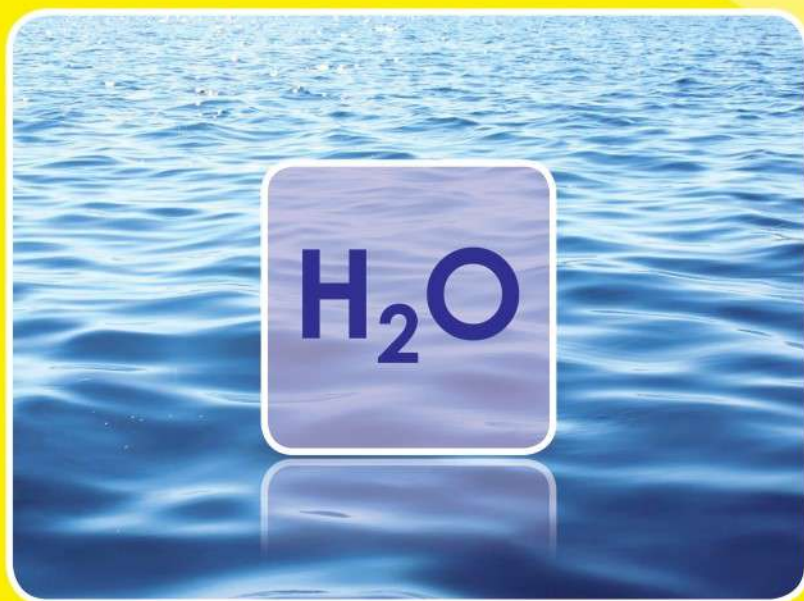


**В. К. ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ
М. Р. ЗАБОКРИЦЬКА
З. К. КАРПЮК**

ГІДРОХІМІЯ

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ
КОМПЛЕКС**



Міністерство освіти і науки України
Волинський національний університет імені Лесі Українки

В. К. ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ
М. Р. ЗАБОКРИЦЬКА
З. К. КАРПЮК

ГІДРОХІМІЯ

**навчально-методичний
комплекс**

Київ
ДІА
2025

УДК 556.114+574.64
Х 46

Рецензенти:

В.В. Гребінь – доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри гідрології та гідроекології,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

П.М. Линник – доктор хімічних наук, професор,
завідувач відділу прісноводної гідрохімії,
Інститут гідробіології НАН України;

Р.Л. Кравчинський – кандидат географічних наук, пров. наук.
співробітник лабораторії аналітичного контролю та моніторингу,
Карпатський національний природний парк.

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою
Волинського національного університету імені Лесі Українки
(протокол № 10 від 19 червня 2024 р.).*

**Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Карпюк З.К. Гідрохімія:
навчально-методичний комплекс. К.: ДІА, 2025. 244 с.**

ISBN 978-617-7785-57-5

У навчально-методичному комплексі вміщено опис освітнього компонента «Гідрохімія», тематичний план змістових модулів, завдання практичних робіт та методичні рекомендації щодо їх виконання. Наведено теоретичні відомості до кожної із тем, перелік основних та додаткових літературних джерел, завдання для самостійної роботи, контрольні питання. Для перевірки засвоєння матеріалу наводиться перелік питань для підготовки до семестрового іспиту.

Призначено для студентів, які навчаються за освітніми програмами «Гідрологія» та «Управління та екологія водних ресурсів» спеціальності «Науки про Землю». Матеріал може бути корисним й для студентів інших освітніх програм, в яких вивчають питання хімічного складу та якості води.

**Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Karpyuk Z.K. Hydrochemistry:
educational and methodological complex. Kyiv: DIA, 2025. 244 p.**

Designed for students studying in the educational programs “Hydrology” and “Management and Ecology of Water Resources”, specialty “Earth Sciences”.

ISBN 978-617-7785-57-5

© В.К. Хільчевський, М.Р. Забокрицька,
З.К. Карпюк, 2025.

ЗМІСТ

Передмова.....	6
Опис освітнього компонента «Гідрохімія».....	8
Тематичний план змістових модулів.....	8
<i>I. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ГІДРОХІМІЇ</i>	10
Практична робота № 1. Гідрохімія як наукова дисципліна.	
Історія гідрохімії в Україні	10
• Аудиторні завдання.....	10
• Теоретичні відомості за темою.....	10
• Завдання для самостійної роботи.....	24
Практична робота № 2. Структура молекули води	25
• Аудиторні завдання.....	25
• Теоретичні відомості за темою.....	26
• Завдання для самостійної роботи.....	41
Практична робота № 3. Розчинність води. Властивості води	42
• Аудиторні завдання.....	42
• Теоретичні відомості за темою	43
• Завдання для самостійної роботи.....	52
Практична робота № 4. Загальна характеристика хімічного складу природних вод: основні групи хімічних компонентів	54
• Аудиторні завдання.....	54
• Теоретичні відомості за темою.....	54
• Завдання для самостійної роботи.....	62
Практична робота № 5. Систематизація даних. Класифікація природних вод за хімічним складом та мінералізацією	64
• Аудиторні завдання.....	64
• Теоретичні відомості за темою.....	64
• Завдання для самостійної роботи.....	69
Практична робота № 6. Портативні прилади для вимірювання показників хімічного складу води в польових умовах	71
• Аудиторні завдання.....	71
• Теоретичні відомості за темою.....	72
• Завдання для самостійної роботи.....	77
<i>II. ХІМІЧНИЙ СКЛАД РІЗНИХ ТИПІВ ПРИРОДНИХ ВОД</i>	78
Практична робота № 7. Закономірності формування хімічного складу атмосферних опадів	78
• Аудиторні завдання.....	78
• Теоретичні відомості за темою	79
• Завдання для самостійної роботи	84

