація тих забруднювальних речовин, які скидаються у міську каналізацію. Чим значнішим є об'єм води, тим меншою є концентрація органічних забруднювальних речовин і тим легше протікають біохімічні

процеси при їх розкладанні. Водночас, більший об'єм стічних вод вимагає відповідного збільшення потужності очисних споруд.

Температура. На температуру міських стічних вод, від якої також залежить інтенсивність біохімічних процесів, помітний вплив справляє температура водопровідної води. Остання залежить не тільки від кліматичних умов, пори року, але і від виду джерела водопостачання (відкрита водойма, підземні води).

Розчинений кисень. Чим вища концентрація кисню у водопровідній воді, тим інтенсивніший розпад органічних речовин у міських стічних водах. Цей процес починається ще в міському колекторі, що дещо полегшує роботу станцій інтенсивного біологічного очищення. У даному випадку велике значення має також характер джерела водопостачання. Так, поверхневі води зазвичай містять у тій чи іншій мірі кисень, а в підземних водах він практично відсутній.

Вміст NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} . Ці солі в анаеробних умовах відновлюються під дією відповідних мікробів: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$, а $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$. Вивільняється кисень, який позитивно впливає на окисно-відновний потенціал стічних вод.

Технічна вода. Деякі промислові підприємства, які мають вихід у міську каналізацію, часто використовують для виробничих цілей не воду з міського водопроводу, а технічну воду. Вона є очищеною лише до тієї міри, яка є необхідною для потреб виробничого процесу. Якщо стічні води підприємств скидаються у міську каналізацію, то якість технічної води впливає на склад міських стічних вод і на процеси їх очищення.

Довжина міського колектора теж впливає на склад стічних вод і подальші процеси очищення. *Міський колектор* – це своєрідна очисна споруда. Стічна рідина, протікаючи по ньому, змішується, ступінь дисперсності її домішок збільшується, ряд органічних речовин гідролізується тощо. Тому, чим довшим є колектор, тим ефективнішою є ця початкова стадія очищення міських стічних вод. У тих випадках, коли довжина каналізації є мінімальною – близько десятків чи сотень метрів (сільська), виникають додаткові труднощі через те, що окремі компоненти рідини не диспергують, а органічні речовини не проходять навіть і початкової стадії гідролізу.

Склад промислових стічних вод. У деяких промислових центрах більшу частину стічних вод міського колектора становлять промислові стічні води. Природно, що вони суттєво впливають на склад міських стічних вод, ефективність очищення яких значною мірою залежить від наявності в промислових стічних водах інгібуючих речовин (речовин, які порушують життєдіяльність мікробів).

Харчовий раціон населення. Динаміка життя міста, чисельність його населення, народжуваність, смертність, характер харчування, побут – усе це знаходить своє відображення у складі міських стічних вод.

Дослідження показали, що в середньому за добу людина виділяє 90 г твердих і 1200 г рідких відходів. Ця кількість відходів потім розводиться водопровідною водою, яку людина використовує для різних потреб. Питома величина використання води змінюється у великих межах: від декількох десятків літрів у невеликих населених пунктах до майже тисячі літрів у великих містах. Тому дані аналізу господарсько-побутових вод різних населених пунктів відрізняються. Якщо помножити концентрацію певної

речовини, яку визначили у господарсько-побутових стічних водах, на об'єм водокористування, то отримаємо кількість речовини, яку виділяє за добу одна людина.

Приклад. Нехай концентрація фосфору в стічних водах становить 20 мг/дм³, одна людина використовує 100 дм³ води на добу.

$20 \text{ мг/ дм}^3 \cdot 100 \text{ дм}^3 = 2 \text{ г}$ фосфору виділяє один мешканець міста за добу.

Основні завдання аналізу міських стічних вод такі:

1) визначення кількості та складу забруднювальних речовин (за хімічними та бактеріологічними показниками), на основі яких може бути обрано методи очищення й конструкцій біологічних очисних споруд;

2) визначення наявності та концентрації цінних домішок, які доцільно вилучати із стічних вод у процесі очищення;

3) встановлення виліву стічної рідини на матеріали, з якими їй доведеться контактувати;

4) виявлення наявності токсичних домішок;

5) об'єктивна оцінка ефективності роботи очисних споруд.

На відміну від аналізу питної води при дослідженні стічних вод основна увага приділяється не окремим компонентам, а груповим, які характеризують ступінь розкладання органічних речовин.

При аналізі стічних вод велике значення має час взяття проби. З урахуванням нерівномірності надходження стічних вод, різниці їхнього складу в часі для аналізу повинні відбиратися середньодобові проби. Для бактеріального аналізу проби міських стічних вод необхідно одразу ж доставляти до лабораторії та починати їх дослідження, тому що з часом у них починається швидке розмноження бактерій і дійсна картина якості буде порушена.

Цей процес організовано таким чином. Визначається ступінь бактеріального забруднення протягом кожної години, доби; потім розраховується середньодобова концентрація мікробів; після цього підбирається такий час доби, коли бактеріальне забруднення приблизно відповідає величині середньодобової кількості мікробів. У подальшому бактеріальний аналіз завжди виконують у цю саму годину, виходячи з того, що отримані показники будуть приблизно відповідати середньому бактеріальному забрудненню досліджуваної стічної рідини.

Радіоактивні домішки міських стічних вод доцільно визначити не тільки в середньодобовій пробі, але й епізодично у разових і погодинних пробах. Крім того, існують радіоактивні ізотопи з коротким періодом розпаду, які хоча і не є небезпечними для водойм, але можуть викликати епізодичне опромінення персоналу, який працює на очисних спорудах.

Аналітичні дослідження може бути умовно поділено на такі види аналізів:

1) *фізичний та фізико-хімічний* – температура, органолептичні показники, осад, завислі речовини, колоїдно-розчинні, сухий залишок, рН;

2) *хімічний* – окиснюваність, біохімічне споживання кисню (БСК), сполуки азоту, сірководень, хлориди, фосфати;

3) *бактеріальний* – загальна кількість бактерій-метатрофів характеризує наявність бактерій гниття. Концентрація мікробів групи кишкової

палички – важливіший бактеріальний показник, який характеризує санітарну небезпечність води. Відмирання мікробів групи кишкової палички на окремих етапах очищення стічних вод свідчить про відмирання патогенних мікробів, які є менш стійкими до умов зовнішнього середовища, ніж бактерії кишкової палички.

4) *радіометричний* – за звичайних умов та відсутності аварій радіоактивність міських стічних вод не перевищує величину, яку встановлено санітарними правилами. При цьому слід мати на увазі, що сумарна радіоактивність господарсько-побутових стічних вод (навіть без будь-яких домішок промислових стічних вод) зазвичай перевищує радіоактивність питних вод за рахунок ^{40}K , який виділяється людським організмом з фекаліями і сечовиною.

Мінливість складу стічних вод. Побутовий устрій міста також може бути встановлено за коливаннями концентрацій таких показників, як окиснюваність, присутність хлоридів, азоту амонійних солей тощо. Звичайно у містах протягом доби виділяються три найбільш значні піки концентрацій: уранішній (перед роботою); денний (відповідає обідній перерві); вечірній (коли люди готуються до сну). При цьому вранішній пік є гострим, оскільки він короткочасний, денний також є дещо загостреним, а вечірній – розтягнутим. Майже у всіх містах сумарна добова концентрація основних компонентів стічних вод у будні дні є звичайно більшою, ніж у вихідні.

Якщо розглядати піки протягом року, то взимку концентрації більші, оскільки величина використання води менша, ніж влітку, тому менше розведення.

Для попередження й усунення забруднення стічними водами водних об'єктів Міністерством охорони здоров'я затверджено загальні вимоги до складу і властивостей води водойм, які використовуються для різних цілей. Дотримання цих вимог, які викладено в «Правилах охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» [63] може бути гарантовано шляхом використання різних технологічних і санітарно-технічних заходів: утилізації стічних вод промислових підприємств, повторного їх використання на самому підприємстві, вилучення цінних речовин із стічних вод перед спуском їх у водойми тощо.

Основними методами обробки промислових стічних вод є: усереднення концентрації, механічні методи (затримання нерозчинних великих частинок на ситах, ґратах, фільтрах, відстоювання), фізико-хімічні методи (кристалізація, випарювання, евапорація, екстракція, йонний обмін, сорбція, аерація), хімічні методи (нейтралізація, коагуляція) та біологічні методи.

8.3. Механічні методи очищення

Стічні води нерідко можуть різко відрізнитися за своїм складом, кількістю й температурою. У деяких випадках великі концентрації забруднювальних речовин стічних вод, виявляються токсичними для водойми чи руйнують труби каналізації. Водночас малі концентрації цих забруднювальних речовин є нешкідливими для водойм і безпечними для каналізаційної мережі.

Усереднення концентрації забруднювальних речовин дозволяє поліпшити процес очищення, а в окремих випадках навіть обійтися без спеціальних споруд для очищення стічних вод. Вирівнювання складу стічних вод відбувається в спеціальних спорудах-усереднювачах (ставки-усереднювачі, резервуари-усереднювачі), де змішуються промислові води з різними концентраціями забруднювальних речовин.

Ефективність змішування у ставках-усереднювачах, як правило, недостатньо висока: і залежить від природних умов (переміщення потоку води, вітрових течій, дощу, змін температури).

Усереднення стічних вод у резервуарах-усереднювачах (зазвичай невеликі ємності) відбувається за рахунок примусового перемішування стічних вод з водою резервуарів. Це досягається шляхом обладнання системи перетинок, які збільшують кількість струменів у потоці, установкою механічних змішувачів.

Необхідні ємності та розміри усереднювачів визначаються на основі даних про коливання концентрації забруднювальних речовин у стічних водах і потрібного ступеня концентрації. У разі достатньої циклічності зміни складу стічних вод розрахунки значно спрощуються. Середня концентрація стічних вод визначається за формулою, мг/дм³:

$$C_{\text{сер}} = (g_1 C_1 + g_2 C_2 + \dots + g_n C_n) / Q, \quad (8.1)$$

де g_1, g_2, g_n – погодинні витрати в межах одного циклу, м³/с; C_1, C_2, C_n – концентрації забруднювальних речовин у погодинних витратах стічних вод, мг/дм³; Q – витрата стічних вод за цикл, м³/с.

За відсутності вираженої закономірності коливання складу стічних вод розрахунок слід вести за найбільш несприятливий період зміни концентрації, тривалість якого не повинна перевищувати 24 год.

Грати, піскоуловлювачі, сита – забезпечують попереднє очищення стічних вод.

Грати використовуються для затримання найбільших плаваючих відходів (вовна, обрізки дерева) – рис. 8.1, які можуть перешкодити відокремленню шламу та його обробці, утруднити перекачування стічних вод.



Рис. 8.1. Затримані на ґратах предмети із стічних вод

Піскоуловлювачі призначено для вивільнення від важких завислих мінеральних речовин кварцового піску, сажі, наждаку – рис. 8.2. Піскоуловлювачі відокремлюють пісок та гравій від більш легких осадів. Це дуже важливо, оскільки пісок забиває насоси та трубопроводи, збільшує загальну масу органічного осаду мінеральним баластом, утруднює його вилучення з відстійників.

Роль сит зводиться до відокремлення на місці утворення стічних вод дрібних завислих речовин, які можуть бути повторно використані та вилучені. Тут відбувається попереднє очищення стічних вод.

Фільтри використовуються в основному для відокремлення високодисперсних нерозчинних забруднювальних речовин. Основною метою їх застосування є вилучення волокнистих матеріалів із стічних вод текстильної, паперової та целюлозної промисловості. Фільтри працюють за принципом сітчастих барабанів, робоче полотно яких – це повстяна стрічка, яка рухається разом з ними. Використовуються також фільтри з коксу, кварцового піску, шлаку тощо, а також металевих сіток і різних тканин. Фільтри встановлюються після відстійників.

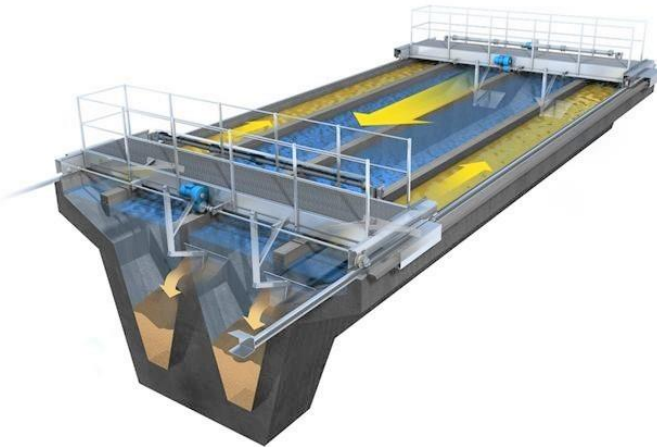


Рис. 8.2. Схема роботи піскоуловлювачів

Відстійники. У грубо дисперсному стані в стічних водах знаходяться найрізноманітніші речовини (вугільний пил, волокно деревини, жири, нафта). Відповідно до питомої ваги їх можна поділити на дві групи: речовини, які спливають (питома вага менше 1), та ті, які тонуть (питома вага більше 1). Вилучення першої групи речовин відбувається в нафтоуловлювачах, жируловлювачах, другої – із стічної рідини у результаті осадження у відстійниках (рис. 8.3).

Флотаційні установки використовуються у випадках, коли нерозчинні речовини в стічній рідині практично не відстоюються. Ці речовини зкаламучуються у воді, приєднуються до повітряних бульбашок і виносяться ними на поверхню води, де утворюють пінистий шар, який і вилучається. Флотація надає можливість повертати у виробництво цінні речовини. При цьому у воду додають спеціальні речовини-піноутворювачі, які знижують

поверхневий натяг води. Тим самим це сприяє сильному примиканню бульбашок повітря до завислих домішок.



Рис. 8.3. Радіальний відстійник стічних вод

8.4. Біологічні методи очищення

Процес самоочищення водних об'єктів, які забруднюються, у природних умовах відбувається повільно. Виключенням з цього є гірські річки, в яких швидкість течії є великою, що сприяє аерації води.

Деяко швидше, ніж у природних умовах, очищаються стічні води на спорудах, які відтворюють хід процесу самоочищення в ґрунтових умовах чи водному середовищі – полях зрошення, полях фільтрації, біологічних ставках і особливо контактних фільтрах, крапельних біофільтрах, перколяторах, аеротенках тощо (табл. 8.2).

З табл. 8.2 видно, що показники окисної здатності на спорудах так званого біологічного очищення значно вищі, ніж на спорудах природного біологічного очищення.

Інтенсифікація процесів біологічного очищення призводить не тільки до збільшення їхньої окисної здатності, але і до значного зменшення площі, яку займають ці споруди. Так, за об'ємів стічних вод 5000 м³/добу площа, яку займають поля зрошення, становить 150-200 га, поля фільтрації – 30-50 га, біологічні фільтри – 2-3 га, аеротенки – 1 га.

Незначну площу останніх двох споруд може бути ще зменшено за збільшення подачі кисню і створення певних умов для працюючих специфічних біоценозів.

Міські стічні води теоретично і практично можна очищати до якості чистої річкової води. Інколи суттєво утруднюється процес біологічного очищення через надходження в стічну рідину синтетичних миючих засобів, які широко використовуються населенням. Але тільки через це забороняти їх використання недоцільно. Треба виробляти такі миючі засоби, які задовольняли побутові вимоги й суттєво не порушували процес біологічного очищення.

Таблиця 8.2. Показники окисної здатності споруд біологічного очищення стічних вод

Види очисних споруд	Кількість кисню, г із 1 м ³ споруд за добу
Споруди природного біологічного очищення	
Поля зрошення	0,5-1,0
Поля фільтрації	2,0-36,0
Біологічні ставки	12,5
Споруди штучного біологічного очищення	
Контактні фільтри	72
Перколяторні фільтри	100
Аеротенки	1000
Аерофільтри	1000
Аерокоагулятори	4500

Біологічні методи очищення стічних вод полягають у розкладанні та мінералізації аеробним чи анаеробним шляхом колоїдних і розчинених органічних речовин міських стічних вод, які не можуть бути вилучені механічним шляхом. Найкращою умовою біологічного очищення стічних вод було б повне відокремлення мінеральних сполук від органічних. На жаль, це технічно не можливо. Тому на практиці обмежуються відокремленням великих за розмірами домішок міських стічних вод на ґратах, великодисперсних домішок неорганічного походження – піскоуловлювачах і основної кількості завислих речовин – у відстійниках. Після цього стічна рідина надходить на споруди біологічного очищення. Тверда фаза органічних речовин розкладається анаеробним шляхом, а рідина – аеробним.

До споруд системи біологічного очищення стічних вод у природних умовах належать поля зрошення, поля фільтрації і біологічні ставки. До штучних – споруди для анаеробного розкладання – септики, двох'ярусні відстійники, метантенки і споруди для аеробного розкладання – біологічні фільтри, аеротенки. При очищенні міських стічних вод використовують спочатку механічне очищення, а потім біологічне.

8.5. Фізико-хімічні та хімічні методи очищення

Кристалізація. Метод ґрунтується на використанні залежності розчинності речовин від температури. За зміни температури можна отримати перенасичені розчини, з яких випадають кристали речовин. Цей метод використовується для виділення з рідини кристалів домішок в економічному відношенні цей метод придатний лише для очищення невеликих кількостей концентрованих стічних вод.

Процес кристалізації може бути прискорено за рахунок перемішування і охолодження стічної рідини. Кристалізація здійснюється в кристалізаторах періодичної дії з натуральним і штучним охолодженням, у кристалізаторах безперервної дії та у випарниках.

Евапорація (відгонка з водяною парою). Очищення стічних вод шляхом евапорації полягає у відгонці летких з водяною парою забруднювальних органічних речовин, наприклад, фенолів. Евапорація

відбувається або в апаратах періодичної дії, або ж в апаратах безперервної дії (скруберах). Стічна рідина протікає через колонку з насадкою назустріч парі, нагріваючись до 100 °С. При цьому, леткі домішки частково переходять у пару, розподіляючись між нею і водою згідно з рівнянням

$$K = C_p / C_v \quad (8.2)$$

де C_p – концентрація речовини в парі, г/дм³ конденсату; C_v – концентрація речовини у воді в момент рівноваги, г/дм³; K – коефіцієнт розподілу.

Пара, яка пройшла в евапораційну колонку, надходить до скрубера, де звільняється від захоплених забруднювальних речовин.

Екстракція. Екстракційний метод очищення полягає в обробці стічних вод певним розчинником, що не змішується з водою (екстрагентом), в якому забруднювальні домішки достатньо добре розчинні. Метод ґрунтується на законі розподілу.

Домішки, які усуваються в результаті екстракційного очищення, як правило, є органічними речовинами (анілін, фенол, оцтова кислота), оскільки в основному лише вони краще розчиняються в екстрагентах, ніж у воді. Екстрагування мінеральних домішок стічних вод здійснюється у порівняно рідкісних випадках.

Як екстрагенти частіше використовуються органічні розчинники (бензол, чотирхлористий вуглець, мінеральні масла тощо).

Аерація забезпечує або ж десорбцію розчинених летких домішок (перехід у газову фазу), або ж окиснення домішок і переведення їх у стан, який є сприятливим для вилучення з води.

Процес дегазації стічних вод підпорядковано тим самим законам, що й дегазіція природної води, яка використовується для питних цілей. Але в стічних водах, як у більш складних системах, ніж природні води, процес дегазації може ускладнюватися низкою чинників; найважливіші серед них – наявність поверхневих плівок (нафтові, масляні) і домішок, що адсорбують газу.

Сорбція. Процеси сорбції, основні закономірності яких розглянуто раніше, знаходять застосування і при очищенні промислових стічних вод. При цьому, розрізняють сорбцію в статичних умовах, яка здійснюється введенням подрібненого сорбенту у стічну рідину. Є також сорбція в динамічних умовах, яка здійснюється фільтруванням води через шар сорбенту (вугілля, торф, каолін, стружка тощо).

Нейтралізація є важливим хімічним способом загального процесу регулювання величин рН. Її завдання – доведення реакції стічної рідини до нейтральної (рН 7). Для нейтралізації кислих вод використовують як розчинні, так і слабо розчинні у воді реагенти. До перших відносяться: вапно, їдкий натр, сода; до других – оксид та гідроксид магнію, карбонати кальцію та магнію.

Коагуляція. У практиці обробки стічних вод коагуляція використовується для прискорення процесу усунення колоїдно-розчинних домішок. Сам процес вже раніше розглядався.

Контрольні питання до розд. 8

- 1) Що таке міські стічні води?
- 2) Що таке дощові стічні води?
- 3) Що таке промислові стічні води?
- 4) Що таке господарсько-побутові стічні води?
- 5) Які чинники впливають на склад міських стічних вод?
- 6) В чому суть мінливості складу стічних вод протягом доби, протягом року?
- 7) В чому суть механічних методів очищення стічних вод?
- 8) Назвати основні пристрої, які використовуються при механічних методах очищення стічних вод?
- 9) В чому суть біологічних методів очищення стічних вод?
- 10) Які споруди належать до системи біологічного очищення стічних вод?
- 11) В чому суть фізико-хімічних та хімічних методів очищення стічних вод?
- 12) Які процеси застосовуються при фізико-хімічних та хімічних методах очищення стічних вод?

9. БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ НА ОЧИСНИХ СПОРУДАХ СТІЧНИХ ВОД

9.1. Окисно-відновні процеси у стічних водах

Міські стічні води є сприятливим середовищем для життєдіяльності різних груп мікроорганізмів, тому що в них знаходяться всі необхідні поживні речовини – білки, жири, вуглеводи – і численні неорганічні сполуки. Для нормальної життєдіяльності клітини необхідні такі елементи: N, Al, Br, V, H, Fe, I, K, Co, O, Bi, Mg, Mn, Cu, S, P, C, F, Zn. Усі вони є в міських стічних водах.

Величезна кількість мікробів у міських стічних водах зумовлює постійне розкладання різних компонентів цих вод. Відповідно, в стічних водах залишаються сполуки з невеликим енергетичним запасом. У результаті життєдіяльності мікробів в стічну рідину виділяються водень та інші сполуки. Якщо водень не вилучати із стічної рідини, то реакція розкладання закінчиться сама. Але в стічних водах є акцептор (приєднувач) водню – кисень, джерелом надходження якого може бути дифузія його з атмосфери, фотосинтетична діяльність водоростей і вищої водної рослинності (біологічні фільтри, біологічні ставки), а також розкладання нітратів, нітритів і сульфатів. У результаті реакції кисню з воднем утворюється перекис водню, який в свою чергу відновлюється до води.

Процеси бактеріальної діяльності безперервно змінюють окисно-відновний потенціал стічних вод. При відновних процесах на анаеробних очисних спорудах окисно-відновний потенціал падає, досягаючи від'ємних величин. На аеробних очисних спорудах, коли кількість бактерій значно зменшується, відбувається підвищення окисного потенціалу, і він досягає додатніх величин. Важливо знати, що поза бактеріальною життєдіяльністю, наприклад, у тих водах, де вона є повністю пригніченою, окисно-відновний потенціал стічних вод не змінюється. На очисних спорудах окисник, як правило, уводиться із зовнішнього середовища. Таким окисником є кисень, що не виключає можливості окиснення одних компонентів стічних вод за рахунок інших.

За достатньої концентрації розчиненого кисню органічні речовини мінімально окисненого стану переходять у максимально окиснений. В результаті цього процесу органічні речовини, які містять вуглець, перетворюються на вуглекислоту і воду; які містять сірку – на сульфати, які містять азот – на нітрати.

Окиснюються не тільки органічні компоненти, але і неорганічні. Так, відбувається окиснення солей закисного заліза в окисне, йонів двовалентного марганцю в діоксид марганцю тощо. У цьому напрямку процеси протікають за наявності в стічній рідині розчиненого кисню. Активними учасниками процесів є мікроби. Це аеробні біохімічні процеси.

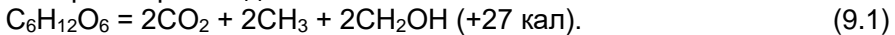
За відсутності кисню в стічній рідині окиснення одних компонентів відбувається за рахунок інших. При цьому частково окиснені речовини окиснюються далі; речовини слабо відновлені продовжують відновлюватися.

Речовини, які містять вуглець органічного походження, окиснюються до CO_2 , а відновлюються до CH_4 . Це анаеробні біохімічні процеси.

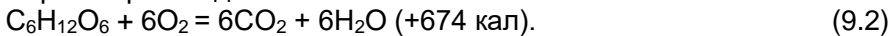
Аеробні біохімічні процеси відбуваються в міських стічних водах в певній послідовності залежно від величини окиснюваності компонентів. Так, речовини, які містять вуглець, мають нижчий ступінь окиснюваності з солями амонію. Тому при аеробному процесі спочатку окиснюються органічні речовини, які містять вуглець, до вуглекислоти і води, а лише потім починається окиснення солей амонію в нітрити й нітрати.

Анаеробні біохімічні процеси використовуються для переробки твердої фази міських стічних вод; для цих процесів характерним є зброджування за дуже високої концентрації органічної речовини. Загальна спрямованість біохімічних процесів полягає в розкладанні органічних речовин, які містять вуглець, з утворенням жирних кислот і з наступним розкладанням їх на водень, вуглекислоту, метан та інші сполуки. Швидкість розкладання органічних речовин в анаеробних умовах є значно меншою, ніж в аеробних. Це видно з прикладу: при розкладанні однієї молекули глюкози в анаеробних і аеробних умовах реакції протікають з різним термічним ефектом.

Анаеробне розкладання



Аеробне розкладання



9.2. Очисні споруди з аеробним розкладанням

На біологічних фільтрах забруднена вода на початку експлуатації споруди освітлюється, і тільки через деякий час, коли відбувається обростання частинок ґрунту біологічною плівкою в результаті адсорбції бактерій із стічної води, починаються процеси біохімічного окиснення органічної речовини. Для успішності процесу очищення необхідна добра аерація.

Біофільтри являють собою споруди, заповнені великозернистим матеріалом, що не набрякає, поверхня якого зрошується стічною рідиною. Зрошення виконується періодично (через 5-15 хв). Вода, яка пройшла через біофільтр, витікає через отвори (дренаж) і надходить на днище, з якого стікає у відповідні лотки. Завантажують фільтри щебінкою, шлаком, галькою. Ці матеріали повинні мати достатню пористість, оскільки вона сприяє хорошій аерації біофільтра і максимальному контакту стічної води з біоплівкою. Аерація фільтрів може бути природною і штучною. Використання штучної аерації дозволяє значно інтенсифікувати роботу біофільтра (аерофільтри).

На рис. 9.1 наведено схему роботи біофільтра з очищення стічних вод.

Залежно від концентрації забруднювальних речовин і необхідного ступеня очищення стічних вод, процес може здійснюватися за одноступінчастою чи двоступінчастою схемою. Одноступінчаста схема: первинний відстійник – біофільтр – вторинний відстійник. Двоступінчаста схема: первинний відстійник – біофільтр першого ступеня – вторинний відстійник – біофільтр другого ступеня – третинний відстійник.

Двоступінчасті біофільтри влаштовуються тоді, коли необхідне повне біологічне очищення. Але замість застосування двоступінчастих фільтрів для здійснення повної біологічного очищення можна збільшити висоту шару завантаження. Існують біофільтри баштові висотою 8–15 м, які може бути використано для очищення великих об'ємів стічних вод (до 50 000 м³/добу).

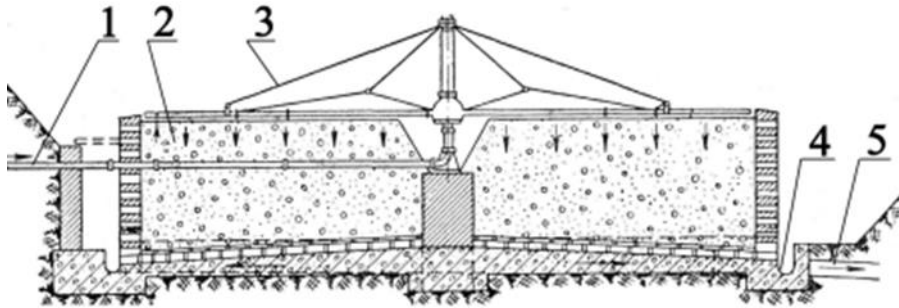


Рис. 9.1. Круглий біофільтр з цегляними стінками: 1 – труба, яка підводить стічну рідину; 2 – матеріал для фільтрування; 3 – водорозподільник, який обертається; 4 – лоток для відведення стічної рідини; 5 – труба для відведення стічної рідини

Ефективність роботи біофільтра залежить від кількості поданого повітря, використання якого в свою чергу залежить від пористості заповнювача – за її збільшення створюються кращі умови для забезпечення біоплівки повітрям.

Використання біофільтрів значною мірою залежить від кліматичних умов. Вони погано працюють за низької температури і тому вимагають утеплення. Різка зміна температурних умов, до яких адаптувалися біоценози, наприклад, весною чи восени, призводить до величезного виносу біологічної плівки з тіла біофільтра. Тому, порівняно з аеротенками біологічні фільтри знаходяться у більшій залежності від кліматичних умов. Біологічні фільтри відкритого типу будують лише в місцевостях з теплим і помірним кліматом. За значної продуктивності рекомендується утеплювати біофільтри за середньорічної температури менше 3 °С, а якщо продуктивність не висока (500 м³/добу), утеплення проводять за середньорічної температури 6 °С.

На характер біологічного населення, його життєдіяльність суттєвий вплив справляє спосіб розподілу на поверхні фільтра стічних вод. Дуже широко використовуються біофільтри, які мають розбризкувачі-спринклери. За цієї системи зрошувана стічними водами поверхня біофільтра становить 80-90 %. До складу населення біофільтра входять: водорості, найпростіші, черв'яки, комахи, бактерії.

Водорості виконують дві функції. Перша – утворення кисню в процесі фотосинтезу; друга – виділення фітонцидів у навколишнє середовище. Біофільтр заселено всіма основними групами водоростей. Сумарна кількість зелених водоростей досягає 226-109 клітин на 1 м³ шлаку; діатомових – 24–109 клітин в 1 м³.

Найпростіші виконують фагоцитарну функцію, що веде до безпосереднього зменшення бактеріальних клітин та інтенсифікації мікробіологічних процесів. Кількість найпростіших у тілі біофільтра становить 66-109 на 1 м³ шлаку.

Черв'яки виконують дві основні функції: а) розпушення біологічної плівки, що попереджає її замулення; б) розкладання низки хімічно стійких сполук – клітковини, каротину. На відміну від найпростіших і водоростей черв'яки знаходяться лише в нижньому шарі, причому в зрошуваній зоні. Їх кількість становить 182×10^4 на 1 м³ заселеної зони.

Комахи представлено в основному личинками дрібної мошки. Живуть вони у верхній незрошуваній зоні й частково в нижній, також незрошуваній. Кількість їх дорівнює 9×10^9 на 1 м³ заселеної зони. Крім личинок, на біофільтрах зустрічаються ще деякі види жучків.

Бактерії представлено автотрофними і гетеротрофними видами. Перші окиснюють органічну речовину з вуглецем, другі – з азотом і сульфатами.

Життєдіяльність усіх біоценозів біологічного фільтра призводить до високого ступеню очищення стічних вод – БСК₂₀ становить 15-20 мО₂/л (зниження на 85-90 %).

Аеротенк – це споруда, в якій здійснюється біологічне очищення забруднених вод, що імітує самоочищення у водоймах, але з більшою інтенсивністю. На відміну від природної аерації у водоймі насичення стічної рідини киснем відбувається в аеротенку шляхом нагнітання повітря під тиском. Якщо в біологічному фільтрі плівка прикріплена до нерухомого субстрату і омивається стічною рідиною, то в аеротенку роль біологічної плівки відіграє так званий активний мул – пластівці, які складаються в основному з бактерій у завислому стані. На рис. 9.2 показано схему роботи аеротенка, на рис. 9.3 – його зовнішній вигляд.

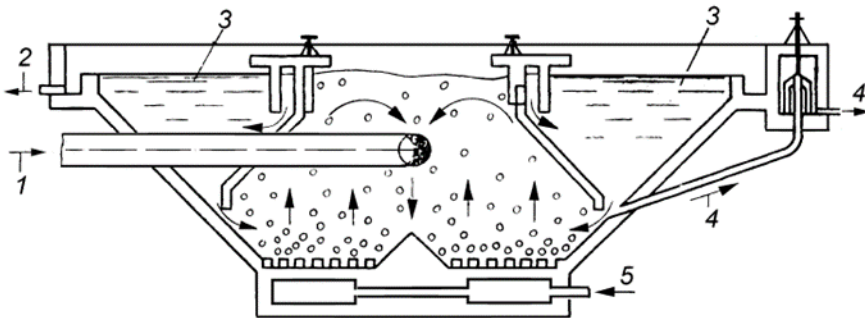


Рис. 9.2. Схема роботи аеротенка: 1 – подача стічних вод; 2 – випуск очищених стічних вод; 3 – зони освітлення; 4 – випуск надлишкового активного мулу; 5 – повітропровід

Стічні води й активний мул з відстійника надходять у довгий бетонний резервуар і рухаються вздовж нього. Для підтримання активного мулу в завислому стані і забезпечення окисних процесів у суміш безперервно подається повітря. Після закінчення процесів біохімічного окиснення органічних речовин стічних вод суміш активного мулу і стічних вод надходить у вторинний відстійник для відокремлення активного мулу.



Рис. 9.3. Зовнішній вигляд аеротенка

Освітлена у відстійнику вода зазвичай після знезараження скидається у водний об'єкт, а активний мул спрямовується знову в аеротенк. У результаті може утворюватися надлишок активного мулу, який доводиться вилучати.

Населення аеротенків. Активний мул – це зависла у воді біологічна плівка, яка відрізняється від справжньої біоплівки біологічних фільтрів. Перш за все, в активному мулі відсутні представники водоростей, далі біоценоз активного мулу постійно знаходиться у товщі води безперервно переміщується – інколи переходить із зони сильно аерованої, в зону, надзвичайно бідну на кисень. Відповідно, в активному мулі живуть не тільки аероби, а й деякі анаероби.

До складу мулу входять: найпростіші, бактерії, бактерії нітрифікатори, бактерії денітрифікатори і значна кількість грибів. До мікробів, які адсорбуються активним мулом, відноситься вся груп кишкової палички.

Кількість організмів у масі активного мулу дуже велика – 100×10^6 в 1 м^3 ; їх сумарна поверхня дорівнює 1200 м^2 . Тому активний мул за його адсорбційною здатністю можна порівняти лише з активованим вугіллям, але ж він ще виконує і функцію переробки.

Вивчення впливу основних фізико-хімічних чинників на життєдіяльність біоценозів свідчить, що мул є достатньо стійким до температурних коливань; існує за значної амплітуди зміни рН 4,5-9,5. Зменшення концентрації розчиненого кисню впливає лише на аеробну групу бактерій, тому мул швидко відновлюється за підвищення вмісту кисню.

Напрямок біохімічних процесів в аеротенку. Аеротенки залежно від ступеня очищення стічних вод можуть працювати на повне чи неповне очищення. За повного очищення процес проходить у три фази: 1) завислі та колоїдні речовини адсорбуються й коагулюють, окисні процеси лише починаються; 2) переважають процеси окиснення, починаються процеси нітрифікації; 3) процеси окиснення закінчуються; переважають процеси нітрифікації амонійних солей; відбувається регенерація активного мулу.

За неповного очищення процес проходить у дві фази: 1) завислі та колоїдні речовини адсорбуються й коагулюють, окисні процеси тільки

починають розвиватися; 2) відбувається неповне окиснення адсорбованих активним мулом завислих і колоїдних речовин, а також розчинених речовин.

9.3. Очисні споруди з анаеробним розкладанням

Осад (тверда фаза) стічних вод містить 95 % води; 5 % – це вуглеводи, білки, жири та зольні елементи; при цьому білки становлять 20 %, жири – 15, вуглеводи – 35, зола – 30 %. За допомогою біохімічної переробки осаду на очисних спорудах відбувається його знезараження, а також така зміна структури, яка перетворює осад, що підсохнув, в зручну для утилізації речовину.

Вода, яка входить до складу твердої фази, поділяється на ту, яка фільтрується і віджимається, імбібіційну, адсорбційну. Специфіка фізичної структури твердої фази така, що підсихання її відбувається дуже повільно. Розкладання органічної речовини проходить в умовах обов'язкового анаеробіозу, без чого цей процес йде дуже повільно.

Біохімічні процеси в природних умовах при анаеробному бродінні протікають у дві фази – з утворенням продуктів кислих і лужних. На очисних спорудах можна створити умови, коли бродіння відбувається з накопиченням лише лужних речовин, обминаючи процес утворення кислих продуктів.

Кисле бродіння: речовини, які містять вуглець, розкладаються до жирних кислот, в основному до масляної й оцтової. Деякі органічні речовини розкладаються до вуглекислоти.

Утворені жирні кислоти, в свою чергу, розкладаються з виділенням газів – водню, вуглекислоти, аміаку.

Лужне бродіння: речовин, які містять вуглець, також розкладаються до жирних кислот, і вуглекислота утворюється за рахунок вуглецю і кисню з води. Такі жирні кислоти, розкладаючись, утворюють гази – вуглекислоту, водень і метан. При цьому, кількість метану є такою значною, що другу фазу розкладання органічної речовини часто називають «метановим бродінням». Крім того, при лужному бродінні інтенсивно відбувається і розкладання органічних речовин, які містять азот, з утворенням аміаку. Увесь процес розкладання органічних речовин при лужному бродінні відбувається значно інтенсивніше, ніж при кислому. Характерним для лужного бродіння є й широкий діапазон розкладання органічних речовин.

На очисних спорудах анаеробне бродіння використовується в септиках, двох'ярусних відстійниках, метантенках.

Септики – це басейни гниття, тому їх називають «загниваючими». У них поєднано процеси осадження і зброджування осаду (рис. 9.4)

Після запуску септика в експлуатацію поверхня води в ньому темна, гладка. Це означає, що розкладання осаду ще не почалося. Першою ознакою початку бродіння є сильне виділення газів. Через кілька днів уся поверхня септика затягується плівкою, яка потім перетворюється на товсту кірку; і газ виділяється лише в місцях її розриву.

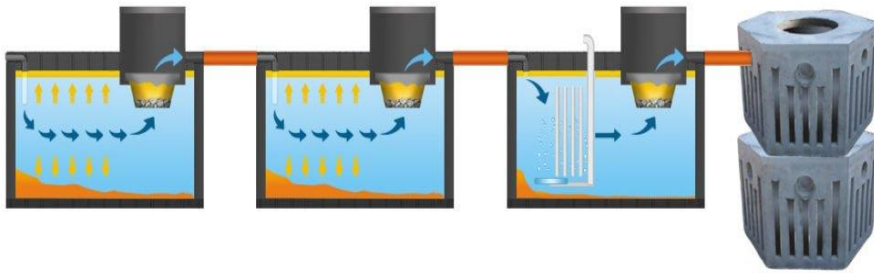


Рис. 9.4. Трикамерний септик

У септику відбуваються такі процеси. Тверда фаза стічних вод, осівши на дно басейну, спочатку не розкладається, оскільки для розмноження мікробів анаеробного бродіння потрібен певний час. Розкладання органічної речовини супроводжується інтенсивним газоутворенням. Бульбашки газу в результаті гниття піднімаються з дна, захоплюють з собою частинки осаду. Біля поверхні бульбашки газу виходять в атмосферу, але частинки осаду не опускаються на дно, оскільки все нові й нові бульбашки підходять до поверхні разом з мікродозами осаду. Тому частинки твердої фази злипаються і утворюють спочатку плівку, а потім масивну кірку товщиною інколи до 1 м. Кірка не дозволяє охолонути осаду і масі води, яка бродить. Позитивні характеристики септика – простота обладнання, високий відсоток затримки нерозчинених речовин і нескладність в експлуатації; негативні – домінування кислого бродіння, оскільки безперервні порції свіжого осаду не дають можливості в достатній мірі розвиватися мікробам II фази розкладання. Очищена стічна рідина, яка витікає з септика, має у своєму складі всі гази анаеробного розкладання осаду: метан, вуглекислота, водень, сірководень, аміак. І практично не має кисню.

До недоліків септика відноситься можливість поширення неприємного запаху. Септик є спорудою для обслуговування невеликих об'єктів каналізування (групи будинків, санаторіїв, таборів тощо) – до 500 осіб і об'ємом стічних вод до 50 м³/добу. За правильного обладнання та експлуатації септика він має розташовуватися на відстані не менше 50 м від житлових, громадських споруд і підприємств громадського харчування. Очищення септика (один-два рази на рік) через малі розміри робиться вручну. Зброджений осад становить небезпеку в епідеміологічному відношенні, тому виникають труднощі з використанням цього осаду у вигляді добрив, оскільки вони можуть стати джерелом розповсюдження гельмінтів і виникнення інфекцій. Вивезення осаду на міське звалище може викликати зараження ґрунтових вод. Тому зброджений осад, вилучений із септика, повинен бути спочатку знезаражений, що досягається підігрівом у котлі до 60 °С протягом години. При цьому повністю гинуть як збудники гострих шлунково-кишкових захворювань, так і яйця гельмінтів.

Залежно від об'ємів стічних вод септики влаштовуються однокамерні (до 1 м³), двокамерні (до 10 м³) і трикамерні (більше 10 м³).

Зазвичай септики використовуються для попередньої обробки стічних вод, які надходять на споруди підземної фільтрації (поля підземної фільтрації, піщано-гравійні фільтри, фільтрувальні траншеї, фільтрувальні колодязі).

Двоюрисні відстійники (емшери). У цих спорудах усунено більшість основних недоліків септиків. Так, ліквідовано потрапляння в рідинну фазу газоподібних продуктів, які утворюються при розкладанні осаду. Це досягається тим, що стічна рідина проходить у відстійнику по осадкових жолобах, один край яких заходить за інший (рис. 9.5). Через те газ, який піднімається з дна, не потрапляє в стічну рідину, яка тече по жолобах. Крім того, склад газів, які досягають поверхні, також відрізняється від складу газів у септику. Йдеться про сірководень, який виділяється при анаеробному розкладанні осаду стічних вод. Оскільки глибина емшерного колодязя набагато більша, ніж септика, сірководень встигає вступити в реакцію із залізом, яке завжди є в стічних водах. У результаті утворюється сульфід заліза, усувається неприємний запах, рідина набуває чорного кольору. Реакція ця проходить лише в умовах нейтрального чи слабколужного середовища; у кислому середовищі взаємодії між сірководнем і залізом не відбувається.