Практична робота № 8. Закономірності формування хімічного складу річкових вод.....	89
• Аудиторні завдання.....	89
• Теоретичні відомості за темою.....	90
• Завдання для самостійної роботи.....	97
Практична робота № 9. Закономірності формування хімічного складу води озер та водосховищ.....	99
• Аудиторні завдання.....	99
• Теоретичні відомості за темою.....	99
• Завдання для самостійної роботи.....	117
Практична робота № 10. Закономірності формування хімічного складу підземних вод.....	119
• Аудиторні завдання.....	119
• Теоретичні відомості за темою.....	120
• Завдання для самостійної роботи.....	134
Практичні роботи № 11-12. Закономірності формування хімічного складу підземних мінеральних вод. Промислові води.....	135
• Аудиторні завдання.....	135
• Теоретичні відомості за темою	135
• Завдання для самостійної роботи.....	149
Практичні роботи № 13-14. Закономірності формування хімічного складу морських вод.....	151
• Аудиторні завдання.....	151
• Теоретичні відомості за темою	151
• Завдання для самостійної роботи.....	170
 <i>III. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ГІДРОХІМІЇ – ЯКІСТЬ ВОДИ.....</i>	171
 Практична робота 15. Забруднення природних вод та запобігання цьому.....	171
• Аудиторні завдання	171
• Теоретичні відомості за темою	172
• Завдання для самостійної роботи.....	184
Практична робота 16. Оцінювання забруднення води водних об'єктів.....	186
• Аудиторні завдання.....	186
• Теоретичні відомості за темою.....	187
• Завдання для самостійної роботи.....	203
Практична робота 17. Характеристика якості води, що надходить для водопостачання м. Луцька.....	205
• Аудиторні завдання.....	205
• Теоретичні відомості за темою.....	206
• Завдання для самостійної роботи.....	212

Практична робота 18. Характеристика стічних вод м. Луцька.....	214
• Аудиторні завдання.....	214
• Теоретичні відомості за темою.....	215
• Завдання для самостійної роботи.....	219
Орієнтовний перелік питань для підготовки до іспиту.....	221
Короткий термінологічний словник.....	223
Бібліографія.....	226
Додатки.....	235

ПЕРЕДМОВА

Навчально-методичний комплекс освітнього компонента (ОК) або дисципліни – це сукупність нормативних та навчально-методичних матеріалів, необхідних для ефективного виконання здобувачами освіти робочої програми ОК. У цьому навчально-методичному комплексі вміщено:

- опис освітнього компонента «Гідрохімія»;
- тематичний план змістових модулів;
- завдання для практичних робіт та методичні рекомендації щодо їх виконання;
- теоретичні відомості до кожної теми;
- завдання для самостійної роботи;
- контрольні питання до кожної теми;
- рекомендовані для вивчення кожної теми бібліографічні джерела;
- орієнтовний перелік питань для підготовки до іспиту;
- короткий термінологічний словник;
- бібліографія загальна;
- додатки (таблиця назв хімічних елементів та символів згідно з ДСТУ 2439:2018, допоміжні картосхеми для виконання практичних робіт).

Практичні роботи, передбачені програмою ОК, ставлять за мету формування у здобувачів освіти вмінь і навичок практичного застосування теоретичних положень шляхом виконання відповідно сформульованих завдань, що стосуються загальних положень гідрохімії, хімічного складу різних типів природних вод (водних об'єктів), прикладних аспектів гідрохімії – оцінювання якості води. Деякі завдання супроводжуються методичними рекомендаціями, інші передбачають самостійний пошук шляхів розв'язку. До кожної практичної роботи зазначена тема, мета та основні терміни і поняття, перелік аудиторних завдань, завдання для самостійного опрацювання, список бібліографічних джерел.

Заплановано завдання з вивчення хімічного складу різних типів природних вод України, а для самостійного опрацювання – водних об'єктів Волинської області. Прикладні аспекти гідрохімії вивчаються з оцінюванням якості води, що використовується для водопостачання м. Луцька

Під час оцінювання виконаної практичної роботи враховується не лише її зміст, а й якість виконаних робіт та грамотність написання текстів. Результатом практичних робіт може бути доповідь здобувачів освіти та презентації, підготовлені на основі опрацювання відповідних наукових і картографічних матеріалів, що мають інформаційний чи проблемний характер. Підготовка здобувачів освіти до виконання практичних робіт сприяє формуванню вміння: працювати з інформаційними джерелами; здійснювати систематизацію матеріалів та виділення найсуттєвіших аспектів з обраної теми; формулювання висновків. Відповідним чином оформлені практичні роботи повинні бути подані у встановлені терміни.