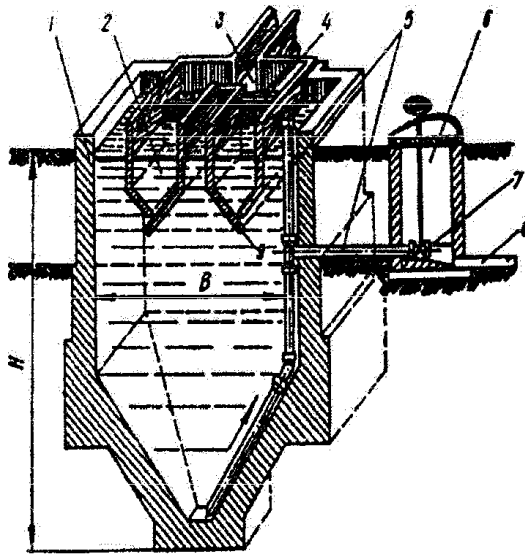


Рис. 9.5. Двоюрисний відстійник: 1 – кладка; 2 – жолоб; 3 – лоток; 4 – поперечна стінка, 5 – труба для відкачування твердої фази; 6 – оглядовий колодязь; 7 – засув; 8 – випуск твердої фази

Над двоюрисним відстійником зазвичай влаштовується перекриття для уловлювання газів, які утворюються в період II фази бродіння (метану і вуглекислоти). За нормальних умов процес бродіння проходить за участю двох груп мікробів (мікроби I фази, мікроби II фази), які розкладають органічну речовину.

Цей процес зветься лужним бродінням, яке за правильної експлуатації відстійника є постійним. Осад при цьому набуває чорного кольору та специфічного запаху, який дещо нагадує запах каучуку.

Процес бродіння осаду у двоярусному відстійнику відбувається від одного до шести місяців. Зброджений осад надходить для підсушування на мулові майданчики. У ньому також, як і в осаді септика, зберігаються яйця гельмінтів і патогенних мікробів, але він не має неприємного запаху і легко віддає воду.

Розкладання органічної речовини в двоярусному відстійнику проходить інтенсивніше, ніж у септику. Але й він має санітарні та технологічні недоліки.

Бродіння осаду стічних вод здійснюється за невисоких температур, внаслідок чого швидкість розкладання його є невеликою, а вихід газів (такого, як метан) незначним. У зимовий період у середніх широтах і особливо на півночі та сході збродження осаду є практично неможливим і тому в цих районах емшери не використовують.

Процес бродіння може керуватися у двоярусному відстійнику незначною мірою. Єдине, чим може вплинути технолог на хід процесу – це зміну дозування незбродженого осаду та його перемішуванням. Підігрів твердої фази здійснити неможливо, оскільки, крім осаду, довелося б підігрівати і увесь об'єм води над ним.

Значна глибина емшера (до 11 м) збільшує його вартість і лімітує будівництво там, де рівень ґрунтових вод є низьким.

Метантенки. Управління процесом бродіння може бути здійснене шляхом регулювання температури, що практично можливо лише за відділення осаду від рідинної фази. Цей процес відбувається в первинному відстійнику, після чого тверда фаза направляється в особливу споруду – метантенк, де зброджується при штучному підігріві (рис. 9.6).

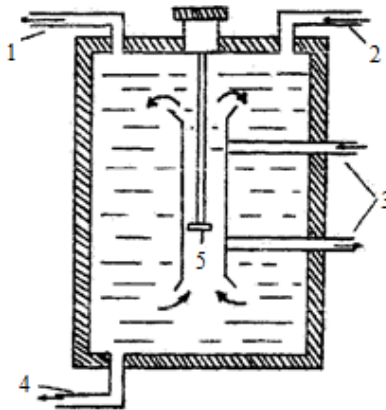


Рис. 9.6. Спрощена схема метантенка: 1 – збирання газу; 2 – свіжий осад; 3 – гаряча вода; 4 – зброджений осад; 5 – змішувач

Метантенк являє собою закритий резервуар (рис. 9.7), призначений для анаеробної переробки осадів, а також надлишкового мулу аеротенків. Інтенсифікація розкладання органічної частини осаду досягається штучним перемішуванням і підігрівом. Причому необхідною умовою інтенсивного бродіння є постійне перемішування свіжого осаду із загальною масою зрілого. Чим більшим є об'єм зрілого осаду («бактеріальної закваски»), тим краще працює метантенк.



Рис. 9.7. Зовнішній вигляд метантенка на Бортницькій станції аерації (Київ)

У метантенку розкладається від 40 до 60 % органічної речовини; значна частина її переходить у газ (70 % метану, 30 % вуглекислоти).

Існують два типи бродіння – мезофільне і термофільне. За мезофільного бродіння температура маси, яка бродить, підтримується в межах від 30-35 °С; за термофільного – від 50-55°С. Термофільне бродіння дозволяє інтенсифікувати процес, що робить можливим збільшенням завантаження метантенка в 1,8-2,0 рази. Крім того, при штучному уведенні в бродильну масу експериментальних метантенків дуже великих доз патогенних мікробів у термофільних умовах усі вони гинули через кілька годин, у той час як при мезофільному бродінні життєдіяльність їх зберігалася протягом кількох днів. Основною причиною загибелі патогенних мікробів при термофільному бродінні є температурний чинник, а не діяльність мікробів-антагоністів.

Осад, вилучений із стічних вод і зброджений в метантенках, вологістю 90-97 %, перекачується на мулові майданчики. Це найпростіший і поширений спосіб підсушування осаду до вологості 75-80 %. Будова мулових майданчиків є різною. Інколи роблять криті мулові майданчики, завдяки чому не розповсюджуються неприємний запах, не приваблюються мухи. З епідеміологічної точки зору вирішальним є наявність патогенних мікроорганізмів у осаді, що сохне. Підсушений осад (вологість 75-80%) може бути використаний як добриво. При відсутності ґрунту з доброю фільтруючою здатністю мулові майданчики влаштовують на штучній основі.

9.4. Біохімічне очищення стічних вод у ґрунтах

При надходженні в ґрунт стічних вод органічні речовини окиснюються за наявності вільного кисню мікроорганізмами, без яких чисто хімічним шляхом ніякого окиснення органічних речовин у ґрунті не буде. Населення ґрунту представлено досить широко: бактерії, гриби, водорості, найпростіші й безхребетні. Але домінують бактерії.

Для очищення стічних вод у природних умовах використовуються такі типи споруд: поля зрошення, поля фільтрації (рис. 9.8), поля підземної фільтрації.



Рис. 9.8. Очищення стічних вод: поля фільтрації (А); поля зрошення (Б)

Поля зрошення. На полях зрошення агрономічні інтереси поєднуються із завданням очищення стічних вод. Стічна рідина, протікаючи між грядками, фільтрується; на поверхні ґрунту затримуються колоїдні та суспензійні речовини, які потім окиснюються біохімічним шляхом. Розчинені речовини в стічній рідині проходять по капілярах ґрунту на глибину близько 0,5 м. За час проходження через активний шар ґрунту вони окиснюються до вуглекислоти, води, нітратів і сульфатів. Для того, щоб окиснення проходило безперервно, необхідне постійне надходження атмосферного повітря слідом за стічною рідиною, яка просочується. Тому, зрозуміло, глинисті ґрунти не є придатними. Але не придатними є і великозерністі піски, оскільки стічна рідина швидко фільтрується через них і не встигають відбуватися процеси окиснення, адсорбції тощо. Найоптимальнішими ґрунтами для влаштування полів зрошення є структурні супіщаники, суглинки і чорноземи.

Недоліком полів зрошення є сезонність їх роботи, оскільки в зимовий час ефективної очистки не відбувається.

Для запобігання можливому поширенню інфекції через ґрунтові води забороняється розташування полів зрошення на територіях, які входять до першого і другого поясів зон санітарної охорони джерел централізованого водопостачання, мінеральних джерел, курортів, у заплавах річок, а також за високого рівня ґрунтових вод.

У стічних водах, що надходять на поля, присутня значна кількість завислих і жироподібних речовин, які швидко замулюють ґрунт; в них є також яйця гельмінтів і патогенні мікроби, які можуть потрапити до сільськогосподарських культур. Тому стічні води треба перед надходженням на поля зрошення пропускати через первинні відстійники, де навіть за 2 год. відстоювання затримується 90 % яєць гельмінтів.

Крім сільськогосподарських полів зрошення, є ще і так звані комунальні поля зрошення, які призначені лише для очищення стічних вод.

Поля фільтрації. На полях фільтрації сільськогосподарські культури не вирощуються, а здійснюється лише очищення попередньо освітлених стічних вод. Навантаження на ці поля є більш високим, ніж на поля зрошення. Разом з тим різко погіршується постачання киснем аеробних біоценозів. Тому рекомендується кілька разів протягом літа переорювати поля фільтрації, обладнувати дренажі. При розміщенні полів фільтрації треба враховувати санітарні норми (через запахи, поширення мух). Вони повинні знаходитися на відстані 300-1000 м від міської забудови і бути огороженими зоною зелених насаджень.

Поля підземної фільтрації (зрошення). У цьому разі стічні води розподіляються по трубах під землею (дренаж). Дренажні труби розміщуються на межі між підґрунтовим і активно працюючим шаром ґрунту. Влаштування полів підземної фільтрації припустиме лише при низькому рівні ґрунтових вод (не вище 2 м від поверхні). На цих полях можна вирощувати різні сільськогосподарські культури і розмішувати їх поблизу від житлових споруд (8-25 м). Використовуються вони для очищення стічних вод невеликих населених пунктів, груп споруд, санаторіїв, шкіл.

9.5. Біохімічне очищення стічних вод у біологічних ставках

Біологічні ставки для очищення стічних вод імітують природні водойми, причому максимально підсилюють їх властивості, що сприяють процесам самоочищення. Вони неглибокі (0,5-1,0 м), добре прогриваються сонцем, що створює сприятливі умови для широкого розвитку водоростей, вищої водяної рослинності, найпростіших, автотрофних і гетеротрофних груп бактерій. Для ефективного очищення стічних вод на спорудах штучного очищення необхідні значні витрати енергії, тоді як у ставках використовується сонячна енергія (рис. 11.14).

Санітарний ефект роботи біологічних ставків у літній час є дуже високим. Кишкова паличка гине на 95-99 %, патогенні бактерії кишкової групи – повністю, окиснюваність знижується на 90 %, вміст органічного та амонійного азоту – на 97 %.

Причому біологічні ставки можуть працювати і взимку, коли їх поверхня вкрита льодом. Але треба обов'язково очищати поверхню льоду від снігу для проходження сонячного проміння.

Типи біологічних очисних ставків: 1) проточні ставки з розведенням стічної рідини річковою водою; 2) проточні ставки без розведення стічної рідини; 3) ставки для доочищення стічної рідини; 4) контактні ставки; 5) анаеробні ставки.

Проточні ставки з розведенням стічної рідини річковою водою. Освітлена у відстійниках стічна рідина розводиться у три-п'ять разів чистою річковою водою. Ця рідина повинна перебувати у ставках приблизно два-три тижні. У ставках можна вирощувати рибу (коропа), а також розводити качок. Недоліком таких ставків є те, що необхідно будувати первинні відстійники,

споруджувати греблю для ставка-резервуара чистої річкової води і мати поблизу чисту річку.

Проточні ставки без розведення стічної рідини. Неочищена стічна рідина проходить послідовно через серію з чотирьох-п'яти ставків. У першому ставку обладнується перетинка для затримання твердої фази. В останньому ставку, у воді якого міститься розчинений кисень, можна розводити рибу.

Ставки для доочищення стічної рідини. Інколи, якщо в силу якихось причин на біологічній очисній станції не можна обробити весь об'єм чи вимагається високий ступінь очищення, використовують проточні ставки для доочищення недостатньо окисненої рідинної фази стічних вод. Цей тип ставків влаштовується двома-трьома серіями і може бути використаний для розведення риби.

Контактні ставки. Робота цих ставків ґрунтується на тому, що в стоячій воді, порівняно з водою проточною, біохімічні процеси проходять швидше. Стічна рідина подається в серію паралельно розміщених карт, причому кожен день один із ставків наповнюється, а другий спорожнюється. Для території України тривалість контакту рідини у ставках становить 5-10 днів.

Анаеробні ставки. Стічна рідина, яка містить як тверду, так і рідинну фазу, надходить у глибокий ставок (кілька метрів). Такого типу ставок, по суті, є відкритим септиком. Тому тут відбуваються анаеробні процеси. Із санітарного погляду такі ставки мають низку недоліків порівняно із септиками: бродильні гази виділяються в навколишнє повітря, є небезпека потрапляння патогенних мікробів у ґрунтові води.

9.6. Використання осадів стічних вод

Основними продуктами біохімічних процесів є гази і зброджена тверда фаза (осади стічних вод). Використовуються вони для різних цілей.

У середньому при бродінні 1 м³ осаду можна отримати 10-18 м³ газу. За теплотворною здатністю 1 м³ газу відповідає 0, 83 кг коксу, 3,785 л бензину чи 0,61 кг дизельного палива. Крім того, з 1 м³ газу можна одержати 1,61 кВт год енергії. Практично метан, який входить до складу газів, одержуваних у метантенках, використовується як паливний газ при виробленні електроенергії для очисних станцій.

Важливе значення має застосування твердої фази як добрива у сільському господарстві. Заміна чи доповнення органічних добрив збродженим осадом є дуже корисним (рис. 9.9). Осад, порівняно з гноєм містить більшу кількість фосфору і кальцію. Азот і фосфор в осаді знаходяться в так званій рухомій формі, яка активно засвоюється рослинами. Крім того, осад містить ще цілу низку мікроелементів: магній, сірку, залізо, бор, марганець, мідь, йод, цинк тощо.

Дослідження, виконані на очисних спорудах міст Дніпропетровська, Запоріжжя і Нетішина (Хмельницької обл.), підтверджують можливість такого застосування (В.К. Хільчевський, В.М. Савицький, К.О. Чеботько та ін., 1997) [34а]. Але при цьому необхідна спеціальна підготовка осадів стічних вод з метою запобігання внесенню разом ними значних кількостей патогенних

мікробів, солей важких металів а також чіткий контроль за їхнім вмістом на удобрюваних ділянках.



Рис. 9.9. Підготовка компосту з осадів стічних вод для удобрення

Ще один напрямок використання збродженого осаду – це паливо. Для цього осад підсушується на мулових майданчиках, потім з допомогою формувальної машини готуються паливні цеглини (аналогічно приготуванню торф'яних паливних цеглин). Ці цеглини повинні відстоятися в штабелях не менше одного року, протягом якого відбувається різке зниження бактеріального населення осаду.

За кордоном з осаду ще виробляють синтетичний ґрунт для спортивних майданчиків.

Контрольні питання до розд. 9

- 1) Які основні види окисно-відновних процесів відбуваються у стічних водах?
- 2) Що таке аеробні біохімічні процеси?
- 3) Що таке анаеробні біохімічні процеси?
- 4) Назвати очисні споруди з аеробними біохімічними процесами.
- 5) Назвати очисні споруди з анаеробними біохімічними процесами.
- 6) Охарактеризувати принцип роботи біофільтра.
- 7) Охарактеризувати принцип роботи аеротенка.
- 8) Охарактеризувати принцип роботи біофільтра.
- 9) Охарактеризувати принцип роботи септика.
- 10) Охарактеризувати принцип роботи метантенка.
- 11) Охарактеризувати принцип роботи полів фільтрації, полів зрошення.
- 12) Охарактеризувати принцип роботи біологічних ставків.

10. ОХОРОНА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ

10.1. Охорона вод від забруднення – загальні положення

Система охорони вод включає такі основні аспекти: *правові; організаційні; технологічні; економічні; наукові; соціальні.*

Правовою основою проведення комплексних заходів, спрямованих на охорону вод від антропогенного впливу, є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991 р. із змінами, внесеними протягом 1993-2022 рр.), «Водний кодекс України» (1995 р. із змінами, внесеними протягом 2000-2022 рр.). А Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» (2016 р.) відкриває можливості по запровадженню європейських підходів у сфері водного менеджменту в нашій країні.

Організаційні аспекти охорони водних ресурсів – це комплекс заходів, спрямованих на охорону водних ресурсів від забруднення.

В 2016 р. здійснено гідрографічне районування території України, затверджене Верховною Радою України. Було виділено 9 районів річкових басейнів і 13 суббасейнів.

В системі Державного агентства водних ресурсів України створено 12 басейнових управлінь водних ресурсів (БУВР): БУВР середнього Дніпра; БУВР нижнього Дніпра; Деснянське БУВР; БУВР Прип'яті; Дністровське БУВР; БУВР Південного Бугу; Сіверсько-Донецьке БУВР; БУВР Західного Бугу та Сяну; БУВР Пруту та Сірету; БУВР річок Причорномор'я та нижнього Дунаю; БУВР річок Приазов'я.

БУВР у межах своїх повноважень відповідно до законодавства забезпечують у своїх межах реалізацію державної політики у сфері управління, використання, збереження та відтворення водних ресурсів.

БУВР розробляє План управління річковим басейном, метою якого є досягнення екологічних цілей, визначених для кожного району річкового басейну, в установлені строки. Стратегічною екологічною ціллю для всіх районів річкових басейнів є досягнення/підтримання «доброго» екологічного стану масивів поверхневих та підземних вод, а також «доброго» екологічного потенціалу штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод. Такі плани мають бути затверджені Кабінетом Міністрів України до 2024 р.

Технологічні аспекти охорони природних вод включають такі напрями:

- зменшення об'єму стічних вод за рахунок удосконалення технології виробництва;
- очищення стічних вод;
- вилучення із стічних вод і утилізація цінних речовин;
- впровадження оборотного водопостачання (чи повторного);
- заміна водяного охолодження повітряним.

Зниження загального об'єму стічних вод, які скидаються підприємствами, досягається шляхом нормування води на одиницю продукції, а також використанням у системі оборотного водопостачання очищених раніше стічних вод.

Зниження концентрації забруднювальних речовин, які містяться у стічних водах, можна досягти не тільки суворим дотриманням технологічного режиму, а й підвищенням ступеня очищення стічних вод, вилученням з них і утилізацією цінних продуктів.

Економічні аспекти охорони водних ресурсів полягають у виборі критеріїв їх ефективності, оцінюванні збитків від забруднення вод, виборі економічних методів стимулювання водоохоронних заходів.

Головним критерієм ефективності водоохоронних заходів для джерел питного водопостачання, середовища існування риб, тварин і птахів є досягнення необхідних стандартів якості природних вод у місцях водокористування.

Максимальна віддача від водоохоронних заходів має бути на всіх стадіях: від їх проектування і до експлуатації. При проектуванні варто закласти такі параметри системи, щоб при мінімальних витратах можна було забезпечити потрібні показники якості природних вод. Для цього враховують найнесприятливіші умови приймання стічних вод: 95 %-на забезпеченість витрати води у річці, найвищі концентрації домішок.

Важливо правильно оцінити збитки, які можуть бути завдані забрудненням природних вод, що необхідно для визначення фінансових витрат на впровадження водоохоронних заходів.

Необхідно раціонально планувати розміщення промислових підприємств, враховуючи не лише наявність сировини і кваліфікованих кадрів, а й достатню забезпеченість району водними ресурсами.

Наукові аспекти проблеми захисту природних вод від забруднення базуються на проведенні наукових досліджень – теоретичних або прикладних.

Теоретичні дослідження у сфері охорони природних вод від забруднення ведуться за такими основними напрямками: розробка науково-технічних основ і комплексу заходів з метою покращення використання водних ресурсів; розроблення комплексу науково-технічних заходів з максимального упередження негативного впливу господарської діяльності на навколишнє середовище; розроблення методів прогнозування наслідків впливу антропогенних чинників на якість природних вод та ін.

Прикладні дослідження спрямовані: на вдосконалення існуючих методів очищення стічних вод, створення і вдосконалення газоочисних пристроїв для існуючих технологічних процесів; на розроблення технологічних процесів, які забезпечують максимальне використання і знезараження промислових відходів підприємств; на розроблення рекомендацій з підвищення імунітету важливих сільськогосподарських культур до шкідників, що дає змогу зменшити застосування пестицидів; на розроблення заходів щодо зниження впливу радіаційного забруднення територій на водні ресурси.

Соціальні аспекти охорони вод. Охорона водних ресурсів від забруднення є частиною проблеми охорони навколишнього середовища, вирішення якої спрямоване на створення сприятливих умов для життя, здоров'я і відпочинку населення.

В Україні приймаються і реалізується національні програми: з оздоровлення водних ресурсів Дніпра; загальнодержавна цільова соціальна програма «Питна вода України» та ін.

Певну роль у вихованні бережливого ставлення до водних об'єктів і природи в цілому відіграють громадські екологічні ініціативи та організації, шкільні екологічні центри.

Відчутні результати водоохоронної політики багато в чому залежать від підготовки кадрів у цій сфері. Спеціалістів з гідрології, управління та екології водних ресурсів готують у низці класичних університетів України, з водопостачання та водовідведення – у закладах вищої освіти технічного профілю.

10.2. Приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення

Скидання стічних вод до систем централізованого водовідведення регулюється документом, який називається «Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення» (2017 р.) зі змінами від 2021 р. [64].

Наведемо деякі терміни з цих Правил [64].

Арбітражна проба – частина контрольної проби, аналіз якої здійснюється за рахунок споживача за його незгоди з результатами аналізу контрольної проби, яку провів виробник.

Вимоги до скиду стічних вод – вимоги щодо режиму, кількісного та якісного складу стічних вод, які споживач скидає до системи централізованого водовідведення населеного пункту, склад і зміст, порядок надання яких визначено Правилами [64] та місцевими правилами приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення населеного пункту.

Випуск водовідведення споживача – трубопровід для відведення стічних вод від будинків, споруд, приміщень та з території споживача в мережу водовідведення.

Головний колектор водовідведення – трубопровід, до якого надходять стічні води від збірних колекторів і районних насосних станцій.

Залповий скид до системи централізованого водовідведення – скид стічних вод з концентраціями забруднювальних речовин, що перевищують більш як у 20 разів допустимі величини показників, визначені в місцевих правилах приймання, та/або з перевищенням обсягів стічних вод, визначених для конкретного споживача.

Збірний колектор – трубопровід для приймання стічних вод з окремих випусків водовідведення та транспортування їх у головний колектор водовідведення.

Контрольний колодязь – колодязь на випуску водовідведення споживача безпосередньо перед приєднанням до колектора виконавця або в іншому місці за погодженням із виконавцем мереж з вільним доступом виконавця до такого колодязя.

Контрольна проба – проба стічних вод споживача (субспоживача), відібрана виконавцем з контрольного колодязя з метою визначення складу

стічних вод, що відводяться до системи централізованого водовідведення виконавця.

Локальна мережа водовідведення – система трубопроводів, каналів та/або лотків і споруд на них для збирання й відведення стічних вод з території споживача;

Локальні очисні споруди – споруди чи пристрої для очищення стічних вод окремого споживача відповідно до вимог Правил та/або місцевих правил приймання.

Об'єкт споживача – окремо розташована територія споживача з відокремленими системами водопостачання і водовідведення.

До систем централізованого водовідведення приймаються стічні води споживачів, які не призводять до порушення роботи мереж водовідведення та очисних споруд, безпеки їх експлуатації та можуть бути очищені на очисних спорудах системи централізованого водовідведення виконавців відповідно до вимог «Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» [63].

Стічні води, що приймають до систем централізованого водовідведення, не повинні:

1) містити горючих домішок і розчинених газоподібних речовин, здатних утворювати вибухонебезпечні суміші;

2) містити речовин, які здатні захищувати труби, колодязі, решітки або відкладатися на їх поверхнях (сміття, ґрунт, абразивні порошки та інші грубодисперсні зависі, гіпс, вапно, пісок, металева та пластмасова стружка, жири, смоли, мазут, пивна дробина, хлібні дріжджі тощо);

3) містити тільки неорганічні речовини або речовини, які не піддаються біологічній деструкції;

4) містити речовин, для яких не встановлено гранично допустимих концентрацій (ГДК) для води водойм або токсичних речовин, що перешкоджають біологічному очищенню стічних вод, а також речовин, для визначення яких не розроблено методів аналітичного контролю;

5) містити небезпечних бактеріальних, вірусних, токсичних та радіоактивних забруднень;

6) містити біологічно жорстких синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), рівень первинного біологічного розкладу яких становить менше 80%;

7) мати температуру вище 40 °С;

8) мати рН нижче 6,5 або вище 9,0;

9) мати показник хімічного споживання кисню (ХСК) вищий біохімічного споживання кисню за 5 діб (БСК₅) більше ніж у 2,5 раза;

10) мати БСК, яке перевищує вказане в проекті очисної споруди системи централізованого водовідведення відповідного населеного пункту;

11) створювати умови для заподіяння шкоди здоров'ю персоналу, що обслуговує системи централізованого водовідведення;

12) унеможливлувати утилізацію осадів стічних вод із застосуванням методів, безпечних для навколишнього природного середовища;

13) містити забруднювальних речовин з перевищенням допустимих концентрацій, установлених Правилами [63] та місцевими правилами приймання.

Визначення допустимої концентрації забруднювальних речовин у стічних водах споживачів здійснює виконавець як найменшу з чотирьох величин:

1) допустима концентрація (ДК) забруднювальної речовини в мережі водовідведення (на випуску водовідведення споживача);

2) ДК забруднювальної речовини в спорудах біологічного очищення (на вході в ці споруди);

3) величини лімітів на скидання забруднювальних речовин, які визначені у дозволі на спеціальне водокористування, виданому виконавцю відповідно до ст. 49 Водного кодексу України;

4) допустимого вмісту важких металів в осадах стічних вод, що можуть використовуватися як органічні добрива.

Розрахунок ДК забруднювальних речовин у стічних водах споживачів проводять для кожних очисних споруд системи централізованого водовідведення виконавця або для кожного з колекторів водовідведення, які відводять стічні води до цих очисних споруд. Виконавці та споживачі є відповідальними за дотримання вимог приймання та скиду стічних вод до систем централізованого водовідведення.

У разі невиконання споживачами правил приймання щодо дотримання якості та режиму скиду стічних вод об'єкт споживача може бути відключений від системи централізованого водовідведення після письмового попередження виконавцем не менше ніж за 5 діб.

Контроль за кількістю та якістю стічних вод, які скидаються до системи централізованого водовідведення або безпосередньо на очисні споруди системи централізованого водовідведення виконавців, здійснюють споживачі. Перелік забруднювальних речовин, на наявність яких робиться аналіз, та періодичність контролю встановлюються місцевими правилами приймання.

За наявності локальних очисних споруд споживачі здійснюють кількісний та якісний контроль стічних вод, що надходять на них, очищених стічних вод та враховують об'єми видалених із стічних вод осадів. На вивіз та утилізацію осадів повинні бути оформлені відповідні документи (акти, накладні, рахунки), які зберігаються у споживачів не менше трьох років.

Місця та періодичність відбору проб споживачами мають бути погоджені з виконавцем. Результати аналізів стічних вод і замірів їх витрат фіксують у робочих журналах, які зберігаються у споживачів безстроково.

Споживачі систематично у строки, визначені місцевими правилами приймання, надають виконавцю інформацію про об'єми та якісний склад стічних вод, які вони скидають до системи централізованого водовідведення або безпосередньо на очисні споруди системи централізованого водовідведення виконавців.

10.3. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами

Охорона поверхневих вод від забруднення стічними водами регулюється нормативним документом, який називається «Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» (1999 р.) зі змінами від

2013 р. [63]. Правила спрямовані на попередження та усунення забруднення поверхневих водних об'єктів, відтворення водних ресурсів і забезпечення безпечних умов водокористування. Вони є обов'язкові для виконання всіма підприємствами, установами, організаціями та громадянами – суб'єктами підприємницької діяльності, діяльність яких щодо скидання зворотних вод у водні об'єкти впливає або може вплинути на стан поверхневих вод.

Вода зворотна – вода, що повертається за допомогою технічних споруд і засобів з господарської ланки кругообігу води в його природні ланки у вигляді стічної, шахтної, кар'єрної чи дренажної води.

Випускання зворотних вод (відвід зворотних вод у водні об'єкти) здійснюється через водовипускні споруди.

Водовипускна споруда – гідротехнічний об'єкт або пристрій, призначений для відводу (скидання) зворотних вод у водні об'єкти;

Планування заходів з охорони поверхневих вод, контроль за їх охороною та нормування ступенів очищення зворотних вод здійснюється відповідно до Правил [63].

Заходи з охорони поверхневих вод плануються виходячи з першочергового задоволення питних і господарсько-побутових потреб в рамках міжнародних, державних та регіональних програм використання, охорони та відтворення водних ресурсів. При розробленні цих заходів визначаються:

- ділянки водних об'єктів, на яких регламентується відповідно до встановлених нормативів якість води;
- показники, що характеризують якісний склад і властивості води на ділянках водних об'єктів;
- джерела забруднення водних об'єктів (обсяги водокористування, скидання зворотних вод та забруднювальних речовин);
- умови переведення якості води на певних ділянках водних об'єктів до вищих категорій якості; обсяги водних ресурсів, необхідні для задоволення питних і господарсько-побутових потреб, а також потреб галузей економіки;
- перелік робіт, спрямованих на запобігання шкідливої дії вод.

Контрольний створ, у якому мають дотримуватися санітарно-гігієнічні та рибогосподарські нормативи якості води, визначається залежно від конкретних умов. Він має розташовуватися: а) не нижче 500 м від місця скидання зворотних вод на ділянках водних об'єктів, які використовуються для задоволення питних і господарсько-побутових потреб; б) на відстані 1,0 км вище від найближчого за течією пункту водокористування, а на водоймах акваторії – в радіусі 1 км від пункту водокористування.

Місце скидання стічних вод повинне знаходитися нижче межі населеного пункту за течією водотоку на відстані, яка виключає вплив згінно-нагінних явищ.

Скидання зворотних вод у водні об'єкти допускається тільки за умови одержання в установленому порядку дозволу на спеціальне водокористування.

Спеціальне водокористування відповідно до ст. 48 Водного кодексу України – це забір води з водних об'єктів із застосуванням споруд або технічних пристроїв, використання води та скидання забруднювальних

речовин у водні об'єкти, включаючи забір води та скидання забруднювальних речовин із зворотними водами із застосуванням каналів [44].

Спеціальне водокористування здійснюється юридичними і фізичними особами насамперед для задоволення питних потреб населення, а також для господарсько-побутових, лікувальних, оздоровчих, сільськогосподарських, промислових, транспортних, енергетичних, рибогосподарських (у тому числі для цілей аквакультури) та інших державних і громадських потреб.

Спеціальне водокористування є платним та здійснюється на підставі дозволу на спеціальне водокористування (ст. 49 Водного кодексу України), в якому затверджуються ліміти (граничні обсяги) забору води, ліміти використання води та ліміти скидання забруднювальних речовин.

Необхідний ступінь очищення зворотних вод, що скидаються у водні об'єкти, визначається нормативами гранично допустимого скидання (ГДС) забруднювальних речовин.

Граничний обсяг скидання забруднювальних речовин у водні об'єкти встановлюється у дозволі на спеціальне водокористування. Нормативи ГДС забруднювальних речовин встановлюються з метою поетапного поліпшення якості води і дотримання санітарно-гігієнічних нормативів у місцях розташування водозаборів, а рибогосподарських – у водних об'єктах комплексного використання.

Для комунальних споруд повного біологічного очищення стічних вод встановлюються такі нормативи гранично допустимого вмісту забруднювальних речовин (мг/дм³):

- *біохімічне споживання кисню (БСК₅) – не більш як 15;*
- *хімічне споживання кисню (ХСК) – не більш як 80;*
- *завислі речовини – не більш як 15.*

Нормування гранично допустимого скидання інших забруднювальних речовин у водні об'єкти здійснюється органами, уповноваженими видавати дозвіл на спеціальне водокористування, за умови, що досягнута категорія якості води при цьому не погіршиться.

Водокористувачі, які скидають промислові стічні води до каналізаційних мереж, повинні дотримуватися правил приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації міст та селищ.

Встановлення обмежень на скидання забруднювальних речовин залежить від категорії якості поверхневих вод, передбаченої для окремих ділянок водного об'єкта.

Місця та періодичність відбору проб, перелік контрольованих показників встановлюються водокористувачами за погодженням з обласними держадміністраціями.

Водокористувачі зобов'язані забезпечувати монтування та експлуатацію пристроїв, призначених для здійснення регулярного контролю за обсягами та якістю зворотних вод, а також сприяти працівникам контролюючих органів під час проведення перевірок і відбору проб у контрольних створах та в системах водовідведення, в тому числі за межами території, де розташовані їх об'єкти.

Держекоінспекція та її територіальні органи здійснюють державний контроль за станом охорони та раціонального використання вод, проведення заходів з охорони водних об'єктів від забруднення, засмічення та

вичерпання, роботи очисних та інших водоохоронних споруд, з яких здійснюється скидання зворотних вод усіх категорій, дотримання встановленого режиму господарської діяльності у водоохоронних зонах та прибережних захисних смугах відповідно до законодавства.

Контроль за станом водних об'єктів здійснюється спеціально уповноваженими органами виконавчої влади у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів (Державне агентство водних ресурсів України).

Водокористувачі здійснюють контроль за якістю і кількістю скинутих у водні об'єкти зворотних вод і забруднювальних речовин.

Додаткові обсяги стічних вод споживачів (не враховані договором), що надходять до систем централізованого водовідведення або безпосередньо на очисні споруди системи централізованого водовідведення виконавців, оплачуються споживачами у 5-ти кратному розмірі встановленого тарифу на послугу водовідведення [60].

Контроль за якістю води у транскордонних водних об'єктах здійснюється відповідно до міжнародних договорів.

Контрольні питання до розд. 10

- 1) Які основні аспекти включає система охорони вод?
- 2) Коротко охарактеризувати правові аспекти охорони вод.
- 3) Коротко охарактеризувати організаційні аспекти охорони вод.
- 4) Коротко охарактеризувати економічні аспекти охорони вод.
- 5) Коротко охарактеризувати наукові аспекти охорони вод.
- 6) Коротко охарактеризувати соціальні аспекти охорони вод.
- 7) Яким нормативним документом регулюється приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення?
- 8) Чого не повинно бути у стічних водах, що приймають до систем централізованого водовідведення?
- 9) Ким здійснюється контроль за кількістю та якістю стічних вод, які скидаються до системи централізованого водовідведення?
- 10) Яким нормативним документом регулюється охорона поверхневих вод від забруднення стічними водами?
- 11) За яких умов допускається скидання зворотних вод у водні об'єкти?
- 12) Пояснити термін «спеціальне водокористування».
- 13) За якими показниками встановлюються нормативи гранично допустимого вмісту забруднювальних речовин для комунальних споруд повного біологічного очищення стічних згідно «Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами»?
- 14) Як оплачуються додаткові обсяги стічних вод (не враховані договором), скинуті споживачем до систем централізованого водовідведення?

11. ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В ДЕЯКИХ МІСТАХ УКРАЇНИ (КИЇВ, ЛУЦЬК)

11.1. Водопостачання та водовідведення в Києві

11.1.1. 3 історія водопостачання та водовідведення в місті

В 2022 р. виповнилося 150 років київському централізованому водопроводу [23]. У наш час будівництво систем централізованого водопостачання та водовідведення є звичним явищем для міст, селищ міського типу і навіть сіл. Але для Києва другої половини ХІХ ст. спорудження і запуск 1 березня 1872 р. централізованого водопроводу із забором води з Дніпра було надзвичайною подією, яка виводила міське господарство на новий технологічний рівень. Хоча довжина водопроводу при запуску (всього 23,3 км) й була незрівнянною з сьогоднішньою протяжністю водопровідних мереж Києва – близько 4300 км (2022 р.).

Протягом півтора століття багато змінювалося і в технологіях водопостачання, і в ролі власне Дніпра, як джерела водопостачання – зростала частка підземних вод, а згодом Десни (лівої притоки Дніпра). Але беззаперечним є те, що Дніпро разом з Десною відіграють надзвичайну роль забезпеченні столиці якісним централізованим водопостачанням,

Дніпро нижче Києва приймає й стічні води, допомагаючи місту їх доочищати. Важливою є роль Дніпра у формуванні міського простору, річка є своєрідною гідрографічною віссю столиці. Дніпро і Десна мають важливе значення і для України в цілому (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Картографічна схема фрагменту басейну Дніпра вище Києва

В історії розвитку водопостачання в Києві виділяють наступні періоди [23] – табл. 11.1.

Таблиця 11.1. Періоди в організації водопостачання Києва за [23]

Період	Століття, роки	Характеристика періоду
1	2	3
I	V-XVI ст.	Джерелами питної води Стародавнього Києва були річки, струмки, водойми, джерела та колодязі
II	XVII-перша половина XIX ст.	Окремі будівлі на Подолі забезпечувалися водою джерел з Київських гір, яка подавалася дерев'яними трубами, прокладеними під землею. Вода надходила до домініканського конвенту Св. Миколая та Київської духовної академії (Могилянська академія). У Флорівському монастирі було збудовано 2, а в Братському – 1 фонтан, з яких ченці брали воду
III	Середина XIX ст.	Поява локальних систем водопостачання в окремих відомствах із застосуванням механічних засобів (парових насосів). 1843 р. – у військовому госпіталі Київської фортеці пробурена перша артезіанська свердловина глибиною 103 м. 1855 р. – збудовано водопровід на заводі «Арсенал»; 1857 р. – водопровід для Київського кадетського корпусу (нинішня споруда Міністерства оборони України) з водозабором із ставу на р. Либідь
IV	1872-1908	<ul style="list-style-type: none"> • 1 березня 1872 р. – збудовано централізований водопровід для міста з водозабором з Дніпра та очищенням води на піщаних фільтрах. • 1895 р. – пробурені перші 2 артезіанські свердловини і підключені до водопроводу, 1896 р. – 7 свердловин. Водопостачання міста стало змішаним (дніпровською і артезіанською водою) загальним обсягом до 20 тис. м³/добу. • 1894 р. – спорудження централізованої каналізації для відведення стічних вод на поля фільтрації вище Києва
V	1908-1939	<ul style="list-style-type: none"> • Київ отримував лише артезіанську воду в обсязі близько 100 тис. м³/добу. Через спалах холери в 1907 р. водозабір з Дніпра було закрито. • В 1909 р. споруджено Либідський каналізаційний колектор
VI	1939-1961	1939 р. – збудовано Дніпровську водопровідну станцію (нижче Вишгорода) продуктивністю близько 100 тис. м ³ /добу. У місті знову стало змішане водопостачання (поверхневі та підземні води).
VII	1961-1997	<ul style="list-style-type: none"> • 1961 р. – збудовано 1-у чергу Деснянської водопровідної станції (водозабір з Десни). • Місто отримало 3 джерела водопостачання: річки Дніпро та Десна, артезіанська вода. • 1964 р. – споруджено 1-й блок Бортницької станції аерації (станція біологічного очищення стічних вод)

1	2	3
VIII	від 1997 до наших днів	<ul style="list-style-type: none"> • 1991 р. – споруджено перші 17 бюветних комплексів на підземні води; у 2022 р. – їх налічувалося 203 (не всі діючі). Таким чином, поряд з централізованим налагоджено децентралізоване водопостачання. • Централізованим водопостачанням в 2019 р. подано води киянам: Деснянська ВС – 438 тис. м³/добу (66 %); Дніпровська ВС – 166 тис. м³/добу (25 %); артезіанський водопровід – 59 тис. м³/добу (9 %)

Запровадження в Києві 1872 р. централізованого водопроводу з одного боку покращило санітарно-гігієнічні умови в місті, з іншого – створило додаткові складнощі в цьому аспекті. Адже за наявності централізованого водопостачання було відсутнє централізоване водовідведення. Тому в 1894 р. було споруджено систему каналізації з подачею стічних вод для очищення на поля фільтрації, розташовані на правобережній заплаві Дніпра вище Києва.

Розташування полів фільтрації вище міста та зростання обсягів стічних вод призвело до того, що вже на початку 1900-х років у водопровідній воді почали виявляти кишкову паличку. А в 1907 р. в Києві виникла епідемія холери (спалахнула VI пандемія холери у світі). Це змусило відмовитися від забору води з Дніпра і перейти з 1908 р. на водопостачання підземними водами, які є більш захищеними від забруднення. А систему каналізації міста спрямували в Либідський самотічний колектор, збудований 1909 р. з відстійниками під Лисою горою нижче Києва.

В 1934 р. столицю Української Соціалістичної Радянської Республіки (УСРР) з Харкова було перенесено до Києва, місто почало бурхливо розвиватися, населення – зростати (846 тис. осіб). Місту необхідні були більші обсяги води. Тому в 1939 р. збудували Дніпровську водопровідну станцію (ВС) продуктивністю близько 100 тис. м³/добу із забором води з Дніпра (нижче м. Вишгорода, зараз Оболонський район Києва). Загальна продуктивність водопроводу зросла майже до 200 тис. м³/добу. Таким чином, у місті було запроваджено водопостачання з поверхневих та підземних джерел. Із 109 тис. м³/добу питної води, поданої Києву в 1939 р., 72 % становили підземні води, 28 % – дніпровська вода.

Розвиток Києва після Другої світової війни (1941-1945 рр.) знову поставив питання про додаткові обсяги води для міста. В 1961 р. – збудовано першу чергу Деснянської водопровідної станції. Її водозабірний ківш розташовано в 3 км вище гирла р. Десна на лівому березі. По водотоках довжиною близько 10 км вода надходить на Деснянську водопровідну станцію для водопідготовки (масив Воскресенка) – рис. 11.2. Таким чином, місто отримало три джерела водопостачання: річки Дніпро та Десна, підземні води.

В 1961 р. із 486 тис м³/добу питної води, поданої Києву, 52 % становила дніпровська вода, 36 % – підземна, 12 % – деснянська.

А вже в 1965 р. із 698 тис м³/добу питної води, поданої Києву, 38 % становила деснянська вода, 36 % – дніпровська, 26 % – підземна. З того часу

Деснянська ВС була на першому місці серед джерел водопостачання Києва (табл. 11.2).