До здобувачів освіти необхідно донести деякі методологічні аспекти, які стосуються термінології та застосування релевантних методів оцінювання якості води. Необхідним є використання сучасного термінологічного апарату назв хімічних елементів для характеристики 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» [139], в якому повернуто більшість українських назв хімічних елементів та правило написання їхніх назв з малої літери (додаток А). Також вірним буде вживання терміну «йон», а не «іон».

Необхідно керуватися розпорядженням КМ України від 20.01.2016 р. № 94-р «Про визнання такими, що втратили чинність, та такими, що не застосовуються на території України, актів санітарного законодавства» [148]. Якщо коротко – не можна застосовувати нормативні документи, що стосуються якості води, прийняті в колишньому СРСР та УРСР.

Деякі методики екологічного оцінювання якості води, опубліковані в Україні після 1991 р., теж не мають нормативного статусу, хоча можуть застосовуватися в навчальних цілях. Наприклад, такою є «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [44]. Натомість, нормативною на сьогодні є «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», затверджена наказом Мінприроди України від 14.01.2019 р. № 5 [140].

Важливо також звернути увагу здобувачів освіти, що оцінювання якості води джерел водопостачання і питної води, що пройшла водопідготовку, відбувається за різними нормативними документами. Вода джерел водопостачання оцінюється за ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» [138], а питна вода – за ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [132] та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості питної води» [134].

Корисним для вивчення освітнього компонента буде сучасний «Гідрохімічний словник» (2022) [6], в якому наведено тлумачення основних термінів, що стосуються хімічного складу та якості природних вод. Водночас залишаються актуальними класичні підручники з гідрохімії, видані в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка в різні роки,: «Гідрохімія України» (1995) [1], «Загальна гідрохімія» (1997) [4], «Основи гідрохімії» (2012) [11], «Регіональна гідрохімія України» (2019) [12], «Агрогідрохімія» (2021) [5].

Автори:

Хільчевський Валентин Кирилович – доктор географічних наук, відмінник освіти України, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України, почесний працівник гідрометслужби України, професор кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Забокрицька Мирослава Романівна – кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Карпюк Зоя Костянтинівна – кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки.

ОПИС ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «ГІДРОХІМІЯ»

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітньо-професійна програма, освітній рівень	Характеристика освітнього компонента
Денна форма навчання	галузь знань: <i>природничі науки</i>	обов'язковий рік навчання – 2-й
Кількість годин/кредитів 120 год./4 кредити	спеціальність: <i>науки про Землю</i>	семестр – 3-й
	освітньо-професійна програма: <i>Гідрологія</i>	лекції – 36 год.
		практичні роботи – 36 год.
		самостійна робота – 40 год.
Мова навчання	освітній рівень: <i>бакалавр</i>	консультації – 8 год.
		форма контролю: іспит українська

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЗМІСТОВИХ МОДУЛІВ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ГІДРОХІМІЇ

- Тема 1. Історія розвитку гідрохімії в Україні.
- Тема 2. Умови формування хімічного складу природних вод.
- Тема 3. Будова речовини та хімічні процеси.
- Тема 4. Природні води як розчини.
- Тема 5. Загальна характеристика хімічного складу природних вод
- Тема 6. Систематизація та інтерпретація даних про хімічний склад природних вод.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ХІМІЧНИЙ СКЛАД РІЗНИХ ТИПІВ ПРИРОДНИХ ВОД

- Тема 7. Характеристика основних груп хімічних компонентів у воді.
- Тема 8. Радіоактивність природних вод.
- Тема 9. Гідрохімія атмосферних опадів.
- Тема 10. Гідрохімія річок.
- Тема 11. Умови формування хімічного складу води озер (проточні, безстічні, проміжні). Хімічний склад води прісних озер.
- Тема 12. Хімічний склад води солонуватих та соляних озер.
- Тема 13. Хімічний склад мінеральних озер.
- Тема 14. Хімічний склад води водосховищ.
- Тема 15. Особливості формування та основні риси хімічного складу підземних вод; ґрунтові та міжпластові (артезіанські) води.

Тема 16. Походження солей в океані, аніонний і катіонний склад морської води.

Тема 17. Головні йони та біогенні елементи у морській воді.

Тема 18. Проблеми забруднення Світового океану.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ГІДРОХІМІЇ – ЯКІСТЬ ВОДИ

Тема 19. Управління водними ресурсами в Україні та їх охорона від забруднення.

Тема 20. Вимоги до складу води при її використанні. Вода для господарсько-питних потреб.

Тема 21. Вимоги до складу води, що використовується в різних галузях: харчовій промисловості; цукровому виробництві; при живленні парових котлів тощо.

Тема 22. Характеристика джерел забруднення природних вод. Стічні води: промислові; господарсько-побутові; сільськогосподарські.

I. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ГІДРОХІМІЇ _____

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ТЕМА: ГІДРОХІМІЯ ЯК НАУКОВА ДИСЦИПЛІНА. ІСТОРІЯ ГІДРОХІМІЇ В УКРАЇНІ

Мета: засвоїти визначення гідрохімії як наукової дисципліни, її об'єкт та предмет дослідження, з'ясувати світовий контекст розвитку гідрохімії, детальніше – розвиток гідрохімії в Україні.

Основні терміни і поняття: гідрохімія, об'єкт та предмет дослідження, історія розвитку, наукові школи.

Аудиторні завдання

1. Користуючись теоретичними відомостями до даної практичної роботи засвоїти визначення гідрохімії як наукової дисципліни, її об'єкт та предмет дослідження. Виписати в робочий зошит.

2. Користуючись теоретичними відомостями до даної практичної роботи, зокрема табл. 1.3, назвати прізвища та ініціали вчених, які зробили помітний внесок у розвиток гідрохімічних досліджень в Україні за хронологічними періодами. Результати записати у вигляді табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Для оформлення відповіді. Розвиток гідрохімічних досліджень в Україні

Період	Роки	Прізвище та ініціали вченого
I	до 1920-х	
II	1920-і – 1950-і	
III	1950-і – 1970-і	
IV	1970-і – до початку 2000-х	
V	від 2014	

3. Користуючись теоретичними відомостями до даної практичної роботи скласти список наукових гідрохімічних шкіл в Україні.

4. Користуючись теоретичними відомостями до даної практичної роботи скласти список циклів наукових праць, удостоєних Державно премії України в галузі науки і техніки.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 1

Зміст

- 1.1. Гідрохімія як наукова дисципліна. – С. 11
- 1.2. Розвиток гідрохімії. – С. 11.
- 1.3. Історія гідрохімічних досліджень в Україні. – С. 12.
- 1.4. Наукові гідрохімічні школи в Україні. – С. 16.
- 1.5. Цикли наукових праць з гідрохімії, удостоєні Державної премії України в галузі науки і техніки. – С. 21.

1.1. Гідрохімія як наукова дисципліна

Важлива роль води пов'язана з її здатністю розчиняти. Утворення внаслідок цього складних розчинів солей, газів і органічних речовин лежить в основі природного процесу хімічного вивітрювання корінних вивержених порід і формування осадових, які становлять верхні шари літосфери, забезпечуючи родючість і розмаїття ґрунтів на поверхні або процеси життєдіяльності в природних водах – річках, морях і озерах.

Дослідження походження йонного складу води та його трансформації є важливим теоретичним питанням, а її хімічний склад при водопостачанні, гідротехнічному будівництві, зрошенні, веденні рибного господарства – практичним.

Згадані чинники зумовили формування наукової дисципліни про хімію природних вод – гідрохімію. Для природних водних розчинів, на відміну від штучних, характерні специфічність якісного та кількісного складу, одночасно наявність йонів, газів, колоїдів, органічної речовини, залежність складу не лише від фізичних умов середовища, а й від біологічних процесів.

Гідрохімія – це наукова дисципліна, яка вивчає хімічний склад природних вод, а також його зміни під впливом природних (хімічних, фізичних і біологічних) та антропогенних чинників і процесів [11].

Об'єкт дослідження. На відміну від хімії водних розчинів, об'єктом дослідження гідрохімії є складні гетерогенні системи (розчини), що перебувають у взаємодії одна з одною, а також з атмосферою, породами, донними відкладами, ґрунтами, біотою за параметрів (тиск, температура, хімічний склад), що визначаються умовами їх знаходження.

Предметом дослідження гідрохімії є виявлення зв'язку між складом та властивостями природних вод із параметрами довкілля.

Суміжні з гідрохімією науки, які вивчають природні води – гідрогеологія, океанологія, геохімія, гідробіологія – також використовують дані про хімічний склад води. Систематичні гідрохімічні дослідження входять до комплексу заходів боротьби із забрудненням природних вод.

Гідрохімія поділяється на розділи, які тісно пов'язані із суміжними науками та їхніми методами. Так, вивчення хімічного складу води річок, озер і водосховищ базується на методах і висновках гідрології, органічного життя у водах – на методах і висновках гідробіології. Дослідження океанів і морів пов'язано з океанологією, хімічного складу підземних вод – з методами гідрогеології та геохімії. Широко використовується аналітична хімія для розроблення методів аналізу води, а останнім часом – дистанційні методи зондування Землі.

Вчені відзначають, що гідрохімія в системі наук про Землю має подвійний характер. З одного боку, вивчаючи хімію гідросфери, гідрохімія є частиною науки про хімію земної кори – геохімії; а з іншого – гідрохімія повинна входити в комплекс дисциплін про гідросферу, тобто гідрологію.

1.2. Розвиток гідрохімії

Властивості води як однієї з основних стихій з давніх часів привертала увагу вчених, зокрема натурфілософів Давньої Греції та Давнього Риму. Практичний інтерес до складу природних вод виник у Давньому Римі у зв'язку з використанням термальних вод (римські терми) – I ст. до н.е. – I ст.

Гідрохімія спирається на дослідження хімічного складу води, які проводили в XVII–XVIII ст. А. Лавуазьє (1743–1794 рр.), Г. Кавендіш (1731–1810 рр.), Дж. Ватт (1736–1819 рр.). Власне, хімічний склад води у 1784 р. відкрив Г. Кавендіш, який виявив, що під час вибуху суміші водню й кисню при співвідношенні 2:1 на стінках посудини конденсується туман, який і є звичайною водою.