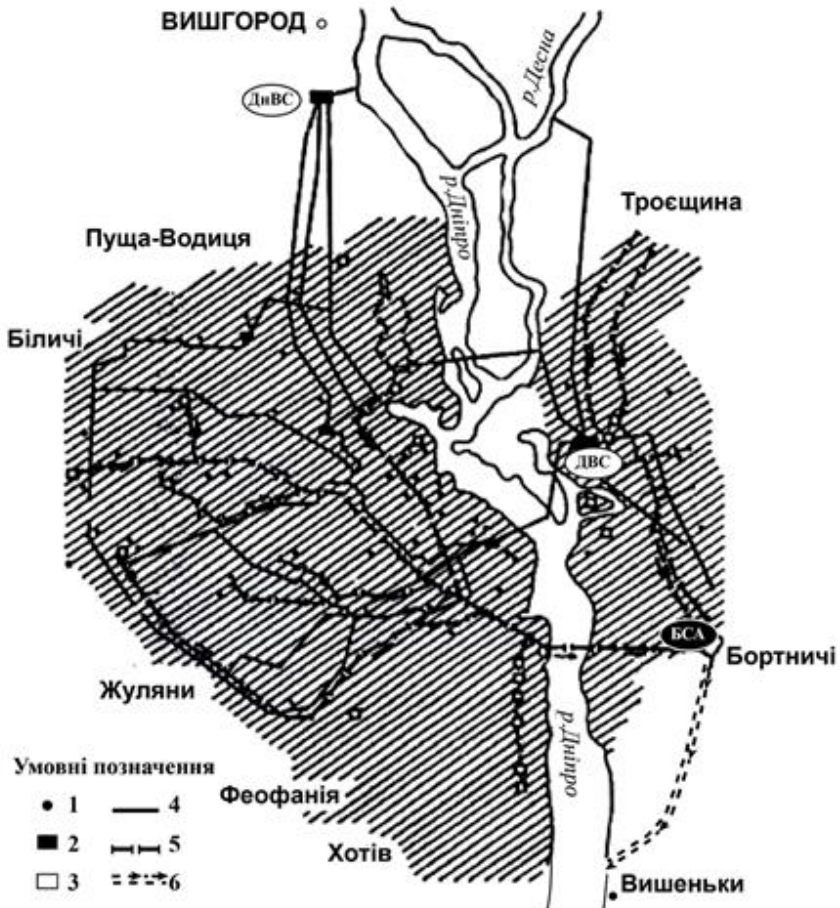


Рис. 11.2. Картохема організації водопостачання і водовідведення в Києві: 1 – артезіанські свердловини; 2 – водопровідні насосні станції; 3 – каналізаційні насосні станції; 4 – водоводи; 5 – каналізаційні колектори; 6 – магістральний канал відведення очищених стічних вод з БСА; ДнВС – Дніпровська водопровідна станція; ДВС – Деснянська водопровідна станція; БСА – Бортницька станція аерації [23]

Варто зазначити про такий аспект – підземна артезіанська вода, яка добувається свердловинами по всьому місту, напряду не подається споживачам. Вона змішується з водою з поверхневих джерел (дніпровською або деснянською) і в такому вигляді надходить у водопровід. Це так зване змішане водопостачання. До того ж, підземні води мають дещо вищу мінералізацію (400-600 мг/дм³) порівняно з річковими (300-320 мг/дм³). Це ж стосується і твердості (жорсткості) води.

Таблиця 11.2. Зміна частки Дніпра, Десни і артезіанських вод у централізованому водопостачанні Києва в різні роки (1872-2021 рр.), % [23]

Роки	Дніпро	Десна	Підземні води
1872-1907	100	-	-
1908-1939	-	-	100
1939	28	-	72
1961	52	12	36
1965	36	38	26
1991	28	58	14
2021	25	66	9

В 1965 р. було збудовано нові очисні споруди – перший блок Бортницької станції аерації (проектна потужність 600 тис. м³/добу). Таким чином у середині 1960-х років була сформована і збалансована загальна схема водопостачання та водовідведення в Києві, яка зберігається й до нашого часу (див. рис. 11.2), не дивлячись на значне зростання населення міста (від 1,17 млн осіб у 1961 р. до 2,97 млн осіб у 2020 р.).

На сьогодні територія Києва має своє зонування згідно подачі питної води від того чи іншого джерела (рис. 11.3).

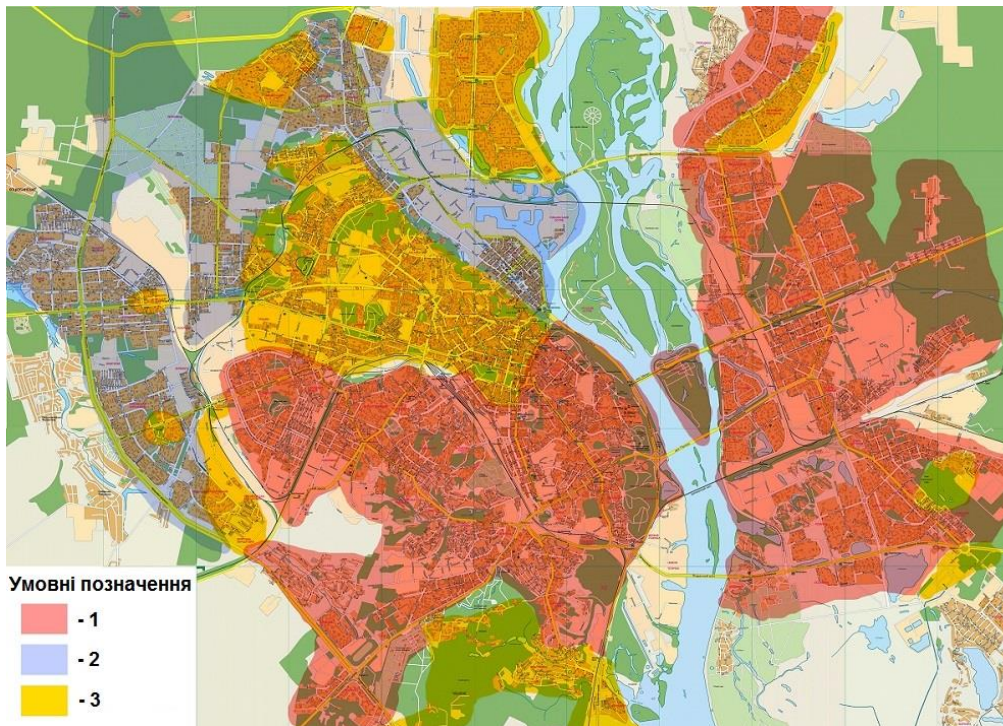


Рис. 11.3. Подача питної води на території Києва. Зони покриття: 1 – Деснянська ВС; 2 – Дніпровська ВС; 3 – змішане водопостачання (змішана підземна вода з поверхневою), 2022 р. (за даними ПРАТ «АК «Київводоканал»)

Виділяється три зони покриття питною водою: Деснянською водопровідною станцією, Дніпровською водопровідною станцією; змішаним водопостачанням (підземна вода змішана з водою поверхневих джерел). Найбільшу територію покриття має Деснянська ВС – весь лівий берег, значна частина правобережжя – від центру міста і аж до околиць Голосіївського району. Дніпровська водопровідна станція подає питну воду для районів – Оболонь, Поділ, Виноградар та частини вулиць уздовж окружної дороги. Змішане водопостачання присутнє і на лівому, і на правому березі (на рис. 11.3 виділене жовтим кольором).

11.1.2. Річки Дніпро і Десна – джерела водопостачання

Водні ресурси Дніпра і Десни біля Києва, виражені через середньорічний об'єм водного стоку, становлять: р. Дніпро – 43,4 км³/рік; р. Десна – 11 км³/рік (табл. 11.3). Як відомо, Дніпро до Києва (Верхній Дніпро) та Десна формують свої води на території Полісся, що впливає на хімічний склад та якість річкових вод. Зокрема, на дніпровську воду з середньорічною мінералізацією близько 290 мг/дм³ (табл. 11.4) має вплив р. Прип'ять, хімічний склад води якої формується на заболочених територіях і містить значну кількість гумусових речовин [34]. Це призводить до того, що в окремі періоди під час весняної повені виникає напружена ситуацію з водопідготовкою стосовно очищення води від органічних речовин на Дніпровській водопровідній станції.

Таблиця 11.3. Формування водних ресурсів р. Дніпро біля Києва [23]

Назва річки	Пункт	Об'єм стоку, км ³ /рік	Частка стоку, %	Мінералізація води, мг/дм ³
Верхній Дніпро	кордон Україна-Білорусь	18,7	43	290
Прип'ять	гирло	13,8	32	320
Десна	гирло	10,9	25	332
Дніпро	Київ	43,4	100	300

Таблиця 11.4. Середній багаторічний вміст головних йонів та мінералізація води р. Дніпро та р. Десна біля Києва, мг/дм³ [34]

Сезон	НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Σ _i
	<i>р. Дніпро</i>						
Весняна повінь	138,9	22,9	17,7	45,1	8,1	10,4	240,2
Літньо-осіння межень	169,5	23,4	16,3	47,5	15,4	113,5	280,2
Зимова межень	167,8	33,6	27,6	61,1	10,3	16,6	342,9
	<i>р. Десна</i>						
Весняна повінь	165,9	20,3	16,2	46,9	9,1	11,1	271,1
Літньо-осіння межень	224,2	24,4	18,5	61,6	12,0	16,1	351
Зимова межень	227,5	26,7	18,9	68,1	11,6	12,5	376,4

З деснянською водою з середньорічною мінералізацією близько 330 мг/дм³ такої проблеми немає. Але загрозою для заплави Десни є її

забудова. Часто – це забудова, що непередбачена генпланами розвитку населених пунктів. Останніх два десятиліття на прилеглих до Києва ділянках деснянської заплави зросла частка дачних масивів, котеджних містечок та іншої рекреаційної забудови, що не входить до складу існуючих населених пунктів.

Внаслідок будівельного буму, який переживають на початку XXI ст. околиці української столиці, можуть виникнути значні екологічні проблеми для Подесіння на відтинку, наближеному до Києва. Адже вже маємо негативний приклад з інтенсивною забудовою дніпровської заплави нижче Києва в районі Конча-Заспи.

11.1.3. Технологічні аспекти підготовки питної води на Дніпровській водопровідній станції

На прикладі Дніпровської водопровідної станції коротко охарактеризуємо основні технологічні етапи очищення річкової води і перетворення її в питну воду (рис. 11.4).

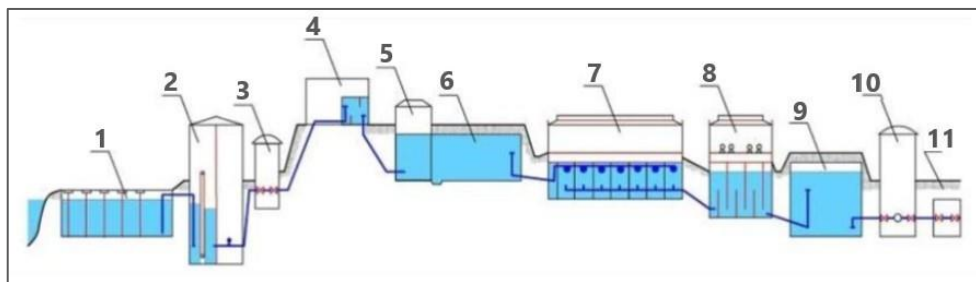


Рис. 11.4. Схема роботи Дніпровської водопровідної станції (м. Київ): 1 – водозабірні ковші; 2 – насосна станція першого підйому; 3 – камера переключень; 4 – блок змішувачів; 5 – камери реакцій; 6 – горизонтальні відстійники; 7 – фільтри; 8 – озонаторна; 9 – резервуар чистої води; 10 – насосна станція другого підйому; 11 – камера переключень

До складу технологічної лінії Дніпровської водопровідної станції входять: змішувачі; горизонтальні відстійники, суміщені з камерами реакції; швидкі фільтри; резервуар чистої води. Технологічний ланцюжок має таку послідовність:

- забір води через водозабірний ківш насосною станцією першого підйому з р. Дніпро (рис. 11.5);
- первинне хлорування води для знезараження води перед подачею в систему, для руйнації частини органічних речовин і попередження обростання обладнання водоочисних систем;
- надходження води в блок змішування, де в неї додаються коагулянти (сполуки алюмінію – гідроксихлорид і сульфат) та флокулянти (полімерні акрилати і кремнієва кислота) в результаті чого відбувається «злипання» дрібних колоїдних або завислих частинок, відповідно, збільшення їхньої маси і швидкості осідання;
- далі – надходження води на освітлення в горизонтальні відстійники, які являють собою прямокутні басейни (рис. 10.6);

- після горизонтальних відстійників – надходження освітленої води на піщані фільтри, в яких вона проходить через фільтруючий шар (зверху вниз);
- профільтрована вода може подаватися на блок озонування; озон є дуже сильним окиснювачем, який руйнує молекули органічних речовин і мікроорганізмів, забезпечуючи освітлення та знезараження води; варто зазначити, що блок озонування на Дніпровській водопровідній станції існує з 1972 р., але до цих пір застосовується нерегулярно;
- знезараження води в резервуарі-накопичувачі чистої води за допомогою діоксиду хлору; вторинне хлорування забезпечує бактеріальну стабільність питної води при транспортуванні водопровідними мережами до абонентів;
- подача готової питної води насосною станцією другого підйому у водопровідну мережу міста.



Рис. 11.5. Водозабірний ківш Дніпровської водопровідної станції, м. Київ [17]



Рис. 11.6. Горизонтальні відстійники Дніпровської водопровідної станції, м. Київ [17]

Якість питної води в централізованій системі господарсько-питного водопостачання Києва цілодобово контролюється трьома хіміко-бактеріологічними лабораторіями ПрАТ «АК «Київводоканал». Щодоби

відбирається та аналізується приблизно 1000 проб води, які контролюються за 22 показниками. Щомісяця – за 50 показниками, а у широкому спектрі інгредієнтів питна вода щорічно досліджується за 80 показниками. Контроль за показниками якості питної води здійснюється щодня в 36-ти контрольних точках мереж, 19-х насосних водопровідних станціях, 123 артезіанських свердловинах. Результати лабораторного моніторингу засвідчують, що якість питної води в Києві відповідає нормативним вимогам [17].

Для ілюстрації, за даними лабораторного аналізу води, виконаного структурними підрозділами ПрАТ «АК «Київводоканал» 26.04.2021 р., було зроблено порівняння: складу води р. Дніпро (джерело водопостачання) та питної води, отриманої на Дніпровській водопровідній станції; складу води р. Десна (джерело водопостачання) та питної води, отриманої на Деснянській водопровідній станції. Порівнювалися бактеріальні (табл. 11.5), фізико-хімічні (табл. 11.6) та хімічні (табл. 11.7) показники якості води.

Таблиця 11.5. Бактеріальні показники якості води річок Дніпра та Десни та питної води на виході з Дніпровської та Деснянської водопровідних станцій Києва, 26.04.2021 (за даними ПрАТ «АК «Київводоканал»)

Назва показника	Одиниці вимірювання	Дніпро (річкова вода)	Десна (річкова вода)	Питна вода		
				ДСанПін 2.2.4-171-10	Дніпровська ВС	Деснянська ВС
Загальне мікробне число	КУО/см ³	8	100	< 50	1	2
Загальні коліформи	КУО/100 см ³	81	181	відсутні	відсутні	відсутні
E.coli	КУО/100 см ³	0	9	відсутні	відсутні	відсутні
Ентерококи	КУО/100 см ³	-	-	відсутні	відсутні	відсутні

Таблиця 11.6. Фізико-хімічні показники якості води річок Дніпра та Десни та питної води на виході з Дніпровської та Деснянської водопровідних станцій Києва, 26.04.2021 (за даними ПрАТ «АК «Київводоканал»)

Назва показника	Одиниці вимірювання	Дніпро (річкова вода)	Десна (річкова вода)	Питна вода		
				ДСанПін 2.2.4-171-10	Дніпровська ВС	Деснянська ВС
Запах	бали	1	2	<2	1	2
Забарвленість	градуси	72	33	<20 (35)*	10	13
Каламутність	мг/ дм ³	1,9	7,5	<0,58	0,3	0,5
Смак	бали	-	-	<2	1	1
pH	одиниці pH	8,05	8,25	6,5 - 8,5	6,75	7,65
Твердість	ммоль/дм ³	3,35	3,8	7,0 (10,0)*	3,3	3,7

Примітка. * Норматив, зазначений у дужках, мало право використовувати підприємство питного водопостачання до 1 січня 2022 р. в окремих випадках, пов'язаних

з особливими природними умовами та технологією підготовки питної води, що не дозволяє довести якість питної води до жорсткішого нормативу, про що повинно бути зазначено у технологічному регламенті або іншому документі з описом технологічного процесу виробництва питної води [47].

Таблиця 11.7. Хімічні показники якості води річок Дніпра та Десни та питної води на виході з Дніпровської та Деснянської водопровідних станцій Києва, 26.04.2021 (за даними ПрАТ «АК «Київводоканал»)

Назва показника	Одиниці вимірювання	Дніпро (річкова вода)	Десна (річкова вода)	Питна вода		
				ДСанПіН 2.2.4-171-10	Дніпровська ВС	Деснянська ВС
Fe, загальне	мг/дм ³	0,85	0,59	< 0,2 (1,0) *	0,18	0,12
Cl, залишковий	мг/дм ³	-	-	< 1,2	-	1,02
Діоксид хлору	мг/дм ³	-	-	< 0,1	0,1	-
Алюміній	мг/дм ³	0,04	0,04	< 0,50	0,1	0,14
Амоній	мг/дм ³	0,38	0,42	< 0,5 (2,6)*	0,14	0,19
Нітрити	мг/дм ³	0,02	0,036	< 0,5	0,003	0,011
Перманганатна окиснюваність	мгО/дм ³	13,2	9	< 5,0	4,9	4,7

При порівнянні конкретних показників якості води спостерігаються деякі відмінності у їхньому вмісті в річкових водах Дніпра і Десни. Зокрема, весною 2021 р. у воді р. Десни виявлялося більше мікроорганізмів (коліформи) – 181 КУО/100 см³ ніж у воді Дніпра (81 КУО/100 см³). Деснянська вода мала більше мікробне число (100 КУО/ см³) порівняно з дніпровською (8 КУО/ см³) – див. табл. 11.5.

З іншого боку, у воді р. Дніпро відзначається дещо більший вміст заліза (0,85 мг/дм³) порівняно з деснянською водою – 0,59 мг/дм³; вища перманганатна окиснюваність (13,2 мгО/дм³) порівняно з деснянською (9,0 мгО/дм³) – див. табл. 11.6.

Після технологічної обробки річкової води на Деснянській і Дніпровській водопровідних станціях, питна вода, яка отримується (див. табл. 11.5, 11.6, 11.7), відповідає чинним нормативам [47].

11.1.4. Скорочення використання питної води в Києві

Централізоване водопостачання. В цілому, загальна проектна потужність господарсько-питного водопроводу м. Києва становить 2100 тис. м³/добу: Дніпровська водопровідна станція – 600 тис. м³/добу (29 %); Деснянська водопровідна станція – 1080 тис. м³/добу (51 %); артезіанський водопровід – 420 тис. м³/добу (20 %). Артезіанський водопровід (364 свердловини) експлуатує сеноман-келовейський та середньорурський водоносний горизонти, глибиною від 90 до 340 м.

Середньодобовий підйом води підрозділами ПрАТ «АК «Київводоканал» становив: 2018 р. – 720 тис. м³/добу; 2019 р. – 712 тис. м³/добу; 2020 р. – 694 тис. м³/добу. Фактична середньодобова подача питної води у міську

водопровідну мережу Києва становила: 2018 р. – 669 тис. м³/добу; 2019 р. – 663 тис. м³/добу, 2020 р. – 650 тис. м³/добу (табл. 11.8).

Порівняння показників водопостачання Києва за 1961-2020 рр. показує тенденцію до зменшення подачі води місту. У табл.11.8 роки обрано наступним чином: 1961 р. – введено Деснянську ВС, 1965 р. – введено Бортницьку станцію аерації; 1991 р. – рік максимальної подачі води місту (це також рік максимального водокористування по всій Україні); 2018-2020 рр. – сучасні роки з наявністю надійних статистичних даних.

Таблиця 11.8. Порівняльна характеристика середньодобової подачі питної води у централізовану водопровідну мережу Києва та надходження стічних вод на очисні споруди міста в окремі роки (1961-2020 рр.) [23]

Рік	Населення, тис. осіб	Подача питної води місту, тис. м ³ /добу	Питоме водокористування, л/добу на 1 людину	Частка джерел водопостачання, %			Обсяг стічних вод, тис. м ³ /добу
				Дніпрівська ВС	Деснянська ВС	Артезіанські води	
1961	1174	486	414	52	12	36	365
1965	1332	698	524	36	38	26	520
1991	2654	1563	588	28	58	14	1446
2018	2934	669	225	25	66	9	726
2019	2951	663	223	25	66	9	739
2020	2967	650	219	25	66	9	724

Показники подачі питної води у централізовану водопровідну мережу Києва в 2018-2020 рр. у 2,4 рази менші, ніж у 1991 р. (рік максимальної подачі води) – 1 млн 563 тис. м³/добу. Якщо перейти до питомого показника (м³/добу на 1 людину), то маємо наступне зменшення порівняно з 1991 р.: у 2018 р. – у 2,6 раза; 2019 р. – у 2,6 раза; 2020 р. – у 2,7 раза менше.

Бюветні комплекси. Починаючи з 1991 р. в Києві також споруджено 203 бюветні комплекси для децентралізованого водопостачання киян підземною водою (рис. 11.7).



Рис. 11.7. Один з бюветних комплексів підземних вод для децентралізованого водопостачання у Києві

Бюветні комплекси перебувають на балансі створеного в 2009 р. комунального підприємства «Київводфонд» (в 2021 р. працювало 175 комплексів) [23]. За інформацією КП «Київводфонд» в 2021 р. кияни спожили 108,6 тис. м³ води з мережі бюветних комплексів міста. Якщо за цими даними розрахувати питомий показник (л/рік на 1 людину), то на одного мешканця столиці припадає всього лише близько 36,5 л/рік води, взятої з бюветних комплексів. Властиво, що ця цифра зовсім не співмірна з подачею питної води у централізовану водопровідну мережу (див. табл. 11.8). В той же час, варто зазначити, що у киян є альтернатива у забезпеченні себе якісною водою для пиття і приготування їжі.