У XIX ст. технічний прогрес і промислова революція зробили необхідним дослідження водних розчинів для застосовування їх у різних технологічних процесах.

У XX ст. гідрохімія стає самостійною науковою дисципліною. Важливою для розвитку гідрохімії є праця В.І. Вернадського (1863–1945 рр.) «Історія природних вод» (1933 р.), в якій він тісно пов'язує формування хімічного складу природних вод з історією земної кори.

У працях О.О. Алекіна (1908–1995 рр.) після Другої світової війни (1939–1945 рр.) було закладено основи моніторингової гідрохімії поверхневих вод, яка спирається на дані про хімічний склад природних вод, отримані мережею спостережень за водними об'єктами колишнього СРСР (в тому числі і на території України). Ним створено класифікацію поверхневих вод за аніонами та катіонами, яка застосовується і в наш час.

В Україні розвиток гідрохімії поверхневих вод пов'язаний зі створенням у 1934 р. Дніпровської гідробіологічної станції в Києві, реорганізованої в 1939 р. в Гідробіологічний інститут АН УРСР, зараз – Інститут гідробіології НАН України (ІГБ). Найбільш активно гідрохімічні дослідження в комплексі з гідробіологічними виконувалися в ІГБ в 1950–1980-ті рр., що було пов'язано з проєктуванням, будівництвом та початком експлуатації каскаду водосховищ на Дніпрі. Значний внесок у розвиток гідрохімії гирлових областей річок та водосховищ зробили на той час керівники відділу гідрохімії ІГБ О.М. Алмазов (1912–1966 рр.) та О.І. Денисова (1924–2005 рр.).

У Київському національному університеті імені Тараса Шевченка за ініціативи В.І. Пелешенка (1927–2014 рр.) на географічному факультеті була створена проблемна науково-дослідна лабораторія гідрохімії (1971 р.). Основним напрямом наукових досліджень лабораторії стало вивчення взаємозв'язку хімічного складу різних типів природних вод (атмосферних, поверхневих і підземних). У 1976 р. кафедра гідрології суші географічного факультету була перейменована на кафедру гідрології та гідрохімії, яка розпочала випуск гідрологів зі спеціалізацією «гідрохімія».

У зв'язку з актуалізацією гідроекологічних аспектів при дослідженні якості вод (Водна рамкова директива ЄС), у 2002 р. за ініціативи тодішнього завідувача В.К. Хільчевського кафедру гідрології та гідрохімії перейменовано на кафедру гідрології та гідроекології. У 2000 р. ним також було засновано періодичний науковий збірник «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія», який став єдиним виданням в Україні такого профілю.

1.3. Історія гідрохімічних досліджень в Україні

Історія гідрохімічних досліджень в Україні детально охарактеризована в монографії В.К. Хільчевського «Нариси історії гідрохімії в Україні» [8]. У

розвитку гідрохімічних досліджень в Україні можна виділити п'ять періодів (табл. 1.2).

Перший період (до 1920-х рр.): несистемні відомості про хімічний склад природних вод.

Мінеральні води на нинішній території України почали вивчати на науковій основі близько другої половини XVIII ст. Так, перші дослідження деяких характеристик складу мінеральної води в місцевості Луги на берегах р. Велика Піна (сучасна назва мінеральної води «Лужанська», Закарпатська область) були проведені медиками в 1775 р. (А. Sebeok).

Таблиця 1.2. Характеристика розвитку гідрохімічних досліджень в Україні за хронологічними періодами [8]

Період	Роки	Характеристика періоду
I	до 1920-х	несистемні відомості про хімічний склад природних вод
II	1920-і – 1950-і	(1920-і – 1950-і рр.) – початок систематичних досліджень хімічного складу поверхневих вод
III	1950-і – 1970-і	розширення гідрохімічних досліджень для водного господарства та гідроенергетичного будівництва
IV	1970-і – до початку 2000-х	розвиток комплексних гідрохімічних досліджень в умовах зростаючого антропогенного навантаження на водні об'єкти
V	від 2014	реформування гідрохімічних досліджень і моніторингу вод згідно з вимогами Водної рамкової директиви ЄС; прийняття Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» (2016 р.)

Поява відомостей про мінеральні джерела Моршина (Прикарпаття, Львівська область) датуються 1538 р. Наукові ж дослідження хімічного складу мінеральної води в Моршині вперше виконані в 1880 р. вченими Львівського університету. У 1891 р. у Кракові вийшла монографія про мінеральні джерела Галичини (Władysław Shainoha. Źródła mineralne Galicyi) з докладною характеристикою складу вод.

Дослідження складу ропи і пелоїдів (грязей) деяких солоних лиманів на півдні України (Причорномор'я) почалося всередині XIX ст. У 1843 р. на Хаджибейському лимані було відкрито перший водолікувальний заклад, в 1853 р. – на Сухому лимані, в 1883 р. – на Куяльницькому.