Економічний чинник. Як відзначають у ПрАТ «АК «Київводоканал» скорочення об'ємів водоспоживання, а відтак і подачі води, відбулося в основному по групі споживачів «населення» у зв'язку із зміною порядку розрахунків житлово-експлуатаційних організацій з киянами за послуги з холодного водопостачання та водовідведення [11, 12]. Зміна порядку розрахунків відбувалася в 2003 р. згідно із розпорядженням Київської міської держадміністрації від 26.12.2002 № 2308 «Про упорядкування розрахунків за надані послуги з водопостачання та водовідведення...» та постанови Кабінету Міністрів України від 03.07.1995 № 483 «Про впровадження засобів обліку витрачання і приладів регулювання споживання води та теплової енергії в побуті». Тоді в Києві вперше за багато десятиліть перейшли на розрахунки з населенням за фактично спожиті послуги, які визначалися загальнобудинковими лічильниками, а не нормами водоспоживання. Це спонукало також мешканців встановлювати індивідуальні лічильники холодної та гарячої води у квартирах. Крім того, проявилася тенденція щодо зменшення споживання населенням гарячої води в основному за рахунок встановлення ними квартирних бойлерів для підігріву води.

Важливим чинником щодо зменшення водоспоживання стало поступове зростання тарифів на послуги водопостачання та водовідведення. Як видно з табл. 11.9, за 25 років (1996-2021 рр.) ціна на холодну воду в Україні зросла в 100 разів.

Таблиця 11.9. Динаміка цін на холодну воду при централізованому водопостачанні населенню в Україні, грн за 1 м³ (укладено за [23])

Рік	1996	2000	2007	2010	2013	2014
Ціна, грн /1 м ³	0,22	0,82	1,48	2,86	3,18	7,46
Рік	2015	2017	2018	2019	2020	2021
Ціна, грн /1 м ³	10,24	13,77	15,49	19,60	21,76	21,76

Станом на 2022 р. у населення сформувалося ставлення до питної води як до товару, за споживання якого необхідно платити. В результаті, кияни стали раціональніше використовувати питну воду, запобігати втратам води із квартирної санітарно-технічного обладнання.

Внесок джерел водопостачання Києва в 2018-2020 рр. наступний: Деснянська водопровідна станція – 66 %; Дніпровська водопровідна станція – 25 %; артезіанський водопровід – 9 %.

Структура водокористування в Києві в 2018-2020 рр. має наступний вигляд: промислове – 66,40%; господарсько-питне – 33,47%; сільськогосподарське і зрошення – 0,13%.

11.1.5. Бортницька станція аерації – очищення стічних вод

Централізоване водопостачання міста в наш час неодмінно передбачає і централізоване водовідведення очищених стічних вод у водний об'єкт. Приймачем очищених стічних вод Києва є Дніпро. Така вже доля великих рік – і поїти міста, і приймати в себе зворотні води цих міст.

Нашим сучасникам певною мірою властиво ідеалізувати якість природного середовища в минулі часи, зокрема і водних об'єктів. Але варто відзначити, що і 150-170 років тому проблема забруднення поверхневих вод вже існувала. Першими про це заговорили іхтіологи через зменшення вилову риби в річках. В 1863 р. професор Київського університету Св. Володимира К.Ф. Кесслер писав про згубний вплив «нечистот», що стікають із заводів і фабрик, на рибне населення р. Дніпро [25]. Найбільшими забруднювачами водних об'єктів на той час були цукрові заводи.

У 1887 р. вивченням забруднення Дніпра в межах Києва займався М.М. Кублі. Він відзначав, що на ділянці Дніпра у 8 верст від Подолу майже зникають забруднювальні речовини, що потрапляють з цього району міста [25]. Багато нечистот змивалося в річку під час весняної повені, коли Дніпро затоплював навіть міські квартали Києва (Поділ).

Як відзначалося вище, в Києві проміжок часу між спорудженням першого централізованого водопроводу в Києві (1872 р.) та введенням першої централізованої каналізації з очисними спорудами на правобережжі Дніпра вище Києва (1894 р.) становив 22 роки. У 1909 р. очисні споруди було перенесено нижче Києва під Лису гору – правобережжя Дніпра, гирлова частина р. Либідь. Після руйнації відстійників після вибуху у 1918 р. стічні води Києва, в основному, безпосередньо скидалися в Дніпро.

Загальна характеристика Бортницької станції аерації. В 1965 р. на лівобережжі Дніпра було споруджено 1-й блок Бортницької станції біологічного очищення стічних вод Києва, яка згодом стала називатися Бортницькою станцією аерації – БСА (2-й блок – 1976 р., 3-й – 1987 р.). Проектна потужність кожного з трьох блоків — 600 тис. м³/добу. БСА приймає 100 % стічних вод міста з випуском очищених стічних вод у р. Дніпро нижче Києва (в Канівське водосховище) – див. рис. 11.2.

Середньодобове відведення та очищення стічних вод на Бортницьку станцію аерації становило, тис. м³/добу: 2018 р. – 726; 2019 р. – 739; 2020 р. – 724 (див. табл. 11.8). Показники водовідведення 2018-2020 рр. у 2 рази менші, ніж у 1991 р. (рік максимального водопостачання і водовідведення) – 1 млн 446 тис. м³/добу. Варто відзначити, що в сучасні роки, на відміну від попередніх, обсяг водовідведення перевищує обсяг водопостачання. Це пов'язано з надходженням на БСА стічних вод деяких водопровідно-каналізаційних господарств прилеглих районів Київської області.

Очищення стічних вод на БСА виконується в послідовності, зображеній на рис. 11.8. Етапи очищення стічних вод на БСА:

- механічне очищення стічних вод: плаваюче сміття видаляється на ґратах (грабельне відділення) – рис. 11.9;

- у піскоуловлювачах відбувається видалення важких мінеральних домішок (головним чином піску);
- у первинних відстійниках затримуються грубодисперсні мінеральні завислі речовини, нерозчинні органічні домішки, плаваючі речовини, жири;

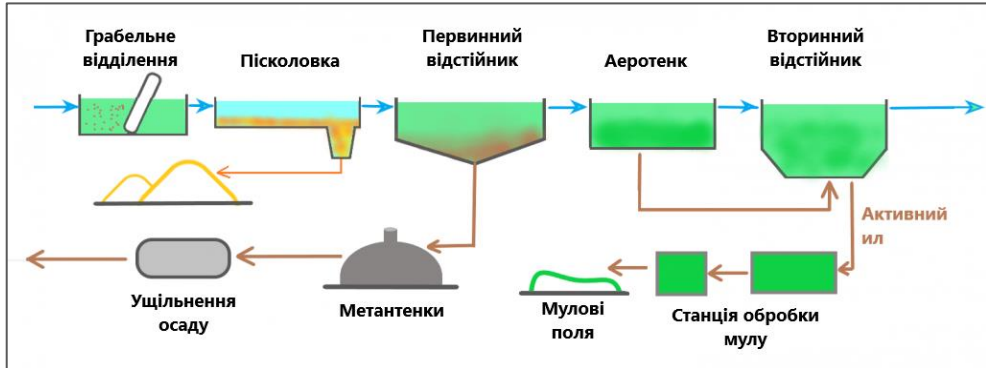


Рис. 11.8. Схема очищення стічних вод на Бортницькій станції аерації, м. Київ

- освітлена вода, яка містить дрібнодисперсну суспензію, розчинні та колоїдні органічні речовини, надходить до аеротенків, де відбувається біологічне окиснення органічних речовин активним мулом при інтенсивному насиченні рідини повітрям (рис. 11.10);
- мулова суміш після аеротенків надходить на вторинні відстійники, де проходить механічне відстоювання активного мулу, який насосами безперервно усувається з відстійників, а потім насосами ж повертається знову до аеротенків;
- біологічно очищена стічна вода з вторинних відстійників надходить до відповідного каналу, а з нього – до магістрального каналу, який спрямований у Дніпро.



Рис. 11.9. Механічне очищення стічних вод (грабельне відділення) на Бортницькій станції аерації, м. Київ [17]

Очищені стічні води БСА з відповідних каналів трьох блоків потрапляють в магістральний канал, призначений для відведення зворотних вод у р. Дніпро (Канівське водосховище). До будівництва Канівського водосховища (1974 р.) зворотні води магістральним каналом самопливом надходили в р. Дніпро. Після будівництва водосховища і підйому рівня води, було споруджено захисні дамби для захисту сільгоспугідь та населених пунктів Бортничі, Вишеньки, Гнідин Бориспільського району від затоплення та підтоплення. Тому на відстані близько 1 км від урізу води Канівського водосховища магістральний канал відгороджений Бортницькою насосною станцією Держводагентства України, яка здійснює безпосереднє перекачування зворотних вод БСА у водосховище.



Рис. 11.10. Споруди для біологічного очищення стічних вод на Бортницькій станції аерації, м. Київ [17]

Проблеми Бортницької станції аерації. За існуючими на час проектування Бортницької станції аерації нормативами технології, що запроваджувалися, мали забезпечити дотримання в очищеній стічній воді нормативів за 3 показниками – завислі речовини, БСК₂₀ (біологічне споживання кисню) та вміст розчиненого кисню. Очисні споруди повинні були вилучати із стічних вод лише нерозчинені речовини та органічні забруднювальні речовини. Всі блоки мають однакові технологічні схеми.

Наразі, для Бортницької станції аерації затверджено 13 основних показників якості очищених стічних вод (завислі речовини, мінералізація, Cl⁻, SO₄²⁻, БСК₅, ХСК, PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, Fe, нафтопродукти, СПАР (синтетичні поверхнево-активні речовини) відповідно до нормативів гранично допустимого скиду (ГДС) та тимчасово погодженого скиду (ТПС) речовин у Канівське водосховище із зворотними водами Бортницької станції аерації. Деяких з цих нормативів можна легко досягнути на існуючих спорудах (завислі речовини, БСК) [23].

Але на БСА виникають проблеми з досягненням нормативних показників по біогенних сполуках (азоту та фосфору – азот амонійний, нітрити, нітрати, фосфати), на досягнення яких станція не запроектована, а вимоги до

них стають більш жорсткими з кожним роком. Сьогодні досягати якісного очищення за цими показниками можна лише залучивши до роботи всі технологічні споруди з підвищеними витратами повітря на біологічне очищення (і, як наслідок – значним збільшенням витрат електроенергії). Тому за проектною потужності 3-х блоків Бортницької станції аерації 1,8 млн м³/добу, її теперішня фактична потужність (600-800 тис. м³/добу) є максимальною, при якій можливо забезпечувати нормативне очищення стічних вод.

Таким чином, найголовнішим завданням на сьогодні є впровадження проекту повної реконструкції БСА із заміною технологічних споруд очищення стічних вод на сучасні та впровадженням нової технологічної лінії обробки та утилізації осадів стічних вод. В разі неприйняття термінових заходів, ситуація буде ще більше погіршуватися і може призвести до скиду неочищених стічних вод Києва в р. Дніпро і виникненню екологічної катастрофи.

Як відзначали в ПрАТ «АК «Київводоканал», станом на 2020 р. було повністю завершено розробку проектною документації стадії «Проект» і «Робоча документація» та розпочата тендерна процедура міжнародних відкритих торгів на закупівлю робіт (вибору генеральної підрядної організації) по проекту. Орієнтовний строк початку основного етапу робіт – початок 2021 р., завершення – 2026 р. [12]. Проектом передбачено використання сучасних та ефективних технологічних схем очищення стічних вод, що мають широке впровадження на очисних спорудах великих міст світу. Війна, розпочата Росією проти України 24 лютого 2022 р., завадила реалізації планів.

11.2. Водопостачання та водовідведення в Луцьку

11.2.1. З історії водопостачання та водовідведення в місті

Історія централізованого водопостачання в місті над річкою Стир, за даними комунального підприємства «Луцькводоканал», починається з 1925 р., коли на засіданні комітету з соціально-економічних питань міського магістрату було ухвалено проект будівництва водопроводу [13]. Нагадаємо, що протягом 1921-1939 рр. Луцьк був столицею Волинського воєводства у складі Польщі.

До 1930-х років магістрат отримав низку замовлень на спорудження водопроводу. Одним із перших подав заяву з необхідними технічними розробками власник міської електростанції.

На початку 1930-х років в Луцьку було розпочато будівництво водозабору з р. Стир, споруди для очищення річкової води. Будувалися також водопровідні і каналізаційні мережі. Роботи виконувалися вручну за допомогою кирки, лопати і тачки. В 1937 р. всі мешканці центру міста мали централізоване водопостачання. З насосної станції Біваки по вул. Дубнівській йшов головний водовід, що розгалужувався майже на 30 вулиць. Загальна протяжність водопровідної мережі становила понад 18 км.

Особливо бурхливо місто розвивалося в 60-70-х роках ХХ ст. Тоді ж почалося будівництво потужних промислових підприємств, що призвело до стрімкого росту населення. В 1964 р. був розроблений новий генеральний план розвитку міста, за яким до території Луцька було включено 11 приміських сіл. У 1973 р. було затверджено нові межі міської території. Розгорнулася

забудова великих житлових масивів. Здійснено перехід на водозабір підземних вод для централізованого водопроводу.

Станом на 2023 р. водопостачання Луцька здійснюється із підземних джерел п'яти водозаборів: Дубнівського, Ново-Дубнівського, Східного, Південно-Східного та Омелянівського. Загальна кількість свердловин – 47 шт. Глибина їх коливається від 26 до 170 м. Загальна протяжність водопровідних мереж (станом на 01.01.2017 р.) становила 315,3 км. Експлуатуються сталеві, чавунні, азбестоцементні, пластикові та поліетиленові труби широкого діапазону.

Для водовідведення стічних вод слугував колектор Глушець (діаметром труби 1000 мм), що підключався до насосної станції, яка відкачувала воду з міських луків (нині територія парку імені Лесі Українки), а також каналізаційні стічні води з вулиць.

Лише в 1974 р. була введена в експлуатацію перша черга міських каналізаційних очисних споруд потужністю 40 тис. м³ стічних вод на добу (с. Липино Луцького району Волинської обл.). Загальна протяжність каналізаційних мереж (станом на 01.01.2017 р.) – 217,3 км.

11.2.2. Гідрографічна мережа території міста

Гідрографічну мережу на території Луцька – обласного центру Волинської області (площа міста – 42 км², населення на 2020 р. – 217,5 тис. осіб) безпосередньо формують річка Стир, яка слугує певною віссю міста, та її невеликі притоки – Сапалаївка, Омеляник, Жидувка (рис. 11.11).

На території міста знаходиться гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Теремнівські ставки» (на р. Сапалаївка) та загальнозоологічний заказник місцевого значення «Гнідавське болото» (на лівобережній заплаві Стиру), що має гідрологічний зв'язок з річкою [10].

За межами міської смуги Луцька знаходиться р. Черногузка – найбільша ліва притока Стира в цьому регіоні (довжина – 49 км, площа водозбору – 527 км²), на якість води якої впливають стічні води луцького підприємства – Гнідавського цукрового заводу, який скидає у Черногузку виробничі стічні води після очищення на локальних очисних спорудах.

У минулому уздовж правобережної заплави Стиру, в межах нинішнього парку імені Лесі Українки і поза ним, протікала р. Глушець (або, як дехто вважає, це було друге русло Стиру), яка «зникла» у 1926 р., коли на цьому місці почали виконувати гідротехнічні роботи і прокладати каналізаційний колектор. В цей час почалося зведення протиповеневої дамби і прокладання автомагістралі, про що сьогодні нагадує лише однойменна назва вулиці вздовж парку – Глушецька.

Варто відзначити, що колись Стир був судноплавним, а Луцьк був річковим портом. Судноплавство на річці розпочалося ще до Другої світової війни (1939-1945 рр.), здійснювалося на відтинку від Берестечка до гирла Стиру. Річкова пристань у Луцьку була на правому березі в районі впадіння р. Сапалаївка. На Стиру підтримувався судновий фарватер. У 1950-і рр., наприклад, існував пасажирський маршрут на річковому катері: Луцьк – Пінськ (Білорусь). Але розвиток автомобільного транспорту витіснив річкові перевезення. Зокрема, пасажирські перевезення по Стиру припинилися у 1974 р., а вантажні – у 1996 р.



Рис. 11.11. Картосхема гідрографії території м. Луцьк [10]

Ці приклади показують, наскільки цінними є матеріали з дослідження гідрографії будь-якого міста та його околиць. Оскільки з плином часу місто, розвиваючись та зростаючи, трансформує природні ландшафти та водні об'єкти, що призводить навіть до зникнення деяких з них.

Річка Стир – права притока Прип'яті, бере початок на Волинській височині недалеко від с. Пониква Золочівського району Львівської області. Стир протікає Львівською, Волинською і Рівненською областями (територія Волинської височини та Поліської низовини), після чого перетинає межу з Брестською областю Білорусі, де двома рукавами впадає у Прип'ять (басейн Дніпра).

Довжина річки – 494 км, з них 70 км на території Білорусі, площа водозбірного басейну – 13100 км², з них 493 км² на території Білорусі. Протяжність Стиру на території: Волинської області – 175 км; Луцького району Волинської області – 38 км; м. Луцька – близько 11, 2 км (табл. 11.10).

Згідно класифікації річок за площею водозбору за Водним кодексом України 1995 р. (малі річки – до 2 тис. км²; середні – 2-50 тис. км²; великі – понад 50 тис. км²) Стир належить до середніх річок.

Хімічний склад води р. Стир гідрокарбонатно-кальцієвий з мінералізацією, що змінюється за сезонами: від 371,0 мг/дм³ під час весняної повені – до 502,6 мг/дм³ у зимову межень (табл. 11.11).

Таблиця 11.10. Морфометричні характеристики річок, що протікають територією м. Луцька

Назва річки (п – права; л – ліва притока головної річки)	Головна річка	Площа водозбору, км ²	Довжина, км	Протяжність по території Луцька, км	Середня витрата води річки, м ³ /с
Стир (п)	Прип'ять	13100	494	11,2	49,5 (30,8*)
Сапалаївка (п)	Стир	39,2	12,4	8,3	0,25
Омеляник (л)	Стир	40	12,6	3,5	0,18
Жидувка (л)	Стир	9,5	4	4	0,03

Примітка. * - витрата води на гідрологічному посту р. Стир - Луцьк

Таблиця 11.11. Середні багаторічні концентрації головних йонів та мінералізація води р. Стир – м. Луцьк, мг/дм³ [10]

Сезон	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Мінералізація
Весняна повінь	224	32,2	22,5	68,7	11,5	12,1	371,0
Літньо-осіння межень	253	29,9	20,9	71,2	14,7	13,5	403,2
Зимова межень	304	34,8	39,7	91,9	17,9	14,3	502,6

Вміст біогенних речовин у річковій воді знаходиться у межах зонального фону (табл. 11.12).

Таблиця 11.12. Середні багаторічні концентрації загального заліза, біогенних речовин (мінерального фосфору, кремнію, сполук азоту) та значення біхроматної окиснюваності (БО) у воді р. Стир – м. Луцьк, мг/дм³ [10]

Сезон	Fe _{заг.}	P _{мін.}	Si	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	БО
Весняна повінь	0,03	0,048	3,1	0,034	0,006	0,78	12,4
Літньо-осіння межень	0,04	0,054	3,3	0,021	0,005	0,95	17,8
Зимова межень	0,06	0,074	5,7	0,067	0,011	0,80	13,3

В цілому, такий природний хімічний склад води р. Стир вказує на можливість її використання (якщо виникне потреба) як джерела господарсько-питного водопостачання за умови контролю вмісту специфічних

забруднювальних речовин. Але наразі вода р. Стир у водопостачанні Луцька не задіяна, оскільки для цього використовуються підземні води.

11.2.3. Водопостачання

Для водопостачання міста Луцька використовуються підземні води водоносного горизонту у відкладах турон-селонського ярусу (47 артезіанських свердловин), які після певної водопідготовки - знезалізнення (рис. 11.12) та знезараження хлоруванням на КП «Луцькводоканал» (цех насосних та очисних споруд водопроводу) подаються лучанам.



Рис. 11.12. На станції знезалізнення підземних вод КП «Луцькводоканал»

Дубнівський майданчик водопідготовки є головним джерелом водопостачання міста, який забезпечується водою із 37-и свердловин Дубнівського, Ново-Дубнівського та Східного водозаборів.

Гнідавський майданчик водопідготовки забезпечує водою південну частину міста і обробляє воду 3-х свердловин Південно-Східного водозабору і однієї свердловини, яка знаходиться на самому майданчику. Омелянівський майданчик водопідготовки забезпечується Омелянівським водозабором із 6-и свердловин.

Водопостачання місту в останні роки становить близько 16 млн. м³/рік. Установлена виробнича потужність луцького водопроводу 82 тис. м³/добу.

У табл. 11.13 наведено показники якості питної води, що подається мешканцям та іншим користувачам у м. Луцьку насосними станціями Дубнівського, Омелянівського та Гнідавського водогонів.

Питна вода досить високої якості, що має мінералізацією близько 398-472 мг/дм³, за всіма показниками відповідає нормативам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затвердженим МОЗ України 12.05.2010 р.

Таблиця 11.13. Якість питної води, що подається користувачам з різних водогонів м. Луцька (за даними КП «Луцькводоканал», 2021 р.)