Хімічний склад поверхневих вод почав привертати увагу дослідників дещо пізніше і пов'язано це було із забрудненням річкових вод в XIX ст. Нашим сучасникам певною мірою властиво ідеалізувати якість довкілля в минулі часи, зокрема і води водних об'єктів. Але варто відзначити, що і 150–170 років тому проблема забруднення поверхневих вод вже існувала. Першими це відзначили 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 від заводів і фабрик, на рибне населення р. Дніпро. Найбільшими забруднювачами водних об'єктів були цукрові заводи.

Ще на один аспект забруднення, який стосувався малих річок, звернув увагу вчений. А саме -- на використання селянами гною від утримання худоби, як будівельного матеріалу для «зміцнення» берегів або спорудження з нього невеликих гребель. Зрозуміло, до яких негативних санітарно-гігієнічних наслідків щодо якості річкових вод це призводило.

Поява централізованого водопостачання актуалізувала увагу до якості річкових вод. В 1872 р. в Києві проклали водопровід із забором води з р. Дніпро. Згодом, у 1894 р. побудували каналізацію з очищенням стічних вод на полях фільтрації, розташованих вище міста на правобережній заплаві Дніпра (вище сучасної Оболоні). Таке розташування очисних споруд призвело до появи у дніпровській воді біля Києва кишкової палички (*Escherichia coli*), що було зафіксовано локальним моніторингом. А вже в 1907 р. в Києві виникла епідемія холери. Тому з 1908 р. місто повністю перейшло на водопостачання підземною водою.

Перші наукові праці про хімічний склад поверхневих вод. Однією з перших наукових праць про хімічний склад поверхневих вод на території України вважається опублікована в 1907 р. книга викладача Київського політехнічного інституту Ф.Ф. Кіркора «Матеріали щодо питання про коливання складу річкової води. Хімічне дослідження води річки Росі 1904–1905 рр.» (рос. мовою).

У 1911 р. з'явилася публікація Є.С. Буркзера про радіоактивність водопровідної води в Одесі. А вже на початку 1920-х рр. вчений почав досліджувати хімічний склад поверхневих вод – соляних озер України для потреб бальнеології. І хоча дослідник увійшов в історію української науки, як вчений-геохімік і радіолог, його заслуги в області гідрохімії також очевидні.

Другий період (1920-і – 1950-і рр.): початок систематичних досліджень хімічного складу поверхневих вод.

Створення гідрометслужби – початок моніторингу вод. Важливим чинником у розвитку практичного моніторингу вод стало створення гідрометеорологічної служби в Україні (1921 р.), якій згодом було доручено вести спостереження за хімічним складом поверхневих вод на гідрологічних постах. У 1930-х рр. інформацію про хімічний склад річкових вод стали друкувати в «Гідрологічних щорічниках».

Будівництво ДніпроГЕС, обводнення Донбасу. Приводом для залучення гідрохіміків до реалізації важливих водогосподарських проєктів стало будівництво в 1932 р. Дніпровського водосховища на р. Дніпро біля Запоріжжя (ДніпроГЕС), а також початок робіт з обводнення індустріального регіону Донбасу.

Третій період (1950-і – 1970-і рр.): розширення гідрохімічних досліджень для потреб водного господарства та гідроенергетичного будівництва.

Будівництво Північно-Кримського каналу, зрошувальних систем. Після Другої світової війни, а саме 20 вересня 1950 р. було прийнято постанову Ради Міністрів СРСР «Про будівництво Каховської ГЕС на Дніпрі, Південно-Українського каналу, Північно-Кримського каналу і зрошення

земель південних районів України і північних районів Криму». Згодом розгорнулося будівництво дніпровського каскаду водосховищ, яке тривало протягом 1950-1974 рр. Вчені-гідрохіміки брали активну участь у наукових дослідженнях з даної тематики – відстоювали дотримання екологічних норм і вимог в цих проєктах.

Осушувальні меліорації. Згодом, у 1960–1970 рр. настав період масового будівництва осушувальних систем на Поліссі. Якщо взяти до уваги, що в цей час також створювалися нові промислові об'єкти, то очевидним стало зростання антропогенного впливу на якість поверхневих вод.

Четвертий період (1970-і – до початку 2000-х рр.): розвиток комплексних гідрохімічних досліджень в умовах зростаючого антропогенного навантаження на водні об'єкти.

Загальнодержавна система спостереження і контролю довкілля. 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. Виходили щоквартальні «Гідрохімічні бюлетені» з розширеним переліком пунктів спостереження за поверхневими водами і діапазоном хімічних компонентів (у тому числі забруднювальних речовин), які в Україні видавало Українське управління по гідрометеорології і контролю природного середовища Держкомгідромету.

У 1986 р. сталася аварія на Чорнобильській АЕС. Відбулося радіаційне забруднення водної екосистеми Дніпра, який забезпечує водою багато мільйон жителів. Була проведена велика робота з організації нової системи радіаційного моніторингу природних вод в Україні.

П'ятий період (від 2014 р.): Угода про асоціацію між Україною та ЄС, реформування гідрохімічних досліджень і моніторингу вод згідно з вимогами Водної рамкової директиви ЄС

Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, підписана в 2014 р., стимулювала реформування багатьох сфер діяльності держави, в тому числі й екологічної, пов'язаної з управлінням водними ресурсами та їхньою якістю. У 2016 р. Верховною Радою України був прийнятий Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом», яким імплементовано низку положень Водної рамкової директиви ЄС.