№з/п	Назва показника	Одиниця виміру	ГДК за ДСанПІН 2.2.4-171-10	Дубнівський водогін	Омельнівський водогін	Гнідавський водогін
1.	Запах при 20 ⁰ С	бали	не більше 2	0	0	0
2.	Запах при 60 ⁰ С	бали	не більше 2	0	0	0
3.	Присмак	бали	не більше 2	0	0	0
4.	Кольоровість	градуси	не більше 20 (35)	7	6	6
5.	Каламутність	мг/дм ³	не більше 1,5 (2)	0,6	0,32	0,51
6.	рН	одиниці рН	6,5-8,5	7,1	7,21	7,32
7.	Загальна твердість	ммоль/дм ³	не більше 7,00 (10,0)	7,9	7,1	7,1
8.	SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	не більше 250 (500)	40,4	18,3	36,5
9.	Cl ⁻	мг/дм ³	не більше 250 (350)	23,0	13,0	25,0
10.	Мінералізація	мг/дм ³	не більше 1000	471,8	398,8	414,4
11.	Cl-залишковий вільний	мг/дм ³	0,3-0,5	0,3	0,3	0,3
12.	NH ₄ ⁺	мг/дм ³	не більше 0,5 (2,6)	0,06	0,05	0,07
13.	Ортофосфати	мг/дм ³	не більше 3,5	0,083	0,074	0,075
14.	Fe (заг.)	мг/дм ³	не більше 0,20 (1,0)	<0,1	<0,1	0,11
15..	Mn	мг/дм ³	не більше 0,005	0,017	0,03	0,021
16.	Cu	мг/дм ³	не більше 1,0	0,031	0,018	0,042
17.	Zn	мг/дм ³	не більше 1,0	0	0	0
18.	Al	мг/дм ³	не більше 0,20 (0,50)	0	0	0

11.2.4. Водовідведення

Основний вплив Луцька на якість води р. Стир – це скид близько 16 млн м³/рік (42 тис. м³/добу) господарсько-побутових та промислових стічних вод після біологічного очищення на очисних спорудах каналізації комунального підприємства «Луцькводоканал» (цех насосних та очисних споруд каналізації), розташованих нижче міста на правому березі Стиру поблизу с. Липляни Луцького району Волинської області (рис. 11.13, 11.14). Установлена виробнича потужність очисних споруд 120 тис. м³/добу.

Система водовідведення включає в себе каналізаційні мережі, колектори, каналізаційні насосні станції та каналізаційні очисні споруди.

Водовідведення дощових стічних вод з території міста відбувається за допомогою дощової каналізації у найближчі водні об'єкти (зрештою у р. Стир) без очищення і без обліку, що впливає на якість річкової води.



Рис. 11.13. Очисні споруди каналізації КП «Луцькводоканал» (с. Липляни Луцького району) з висоти пташиного польоту

У табл. 11.14 наведено хімічний склад стічних вод, що надходять для очищення на очисні споруди каналізації м. Луцька (I) та хімічний склад стічних вод після очищення, які скидаються у р. Стир (II).

При порівнянні даних (I – вхід) та (II – вихід) видно, що очисні споруди каналізації м. Луцька працюють задовільно. Так, кількість завислих речовин в очищених стічних водах зменшується у 59 разів, значення БСК₅ – у 32 рази, значення ХСК – у 23 рази.



Рис. 11.14. Один з біологічних ставків на очисних спорудах каналізації КП «Луцькводоканал»

Таблиця 11.14. Хімічний склад стічних вод, що надходять на очисні споруди каналізації м. Луцька (I), та після їх очищення (II), що скидаються в р. Стир, мг/дм³ (за даними КП «Луцькводоканал», 2021 р.)

№	Назва показника	Значення показника у стічних водах, що надходять на очисні споруди (I)	Значення показника у стічних водах після очищення на очисних спорудах (II)
1	Завислі речовини	829	13,9
2	БСК5 (мгО ₂ /дм ³)	456	14,2
3	ХСК (мгО/дм ³)	830	36
4	Cl ⁻	99	65,4
5	SO ₄ ²⁻	59	46,9
6	Мінералізація	840	581,5
7	PO ₄ ³⁻	11,2	6,75
8	NH ₄ ⁺	42,3	14,05
9	NO ₂ ⁻	0,12	0,3
10	NO ₃ ⁻	0,5	10,7
11	Нафтопродукти	0,2	0,1
12	СПАР	2,5	0,46
13	Fe (заг.)	3,0	0,64
14	Cr ⁶⁺	0	0
15	Zn	0	0
16	Ni	0	0
17	Cu	0,031	0,024
18	Mn	0,034	0,024



Рис. 11.15. Мулові карти з осадом стічних вод на очисних спорудах каналізації КП «Луцькводоканал»

КП «Луцькводоканал» – перше підприємство серед водоканалів України, яке розробило і отримало в 2021 р. всі необхідні дозвільні документи на здійснення процесу виробництва, фасування та реалізації органічного добрива із біомулу (осаду стічних вод) для потреб сільського господарства (див. розд. 9.6). Протягом року на очисних спорудах міста утворюється близько 40 тис. т біомулу (рис. 11.15).

Переробка біомулу на добриво і його збут сільгоспідприємствам – європейська практика, яка з'являється і в Україні. Це допоможе вирішити проблему із переробкою мулу, що лишається на очисних спорудах підприємства після проходження всіх етапів очищення стічних вод. Мулові карти будуть розвантажені, а сільськогосподарські підприємства отримають безпечне добриво.

Контрольні питання до розд. 11

- 1) Коли було споруджено перший централізований водопровід у Києві?*
- 2) Коли було споруджено першу систему каналізації в Києві?*
- 3) Які водні об'єкти є джерелами водопостачання в Києві? Яка мінералізація води в них?*
- 4) Коли було споруджено Дніпровську і Деснянські водопровідні станції?*
- 5) Який технологічний ланцюжок (послідовність) підготовки питної води на Дніпровській водопровідній станції?*
- 6) В чому полягає динаміка споживання води мешканцями Києва протягом 1981-2020 рр.?*
- 7) Коли в Києві почали будувати бюветні комплекси і скільки їх нараховується?*
- 8) Коли було споруджено Бортницьку станцію аерації (БСА)?*
- 9) Які основні етапи очищення стічних вод на БСА?*
- 10) Коли було споруджено перший централізований водопровід у Луцьку?*
- 11) Коли було споруджено першу систему каналізації в Луцьку?*
- 12) Які водні об'єкти складають гідрографічну мережу Луцька?*
- 13) Які водні об'єкти є джерелами водопостачання в Луцьку? Яка мінералізація води в них?*
- 14) Які існують основні водозабори для водопостачання Луцька?*
- 15) Які існують проммайданчики водогонів для водопостачання Луцька?*
- 16) Де знаходяться очисні споруди каналізації Луцька і які основні етапи очищення стічних вод на них застосовуються?*

12. ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ РІЗНИХ ЦІЛЕЙ

12.1. Джерела забруднення природних вод

Використовуючи водні об'єкти для водопостачання необхідні враховувати можливість їхнього забруднення.

Забрудненням водних об'єктів називається перевищення забруднювальними речовинами або показниками фізичних властивостей води гранично допустимих концентрацій, яке викликає порушення норм якості води. Треба чітко розділяти і відповідно вживати поняття «забруднювач» та «абруднювальна речовина» [21, 31].

Забруднювач – це джерело забруднення природних вод, з якого у них надходять забруднювальні речовини, гідробіонти або тепло, в результаті чого може бути перевищено ГДК. Термін «забруднювач» не можна вживати замість терміну «забруднювальна речовина». Останнім часом термін «забруднювач» замінюють терміном «джерело забруднення» – об'єкт, з якого у поверхневій або підземній воді надходять забруднювальні речовини, мікроорганізми або тепло.

Забруднювальна речовина – це будь-яка хімічна речовина, тепло чи біологічний вид, який у результаті господарської діяльності людини потрапляє у водний об'єкт чи утворюється в ньому в кількостях, що виходять за природні граничні коливання чи середній природний фон і призводять до погіршення якості води.

Крім загального поняття забруднення природних вод, виділяють ще такі види забруднення, як біологічне, теплове, вторинне (забруднення природних вод у результаті перетворення внесених раніше забруднювальних речовин, масового розвитку організмів чи розкладання мертвої біомаси, яка міститься у воді та донних відкладах).

Накопичення у водних об'єктах сторонніх предметів називають *засміченням вод* [21].

Промислові стічні води є головним джерелом надходження в природні води токсичних речовин. Незважаючи на те, що на будівництво очисних споруд витрачаються величезні кошти, стічні води деяких підприємств містять значну кількість важких металів, детергентів, нафтопродуктів та інших інгредієнтів. Ці речовини відсутні в незабруднених природних водах або ж містяться в значно менших концентраціях. Найбільша кількість забруднювальних речовин у воду надходить разом із стічними водами підприємств нафтопереробної, хімічної, целюлозо-паперової, металургійної, текстильної і деяких інших галузей промисловості.

Сільськогосподарські стічні води, що формуються на сільгоспугіддях, завдають також шкоди водоймам і річкам, особливо колекторні та дренажні води зрошуваних полів. Стік з сільськогосподарських угідь може бути поверхневим і ґрунтовим. Тому на цих територіях нерідко забруднюються ґрунтові води. Склад мінеральних солей, які вилугуються з ґрунту, залежить від ступеня й характеру засоленості ґрунту, умов поливу, стану колекторно-дренажної мережі та інших умов. Кількість солей, що вносився з 1 га, коливається у великих межах: від 1 до 200 т/рік. У зв'язку з

широким використанням добрив значна частка із загального складу мінеральних компонентів, які виносяться з сільгоспугідь, припадає на азот і фосфор. Винос пестицидів зумовлюється стійкістю препаратів у природному середовищі та чинниками, про які згадувалося вище. Найбільш стійкими є хлорорганічні пестициди (ДДТ, хлордан, гексахлорциклогексан), які можуть зберігатися в ґрунті до 15 років. За ступенем персистентності вони відносяться до дуже стійких. Значно менш стійкі фосфорорганічні сполуки (хлорофос, карбофос та ін.), які повністю зникають через 45-60 днів.

З колекторними і дренажними водами у водні об'єкти надходять мінеральні та органічні речовини, пестициди. Під впливом скидання органічних речовин у водах річок та інших водних об'єктів можуть відбуватись значні зміни концентрацій окремих компонентів, а також фауни і флори.

Збільшення ерозії ґрунтів при розорюванні сільгоспугідь, а особливо при зрошенні, сприяє виносу значної кількості мінеральних і завислих речовин, що призводить не тільки до забруднення водних об'єктів, але й до посилення темпів їх евтрофікації, порушення умов живлення. У зв'язку з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва і спорудженням великих тваринницьких комплексів особливого значення набуває забруднення водних об'єктів стічними водами цих комплексів.

Господарсько-побутові стічні води є не менш суттєвим джерелом забруднення водойм і водотоків. Вони утворюються в результаті використання населенням водопровідної води для побутових цілей. Господарсько-побутові стічні води містять фізіологічні виділення людей, відходи від миття посуду, прання білизни, а також інші відходи (ганчір'я, папір). За зовнішнім виглядом ці стічні води є рідиною з низькою прозорістю, сірим кольором і неприємним запахом. Для них є характерною насиченість яйцями гельмінтів і бактеріальною флорою, значну частину якої становлять шкідливі для здоров'я мікроорганізми.

У наш час збільшується забруднення повітряного басейну, що також викликає погіршення якості води. В атмосферних опадах містяться мінеральні, органічні та завислі речовини і перш за все сполуки сірки, вуглецю, деякі важкі метали. Значне забруднення водойм викликають «кислі» дощі, які утворюються в результаті сполучення в атмосфері діоксиду сірки з парами води.

Теплове забруднення. На гідрохімічному і гідробіологічному режимах водних об'єктів значною мірою відчувається вплив теплових і атомних електростанцій за рахунок скидання теплих вод. Таке «теплове забруднення» порушує хід природних гідрохімічних процесів, часто викликає евтрофікацію водойм. У нашій країні встановлено граничні норми підвищення температури водойм у результаті скидання теплих вод. Ця температура не повинна перевищувати більш ніж на 3°C температуру водойми в літній період.

12.2. Зміни нормативної бази щодо оцінювання якості води (2014-2022 рр.)

Оцінювання якості води завжди базується на певних нормативах. Нормування – це встановлення у директивному порядку регламентованих величин, допустимих меж того чи іншого показника. Нормативи якості води –

встановлені у директивному порядку значення показників якості води (фізичні, хімічні, біологічні), що відповідають певним вимогам, при яких надійно захищається здоров'я людини, створюються сприятливі умови для різних видів водокористування, охорони вод та екологічного благополуччя водного об'єкта. Нормативні методики оцінювання якості води – це затверджені у директивному порядку документи, в основу яких покладено нормативи якості води. Використання нормативних методик є обов'язковою умовою при проектуванні, складанні офіційних довідок та заключень тощо.

В Україні відбулося багато змін, які стосуються як моніторингу вод, так і нормативної бази оцінювання якості води для різних цілей, що зумовлено курсом на інтеграцію з методичними підходами у цій сфері в Європейському Союзі. Значним стимулом цього процесу стало підписання в 2014 р. Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, що зумовило реформування багатьох сфер діяльності, в тому числі й пов'язаної з управлінням водними ресурсами та їхньою якістю. Нижче коротко зупинимось на деяких аспектах.

- 1 лютого 2015 р. набув чинності ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [49].

- 1 січня 2017 р. скасовано чинність актів санітарного законодавства УРСР та СРСР, що стало важливою особливістю нормування якості води для різних цілей на сучасному етапі [65]. Тому, приступаючи до оцінювання якості води для гігієнічних цілей, варто керуватися розпорядженням Кабінету Міністрів України «Про визнання такими, що втратили чинність, та такими, що не застосовуються на території України, актів санітарного законодавства» від 20.01.2016 р. № 94-р, яким визнано такими, що не застосовуються на території України, акти санітарного законодавства, видані центральними органами виконавчої влади УРСР та СРСР, в тому числі санітарні правила і норми. У 2017 р. ліквідовано Державну санітарно-епідеміологічну службу (постанова Кабінету Міністрів України від 29 березня 2017 р. № 348). Виконання її функцій забезпечують МОЗ, Держслужба з питань праці та Держпродспоживслужба.

- У 2018 р. затверджено «Порядок здійснення державного моніторингу вод» (постанова Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 р. № 758) [61].

- У 2019 р. затверджена «Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод» (наказ Мінприроди України від 14.01.2019 р. № 5) [57].

Ці два документи [57, 61] привнесли радикальні зміни в сферу моніторингу вод та екологічного оцінювання якості вод в Україні.

- 1 жовтня 2019 р. набув чинності стандарт ДСТУ 2439:2018 «Хімічні елементи та прості речовини. Терміни та визначення основних понять, назви й символи», у якому повернуто більшість українських назв хімічних елементів та правило написання назв елементів з маленької літери. Новий стандарт хімічних термінів замінив ДСТУ 2439-94, який діяв протягом 1994-2019 рр. Досвід вживання латинізованих назв елементів було визнано незадовільним. Нагадаємо також про необхідність вірного написання терміну «йон», який часто в публікаціях зустрічається як «іон».

Не дивлячись на зайнятість державних органів воєнними справами, 2022 рік став насиченим на прийняття нормативних документів по воді. Так, у цьому році було прийнято:

- Закон України «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022-2026 роки» [54];
- «Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення», затверджені наказом МОЗ України [45];
- зміни до додатку 2 ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затверджені наказом МОЗ України [56];
- «Водна стратегія України на період до 2050 року», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України [43].

Якість води водного об'єкта – це поєднання хімічного і біологічного складу та фізичних властивостей води, що зумовлює її придатність для конкретних видів водокористування: господарсько-питного, культурно-побутового (рекреаційного), рибогосподарського (рис. 12.1, табл. 12.1)



Рис. 12.1. Схема оцінювання якості води водного об'єкта для різних цілей

Загальною оцінкою стану водного об'єкта слугує екологічна оцінка якості води. Якість питної води, призначеної для споживання людиною, розглядається окремо. Адже за централізованого водопостачання питна вода є продуктом спеціальної підготовки на водопровідній станції.

У табл. 12.1 зведено нормативні методики та інші документи, які застосовуються для оцінювання якості води для різних цілей на сучасному етапі.

Таблиця 12.1. Нормативні документи, які застосовуються для оцінювання якості води для різних цілей в Україні у зв'язку зі змінами нормативної бази в 2014-2022 рр. (укладено В.К. Хільчевським на основі [24])

Нормування якості води водних об'єктів для різних цілей				
Екологічні	Гігієнічні		Рибогосподарські	Нормування якості питної води
	господарсько-питне водокористування	культурно-побутове водокористування		
Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод...[57]*	ДСП 173-96: Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів . <i>Додаток 11:</i> Гігієнічні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів...[48]		Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства... [58]	ДСанПіН 2.2.4-171-10: Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [47] Зміни до дод. 2 ДСанПіН 2.2.4-171-10 [56]
	Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, госп.-побутових та ін. потреб [45]			
	ДСТУ 4808:2007: Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання [51]			
				ДСТУ 7525:2014: Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості [49]

Примітка. [57]* – номер джерела у списку бібліографії.

12.3. Державний моніторинг вод та екологічні цілі оцінювання якості води

З історії моніторингу вод. Щоб зрозуміти суть реформування державного моніторингу вод (ДМВ), яке відбулося в Україні, починаючи з 2016 р., треба коротко звернутися до історії питання. Адже ще в 1930-і рр. було розпочато відбір проб води на хімічний аналіз на деяких гідрологічних постах системи гідрометслужби колишнього СРСР з подальшим розміщенням даних в «Гідрологічних щорічниках».

На початку 1970-х рр. на території колишнього СРСР була створена система гідрохімічного моніторингу водних об'єктів в рамках загальнодержавної системи спостереження і контролю за довкіллям. Зокрема в Україні виходили щоквартальні «Гідрохімічні бюлетені» (з 1980-х рр. – «Щорічні дані про якість поверхневих вод України») з розширеним переліком пунктів спостереження за поверхневими водами і діапазоном хімічних компонентів (у тому числі забруднювальних речовин), а також деякими гідробіологічними показниками, які видавало Українське управління по гідрометеорології і контролю природного середовища Державного комітету з гідрометеорології СРСР на основі даних спостережень мережі.

Цей методичний підхід зберігався в системі гідрометслужби України й після 1991 р., не дивлячись на зміни її відомчої приналежності – з 2011 р.

гідрометеорологічні організації Державної служби України з надзвичайних ситуацій. В 2016 р. в системі гідрометеорологічних організацій ДСНС України був 201 пункт моніторингу якості поверхневих вод.

Одним з основних нормативних документів для гігієнічного оцінювання якості води були «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения» (СанПиН 4630-88), затверджені Мінздравом СРСР у 1988 р.

В 1998 р. колективом авторів з Інституту гідробіології НАН України, Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем (УкрНДІЕП) та Українського науково-дослідного інституту водогосподарсько-екологічних проблем була розроблена «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [14]. В 2001 р. – «Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України». І хоча Мінекоресурсів України рекомендувало ці методики до застосування, вони не стали нормативними в тодішньому Держводгоспі або гідрометслужбі. Там використовували відомий з 1970-х рр. ІЗВ – індекс забруднення вод [33]. В 2012 р. авторським колективом УкрНДІЕП (м. Харків) було розроблено проект вдосконаленої «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями», але в Мінприроди України вона не була затверджена.

Методика [14] широко застосовувалася в дослідницьких цілях, але в «урізаному» вигляді. Блок трофо-сапробіологічних показників (I_2) повноцінно не залучався, адже на мережі моніторингу не велися спостереження за гідробіологічними та бактеріологічними показниками – основою цього блоку.

Порядок здійснення державного моніторингу вод в Україні, затверджений в 2018 р.

У 2016 р. Верховна Рада України прийняла Закон «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» [52], в якому імплементовано низку положень ВРД ЄС [46], які стосуються гідрографічного районування [30] та моніторингу вод, внесено зміни до Водного кодексу України [44].

У 2017 р. затверджено «Перелік забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод» (для поверхневих вод – 45 речовин; для підземних – 15; для штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод – 14) [57].

У 2018 р. постановою Кабінету Міністрів України затверджено «Порядок здійснення державного моніторингу вод» [61].

Згідно [61] виділяються наступні види державного моніторингу вод (ДМВ) суходолу:

діагностичний, операційний, дослідницький.

Згідно [61] виділяються наступні види державного моніторингу морських вод:

базовий оціночний, супровідний, дослідницький.

Об'єктами ДМВ є масиви поверхневих вод суходолу і підземних вод та морські води.

Масив поверхневих вод (МПВ) – спеціально визначений поверхневий водний об'єкт або його частина, яка має бути окремою та значущою частиною водного об'єкта. МПВ може бути віднесений до однієї з п'яти категорій:

1) річки; 2) озера; 3) перехідні води; 4) прибережні води; 5) штучні або істотно змінені масиви поверхневих вод.

Програма ДМВ передбачає контроль за чотирма групами показників:

1) біологічними; 2) фізико-хімічними; 3) хімічними;
4) гідроморфологічними.

На підставі даних та інформації, отриманих в результаті здійснення ДМВ масивів поверхневих та підземних вод, визначаються екологічний та хімічний стан МПВ, екологічний потенціал штучних або істотно змінених МПВ, кількісний і хімічний стан масивів підземних вод, з урахуванням чого розробляються плани управління річковими басейнами та оцінюється рівень досягнення запланованого екологічного стану.