У 2018 р. постановою Кабінету Міністрів України затверджено «Порядок здійснення державного моніторингу вод». Передбачено, що комплексний державний моніторинг вод повинен здійснюватися на основі контролю за біологічними, гідроморфологічними, хімічними й фізико-хімічними показниками водних масивів. Провідним відомством зі здійснення моніторингу вод визначено Державне агентство водних ресурсів України під егідою Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

Установи гідрохімічного профілю. Масштабні завдання, що поставали в 1960–1980-х рр., призвели до появи в інститутах низки нових структурних підрозділів (лабораторій, відділів) з вивчення якості води. В цілому, вони плідно працювали над поставленими завданнями. Але з набуттям Україною незалежності в 1991 р., на жаль, відбулося падіння економіки країни, не стало великих інфраструктурних проєктів. Тому коло установ, пов'язаних з

вивченням якості вод звузилося, На сьогодні активно займаються гідрохімією в Інституті гідробіології НАН України (м. Київ), Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України (м. Київ).

Виконуються гідрохімічні дослідження в Українському інституті екологічних проблем (м. Харків), Українському науковому центрі екології моря (м. Одеса).


Серед закладів вищої освіти варто відзначити Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

1.4. Наукові гідрохімічні школи в Україні

1.4.1. Наукова гідрохімічна школа Інституту гідробіології НАН України сформувалася на базі відділу гідрохімії цього інституту (з 1950-х рр.). Найбільший злет досліджень був пов'язаний з вивченням гідрохімії малих річок і ставків; гідрохімічних особливостей гирлових областей річок; гідрохімічного режиму каскаду дніпровських водосховищ; форм знаходження важких металів у воді та донних відкладах.

Співробітниками ІГБ НАН України в різний час захищено чотири докторські дисертації з гідрохімії (табл. 1.3). Зокрема О.М. Алмазов (1960 р.) – з гідрохімії пониззя річок, відкритих лиманів і передгирлового узмор'я Північного Причорномор'я.

Таблиця 1.3. Українські вчені-доктори наук, які захистили докторські дисертації з гідрохімії (період 1960-2024 рр.) [8]

№	Фото вченого	Прізвище, ім'я, по батькові вченого, роки життя, місце роботи, науковий ступінь, наукова спеціальність	Тема докторської дисертації	Установа, в якій відбувся захист, рік захисту
1	2	3	4	5
1		<i>Алмазов Олександр Маркович</i> (1912–1966 рр.), Інститут гідробіології АН УРСР, доктор географічних наук *(гідрологія суші)	Гідрохімія пониззя річок, відкритих лиманів та передгирлового узмор'я (Північне Причорномор'я) – <i>рос. мовою</i>	Московський державний університет імені М.В. Ломоносова (Москва), 1960 р.
2		<i>Пелешенко Василь Іларіонович</i> (1927–2014 рр.), Київський державний університет імені Т.Г. Шевченка, доктор географічних наук, *(11.00.10 – гідрохімія)	Оцінка взаємозв'язку хімічного складу різних типів природних вод суходолу (оцінка, баланс та прогноз на прикладі України) – <i>рос. мовою</i>	Гідрохімічний інститут Держкомгідромету СРСР (Ростов-на-Дону), 1981 р.

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5
3		<i>Денисова Олександра Іванівна</i> (1924–2005 рр.), Інститут гідробіології АН УРСР, доктор географічних наук, (11.00.10 – гідрохімія)	Гідрохімічний режим водо- сховищ Дніпра та методи його прогнозування – <i>рос. мовою</i>	Гідрохіміч- ний інсти- тут Держ- комгідро- мету СРСР (Ростов- на-Дону), 1982 р.
4		<i>Горєв Леонід Миколайович</i> (1939–1999 рр.), Київський державний університет імені Т.Г. Шевченка, доктор географічних наук, (11.00.10 – гідрохімія)	Теоретичні та методологічні основи гідрохімії зрошуваних земель – <i>рос. мовою</i>	Гідрохіміч- ний інсти- тут Держ- комгідро- мету СРСР (Ростов- на-Дону), 1987 р.
5		<i>Журавльова Лідія Олексіївна</i> (1932–2001 рр.), Інститут гідробіології НАН України, доктор географічних наук, *** (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Закономірності формування гідрохімічного режиму деяких типів водойм, що контактують з морем, і його зміни під впли- вом гідротехніч- ного будівниц- тва – <i>рос. мовою</i>	Гідрохіміч- ний інсти- тут Держ- комгідро- мету СРСР (Ростов- на-Дону), 1991 р.
6		<i>Линник Петро Микитович</i> (1952 р.н.), Інститут гідробіології НАН України, доктор хімічних наук (11.00.11 – охорона навколиш- нього середовища та раціональне використання природних ресурсів)	Форми знаход- ження та основні закономірності міграції пріоритетних важких металів у поверхневих водах (на прикладі водних об'єктів України) – <i>рос. мовою</i>	Москов- ський хіміко- технологіч- ний інсти- тут імені Д.І. Менде- леєва, Москва, 1991 р.