Для морських вод, визначається їхній екологічний стан, розробляється морська стратегія та оцінюється прогрес у досягненні «доброго» екологічного стану морських вод в межах виключної морської економічної зони та територіального моря України.

Провідним відомством з ведення державного моніторингу вод визначено Міндовкілля України за безпосередньої участі Держводагентства, Держгеонадра, гідрометеорологічних організацій ДСНС України та ін.

Методика оцінювання масиву поверхневих вод за класами екологічного та хімічного станів. У 2019 р. Мінприроди України затвердило нормативну «Методику віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод» [57] – табл. 12.2.

Для класифікації екологічного стану МПВ використовуються п'ять класів (від «відмінного» до «дуже поганого»).

При графічному відображенні кожен клас екологічного стану МПВ позначається відповідним кольором:

- I клас – відмінний (синій);
- II клас – добрий (зелений);
- III клас – задовільний (жовтий);
- IV клас – поганий (помаранчевий);
- V клас – дуже поганий (червоний).

Ключовим аспектом при визначенні екологічного стану МПВ є те, що не використовуються ГДК. Натомість застосовуються показники, отримані для «референційних умов» – умов, що відображають стан навколишнього природного середовища за відсутності або мінімального антропогенного впливу (табл. 12.3). Перелік критеріїв віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного стану починається з біологічних показників (див. табл. 12.3).

Тут наведено лише загальні аспекти методики, оскільки обсяг даної публікації не дозволяє розглянути її ширше. Як видно з табл. 12.2 та 12.3, ця методика достатньо непроста і для її освоєння вимагається спеціальне ретельне опрацювання всіх розділів і додатків.

Таблиця 12.2. Структура «Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод», 2019 р. [57]

№ розділу	Назва розділу	Додатки до розділу
1	2	3
I	Загальні положення	–
II	Визначення екологічного стану масиву поверхневих вод	1. Перелік біологічних, гідроморфологічних, хімічних та фізико-хімічних показників для визначення екологічного стану масиву поверхневих вод
		2. Критерії віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного стану
		3. Характеристика класів екологічного стану за біологічними, гідроморфологічними, хімічними та фізико-хімічними показниками
III	Порядок визначення екологічного стану масиву поверхневих вод	4. Алгоритм визначення екологічного стану масиву поверхневих вод
		5. Узагальнене визначення екологічного стану масиву поверхневих вод
		6. Остаточне визначення екологічного стану масиву поверхневих вод
IV	Визначення екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод	7. Біологічні та фізико-хімічні показники, за якими здійснюється визначення екологічного потенціалу для штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод
V	Визначення хімічного стану	8. Екологічні нормативи якості для визначення хімічного стану масиву поверхневих вод
		9. Алгоритм визначення хімічного стану масиву поверхневих вод
VI	Визначення загального стану масиву поверхневих вод та встановлення рівнів надійності визначення стану масиву поверхневих вод	10. Алгоритм визначення загального стану масиву поверхневих вод
		11. Критерії для встановлення надійності правильного визначення екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод
VII	Основні принципи визначення референційних умов	-

Варто зауважити, що вся система нового державного моніторингу вод є значно складнішою в організаційному і методологічному відношенні ніж всі попередні, які застосовувалися на території України. За умови її належної організації, результати мають також бути значно ефективнішими.

План управління річковим басейном. Основним стратегічним документом у сфері управління водними ресурсами є *план управління річковим басейном*, який розробляється державою з метою впровадження інтегрованого управління водними ресурсами в річкових басейнах [62]. Метою плану управління річковим басейном є досягнення екологічних цілей, визначених для кожного району річкового басейну, в установлені строки. Плани управління річковими басейнами затверджує Кабінет Міністрів України (заплановано на 2024 р.).

Таблиця 12.3. Критерії віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного стану, 2019 р. [57]

Екологічний стан				
<i>Відмінний</i>	<i>Добрий</i>	<i>Задовільний</i>	<i>Поганий</i>	<i>Дуже поганий</i>
Значення біологічних показників відповідають значенням, характерним для масиву поверхневих вод у референційних умовах, мають тенденцію до дуже незначних змін. Відсутні або виявлені дуже незначні антропогенні зміни значень гідроморфологічних, хімічних та фізико-хімічних показників порівняно з величинами, характерними для масиву поверхневих вод у референційних умовах	Значення біологічних показників масиву поверхневих вод вказують на низькі рівні антропогенного впливу і мало відхиляються від значень, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах. Концентрації хімічних та фізико-хімічних показників не перевищують екологічних нормативів якості, встановлених для екологічного стану «добрий»	Значення біологічних показників масиву поверхневих вод помірно відхиляються від значень, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах. Ці значення мають помірну тенденцію до відхилення в результаті антропогенного впливу та мають значно більші відхилення порівняно з умовами стану «добрий». Концентрації хімічних показників перевищують нормативи, встановлені екологічному стану «задовільний»	Спостерігаються значні зміни щодо значень біологічних показників та значні відхилення від норм відповідних біологічних популяцій, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах	Спостерігаються дуже сильні зміни щодо біологічних показників, відсутність великої частини відповідних біологічних ценозів, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах

Плани управління річковими басейнами розробляються Держводагентством разом з Держгеонадрами, центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, іншими заінтересованими сторонами з урахуванням рішень відповідних басейнових рад.

12.4. Гігієнічні цілі оцінювання якості води водних об'єктів для господарсько-питного і культурно-побутового водокористування

Для гігієнічних цілей актуальним залишається оцінювання якості води за гранично-допустимими концентраціями (ГДК) деяких шкідливих речовин у воді водних об'єктів, які містяться у відповідних нормативних документах.

Оцінювання якості води джерела водопостачання відбувається за ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» [51].

Водні об'єкти, якість води в яких відповідає комплексу гігієнічних, епідеміологічних, екологічних та технологічних вимог, використовуються чи можуть бути використані для централізованого питного водопостачання.

Відповідність водного об'єкта вимогам, встановленим до джерел питного водопостачання, визначають на основі двох класифікацій (для поверхневих і підземних вод). Ці класифікації включають: гігієнічне та екологічне оцінювання умов формування і ступеня захищеності підземного джерела водопостачання у межах поясів зон санітарної охорони; гігієнічне та екологічне оцінювання поверхневого джерела водопостачання, а також прилеглої території вище і нижче водозабору за течією води у межах поясів зон санітарної охорони; якісне оцінювання на підставі аналізів проб води, які відбиралися щомісячно протягом останніх 3-х років, та кількісне оцінювання запасів води у джерелах водопостачання; санітарне оцінювання місця розміщення водозабору; прогнозування гігієнічного та екологічного стану джерел водопостачання.

Класифікація якості поверхневих вод джерел централізованого питного водопостачання за гігієнічними та екологічними критеріями охоплює 80 показників, які застосовують для оцінювання якості питної води згідно з санітарним законодавством, і має сім окремих груп (блоків): I група – 4 органолептичні показники; II група – 17 загальносанітарних показників хімічного складу води; III група – 6 гідробіологічних показників; IV група – 6 мікробіологічних показників; V група – 2 паразитологічні 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 джерел централізованого питного водопостачання за гігієнічними та екологічними критеріями охоплює 71 показник, що застосовують для оцінювання якості питної води відповідно до санітарного законодавства, і має сім окремих груп: I група – 4 органолептичні показники; II група – 14 загальносанітарних показників хімічного складу води; III група – 2 гідробіологічні показники; IV група – 6 мікробіологічних показників; V група – 2 паразитологічні показники; VI група – 9 показників радіаційної безпеки; VII група – 34 пріоритетні токсикологічні показники хімічного складу води (з них: 27 – неорганічних та 7 – органічних компонентів).

В обох класифікаціях діапазон значень показників (критеріїв) якості води включає 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.

Нормування якості води водних об'єктів для господарсько-питного і культурно-побутового водокористування. Цей вид нормування здійснюється із застосуванням «Гігієнічних вимог до складу та властивостей води водних об'єктів в пунктах господарсько-питного і культурно-побутового водокористування», які є додатком 11 до «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» (ДСП 173-96), затверджених наказом МОЗ України від 19.06.1996 р. №173, зі змінами – наказ МОЗ України від 18.05.2018 р. № 952 [48].

У ДСП 173-96 наведено гігієнічні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів у пунктах, призначених: 1) для господарсько-питного водокористування – централізованого або нецентралізованого господарсько-питного водопостачання, а також водопостачання харчових підприємств; 2) для культурно-побутового водокористування – купання, спорту та відпочинку населення, а також водойм в межах населених пунктів.

Гігієнічні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів у пунктах, призначених для господарсько-питного і культурно-побутового водокористування, встановлено за наступними показниками: суспензовані речовини; плаваючі домішки (речовини); запахи; забарвлення; температура; рН; мінералізація; БСК_{повне}; ХСК; збудники захворювань; лактозопозитивні кишкові палички; коліфаги; життєздатні яйця гельмінтів (аскарид, волосоголовців, токсокар), онкосфери теніїд та життєздатні цисти патогенних кишкових найпростіших; хімічні речовини – не повинні міститися в концентраціях, що перевищують ГДК або ОДР (орієнтовно допустимі рівні).

У «Гігієнічних нормативах якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення», затверджених наказом МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721, характеристика водних об'єктів передбачена за наступними категоріями водокористування: 1) для централізованого або нецентралізованого питного водопостачання, а також для водопостачання харчових підприємств; 2) для господарсько-побутового водокористування та в оздоровчих, рекреаційних, спортивних цілях, а також для водних об'єктів в межах населених пунктів [45].

Нормативи встановлено за наступними показниками: завислі речовини; плаваючі домішки; запахи; забарвлення; температура; рН; мінеральний склад; розчинений кисень; БСК₂₀; ХСК; збудники захворювань; лактозопозитивні кишкові палички (ЛПК); коліфаги; життєздатні яйця гельмінтів (аскарид, волосоголовців, токсокар, фасціол), онкосфери теніїд та життєздатні цисти патогенних кишкових найпростіших; хімічні речовини – не повинні міститися в концентраціях, що перевищують ГДК або ОДР. Ці показники, практично, співпадають з додатком 11 до «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» (ДСП 173-96) [48].

В «Гігієнічних нормативів якості води...» [45] наведено також перелік граничних норм вмісту хімічних речовин у воді водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення, який налічує 1377 речовин, розташованих за алфавітом – наведено ГДК або ОДР речовини, лімітуюча ознака шкідливості, клас небезпеки.

ГДК – максимальні концентрації, при яких речовини не мають прямого або опосередкованого впливу на стан здоров'я населення (при впливі на організм протягом всього життя) і не погіршують гігієнічні умови водокористування.

ОДР – орієнтовно допустимі рівні вмісту речовин у воді, розроблені на основі розрахункових та експрес-експериментальних методів прогнозу токсичності.

Контрольні питання до розд. 12

- 1) Які відбулися зміни нормативної бази щодо оцінювання якості води в Україні протягом 2014-2021 рр.?*
- 2) Які види моніторингу включає державний моніторинг вод?*
- 3) Пояснити сенс екологічних цілей оцінювання якості води.*
- 4) Пояснити сенс гігієнічних цілей оцінювання якості води водних об'єктів для господарсько-питного і культурно-побутового водокористування.*
- 5) Охарактеризувати, як відбувається оцінювання якості води джерела водопостачання.*
- 6) За якими документами відбувається нормування якості води водних об'єктів для господарсько-питного і культурно-побутового водокористування?*

Бібліографія

Основна література

1. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: навч. посібник / О.А. Василенко та ін. Київ-Харків: КНУБА, ХНУБА, 2012. 572 с.
2. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підручник. Київ: Вища школа, 2005. 671 с.
3. Мацієвська О. Водопостачання і водовідведення: навч. посібник. Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2015. 144 с.
4. Орлов В.О., Тугай Я.А., Орлова А.М. Водопостачання та водовідведення: підручник. Київ: Знання, 2011. 359 с.
5. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти: підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет», 1999. 319 с.
6. Хільчевський В.К. Гідрографія та водні ресурси Європи: навч. посібник. Київ: ДІА, 2023. 308 с.
7. Шадура В.О., Кравченко В.С. Водопостачання та водовідведення: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2018. 343 с.

Додаткова література

8. Айрапетян Т. С. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійного вивчення дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Споруди та обладнання водовідведення». Харків: ХНУМГ, 2014. 27 с.
9. Водне господарство в Україні / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. Київ: Генеза, 2000. 456 с.
10. Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 3 (42). С. 64-76.
11. Звіт про управління ПрАТ «АК «Київводоканал» за 2019 рік. *Київводоканал*: веб-сайт. URL: <https://vodokanal.kiev.ua/zv%D1%96t-proprav%D1%96nnya-prat-%C2%ABak-%C2%ABki%D1%97vvodokanal%C2%BB-za-2019-r%D1%96k> (дата звернення: 10.03.2023)
12. 5. Звіт про управління ПрАТ «АК «Київводоканал» за 2020 рік. *Київводоканал*: веб-сайт. URL: <https://vodokanal.kiev.ua/zv%D1%96t-proprav%D1%96nnya-prat-%C2%ABak-%C2%ABkiyvvodokanal%C2%BB-za-2020-r%D1%96k> (дата звернення: 08.04.2023)
13. КП «Луцькводоканал». Офіційний сайт. URL: <https://vd.lutska.ua/istorychna-dovidka.html> (дата звернення: 16.03.2023)
14. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко та ін. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
15. Мольчак Я.О., Фесюк В.О., Картава О.Ф. Луцьк: сучасний екологічний стан та проблеми. Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2003. 488 с
16. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. Київ: Либідь, 1997. 384 с.
17. ПрАТ АК «Київводоканал». Офіційний сайт. URL: <https://vodokanal.kiev.ua/> (дата звернення: 19.04.2023)
18. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. Киев: Урожай, 1987. 304 с.

19. Сташук В.А., Мокін В.Б., Гребінь В.В., Чунарьов О.В. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом. Херсон: Гринь, 2014. 320 с.

20. Хільчевський В.К. Водні ресурси країн Європи: характеристика на основі бази даних FAO-Aquastat. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. № 1 (67). С. 6-17.

21. Хільчевський В.К. Гідрохімічний словник. Київ: ДІА, 2022. 212 с.

22. Хільчевський В.К. Глобальні водні ресурси: виклики ХХІ століття. *Вісник Київського нац. університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2020. 1/2 (76/77). С. 6-16.

23. Хільчевський В.К. Значення річок Дніпра і Десни у водопостачанні Києва – до 150-річчя київського централізованого водопроводу (1872-2022 роки). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. № 2 (64). С. 6-21.

24. Хільчевський В.К. Моніторинг вод в Україні: методи оцінювання якості води для різних цілей у зв'язку зі змінами нормативної бази (2014-2021 рр.). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. №3(61). С. 6-19.

25. Хільчевський В.К. Нариси історії гідрохімії в Україні. Київ: ДІА, 2020. 136 с.

26. Хільчевський В.К. Особливості гідрографії Європи: річки, озера, водосховища. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. № 4(66). С. 6-16.

27. Хільчевський В.К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1(59). С. 17-27.

28. Хільчевський В.К. Характеристика водних ресурсів України на основі бази даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1(59). С. 6-16.

29. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Водні об'єкти України та рекреаційне оцінювання якості води. Київ: ДІА, 2022. 240 с.

30. Хільчевський В. К., Гребінь В. В. Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. № 1(44). С. 8-20.

31. Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Манукало В.О. Гідрологічний словник. Київ: ДІА, 2022. 236 с.

32. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р. Хімічний аналіз та оцінка якості природних вод: навч. посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2021. 76 с.

33. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. Київ: Ніка-Центр, 2012. 326 с.

34. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.

34а. Хільчевський В.К., Савицький В.М., Чеботько К.О. та ін. Використання осадів стічних вод у сільському господарстві. Київ: ВПЦ «Київський університет», 1997. 103 с.

35. Aquastat FAO's: веб-сайт. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en> (дата звернення: 01.02.2023)

36. CIA. World Factbook, 2015: веб-сайт. URL: <https://web.archive.org/web/20150906155853/https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2201rank.html> (дата звернення: 11.02.2023)

37. European Environment Agency. European water resources. Overview : веб-сайт. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources> (дата звернення: 05.03.2023)

38. European Environment Agency. Water exploitation index plus: веб-сайт. URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/use-of-freshwater-resources-in-europe-1> (дата звернення: 20.03.2023)

39. Eurostat. Water statistics: веб-сайт. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics#Water_abstraction (дата звернення: 18.01.2023)

40. Khilchevskiy V.K. Water resources of Ukraine: assessment based on the FAO AQUASTAT database. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* : proceedings 15th International Conference. Nov 2021, Volume 2021, p.1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2005>

41. Khilchevskiy V., Karamushka V. Global Water Resources: Distribution and Demand. In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds) *Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, 2022. P. 240-250.

42. World Nuclear Industry Status Report 2022: веб-сайт URL: <https://www.worldnuclearreport.org/-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2022-.html> (дата звернення: 25.01.2023)

Нормативні документи

43. Водна стратегія України на період до 2050 року / Схвалено розпорядженням КМ України від 9.12.2022 р. № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>

44. Водний кодекс України. 1995. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>

45. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення / Затверджено наказом МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>

46. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text

47. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ. МОЗ України. 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

48. ДСП 173–96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів: Додаток 11 «Гігієнічні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів в пунктах господарсько-питного і культурно-побутового водокористування» / Затверджено наказом МОЗ України від 19.06.1996 р. №173, зі змінами – накази МОЗ України від 2007, 2009, 2018 рр. Документ z0379-96, поточна редакція від 07.03.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text>

49. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості питної води. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf

50. ДСТУ 878-93. Води мінеральні фасовані. Технічні умови. [Чинний від 01.07.1994]. Київ: Держспоживстандарт України, 1993. 379 с.

51. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=53159

52. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» // ВВР, 2016, № 46, ст. 780. Документ 1641-VIII, чинний, поточна редакція від 04.10.2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1641-19#Text>

53. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення». 1994. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text>

54. Закон України «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022-2026 роки» 2022. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JI05633V>

55. Закон України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення», 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>

56. Зміни до додатку 2 Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» / Затверджено наказом МОЗ України від 18.02. 2022 р. № 341. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0304-22#Text>

57. Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод / Затверджено наказом Мінприроди України від 14.01.2019 р. № 5. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text>

58. Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню – БСК-5, хімічного споживання кисню – ХСК, завислих речовин та амонійного азоту) / Затверджено наказом Мінагрополітики України від 30.07.2012 р. № 471. Документ z1369-12, чинний, поточна редакція від 30.07.2012. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text>

59. Перелік забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод / Затверджено наказом Мінекоресурсів від 06.02.2017 р. № 45. Документ z0235-17, чинний, поточна редакція від 06.02.2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-17#Text>

60. Порядок визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення. 2017. Зі змінами, затвердженими наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 09.11.2021 № 286. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1671-21#Text>

61. Порядок здійснення державного моніторингу вод / Затверджено постановою КМ України від 19.09.2018 р. № 758, зі змінами – постанови КМ України від 2019, 2020 рр. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>

62. Порядок розроблення плану управління річковим басейном. Затверджено постановою КМ України від 18.05. 2017 р. №336. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/336-2017-%D0%BF#Text>

63. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Затверджено постановою КМ України від 25.03. 1999 р. №465, зі змінами 2013 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text>

64. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення. 2017. Зі змінами, затвердженими наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 09.11.2021 № 286 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1671-21#Text>

65. Про визнання такими, що втратили чинність, та такими, що не застосовуються на території України, актів санітарного законодавства / Розпорядження КМ України від 20.01.2016 р. № 94-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D1%80#Text>

66. Указ Президента України від 30 вересня 2019 р. № 722 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». URL: <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825>

67. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31991L0676>

68. Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC). URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/1991/271/contents>

69. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>

70. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) (Text with EEA relevance). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>

Навчальне видання

**Гідроекологічні аспекти
водопостачання та
водовідведення**

Навчальний посібник

**Хільчевський Валентин Кирилович
Забокрицька Мирослава Романівна
Стельмах Валентина Юріївна**

Оригінал-макет – В.Ю. Стельмах
Обкладинка – М.Р. Забокрицька

Підписано до друку 26.06.2023 р. Формат 70-100/16
Папір офсетний
Умовн. друк. арк. 14,5

Видавництво «ДІА»
03022, Київ, вул. Васильківська, 45
Тел. (044) 257-16-15. E-mail: dia_1997@ukr.net
Свідоцтво про внесення до
Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ДК № 1149 від 12.12.2002 р.
Надруковано – друкарня ТОВ «ДІА»



ХИЛЬЧЕВСЬКИЙ ВАЛЕНТИН КИРИЛОВИЧ

— фахівець в області гідрології, гідрохімії та управління водними ресурсами, доктор географічних наук, професор, відмінник освіти України, заслужений діяч науки і техніки України, почесний працівник гідрометслужби України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки. В 2000–2019 рр. — зав. кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, від 2019 р. — професор цієї кафедри. Автор понад 500 наукових праць.



ЗАБОКРИЦЬКА МИРОСЛАВА РОМАНІВНА

— фахівець в області гідрології та гідрохімії, кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки. У 2001–2006 рр. — науковий співробітник Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (м. Київ). Автор понад 130 наукових праць.



СТЕЛЬМАХ ВАЛЕНТИНА ЮРІІВНА

— фахівець в області конструктивної географії та геоєкології, кандидат географічних наук, старший викладач кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки. Автор понад 50 наукових праць.