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5
7		<i>Закревський Дмитро Васильович</i> (1929–2006 рр.), Київський державний університет імені Т.Г. Шевченка, доктор географічних наук, (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Гідрохімія осушуваних земель (в умовах північного заходу України) – <i>рос. мовою</i>	Гідрохімічний інститут Держкомгідромету СРСР (Ростов-на-Дону), 1992 р.
8		<i>Хільчевський Валентин Кирилович</i> (1953 р.н.), Київський національний університет імені Т. Шевченка, доктор географічних наук, (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Оцінка впливу агрохімічних засобів на стік хімічних речовин та якість поверхневих вод (на прикладі басейну Дніпра)	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 1996 р.
9		<i>Сніжко Сергій Іванович</i> (1958 р.н.), Київський національний університет імені Т. Шевченка, доктор географічних наук, (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2002 р.
10		<i>Ромась Микола Іванович</i> (1943–2009 рр.), Київський національний університет імені Т. Шевченка, доктор географічних наук, (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Гідрохімія водних об'єктів атомної і теплової енергетики	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2004 р.

Закінчення табл. 1.3

1	2	3	4	5
11		<i>Осадчий Володимир Іванович</i> (1955 р.н.), Український гідромет- інститут ДСНС України та НАН України, доктор географічних наук, (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Методологічні основи дослідження чинників та процесів формування хі- мічного складу поверхневих вод України	Київський національ- ний універ- ситет імені Тараса Шевченка, Київ, 2008 р.
12		<i>Осадча Наталія Миколаївна</i> (1959 р.н.) Український гідромет- інститут ДСНС України та НАН України, доктор географічних наук, (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Закономірності міграції гумусо- вих речовин у поверхневих водах України	Київський національ- ний універ- ситет імені Тараса Шевченка, Київ, 2011 р.
13		<i>Шерстюк Наталія Петрівна</i> (1962 р.н.), Дніпровський національний універ- ситет імені Олеся Гончара, доктор географічних наук, (11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія)	Гідрохімія вод- них об'єктів залізородних басейнів (на прикладі Криворізько- Кременчуцької залізородної зони)	Одеський державний екологіч- ний універси- тет, Одеса, 2013 р.

Примітки. * -- шифр і точна назва наукової спеціальності не встановлені; ** 11.00.10 - шифр і назва наукової спеціальності «Гідрохімія», прийняті у ВАК СРСР в 1981–1987 рр.; *** 11.00.07 -- шифр і назва наукової спеціальності «Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія», прийняті з 1988 р. у ВАК СРСР і перейшли до номенклатури спеціальностей ВАК України, створеної в 1992 р.

Пізніше -- О.І. Денисова (1982 р.) -- з гідрохімічного режиму водосховищ Дніпра і методах його прогнозування; Л.О. Журавльова (1991 р.) - з гідрохімічного режиму водойм, які контактують з морем, і впливу на нього гідротехнічного будівництва; П.М. Линник -- форми знаходження і основні закономірності міграції важких металів у поверхневих водах України [8].

Завідувачі відділу прісноводної гідрохімії (сучасна назва) ІГБ НАН України: доктор географічних наук, професор, лауреат Державної премії

УРСР *О.М. Алмазов* (1953--1966 рр.); доктор хімічних наук, професор *Б.Й. Набиванець* (1969--1972 рр.); доктор географічних наук, лауреат Державної премії УРСР *О.І. Денисова* (1972--1987 рр.); доктор хімічних наук, професор, лауреат Державної премії України *П.М. Линник* (з 1987 р).

1.4.2. Наукова гідрохімічна школа Київського національного університету імені Тараса Шевченка сформувалася в 1970-і рр. на базі створеної в 1971 р. проблемної науково-дослідної лабораторії гідрохімії, а також кафедри гідрології та гідрохімії. Дослідження було присвячено: вивченню взаємозв'язку хімічного складу різних типів природних вод суші на території України; впливу зрошувальних і осушувальних меліорацій на хімічний склад природних вод; гідрохімічному картографуванню; впливу агрохімічних засобів на якість поверхневих вод на експериментальних водозборах в різних природних зонах України; оцінюванню впливу ядерної та теплової енергетики на якість водних ресурсів; дослідженню гідрохімічних систем як комплексу хімічних речовин і процесів в природних водах.

Співробітниками Київського університету захищено шість докторських дисертацій з гідрохімії: *В.І. Пелешенко* (1981 р.) -- з оцінки взаємозв'язку хімічного складу різних типів природних вод суходолу (оцінка, баланс і прогноз) на прикладі території України; *Л.М. Горєв* (1987 р.) -- з теоретичних і методологічних основ гідрохімії зрошуваних земель; *Д.В. Закревський* (1992 р.) -- з гідрохімії осушуваних земель території північного заходу України; *В.К. Хільчевський* (1996 р.) -- з оцінки впливу агрохімічних засобів на стік хімічних речовин та якість поверхневих вод в басейні Дніпра; *С.І. Сніжко* (2002 р.) -- з теорії і методів аналізу регіональних гідрохімічних систем; *М.І. Ромась* (2004 р.) -- з гідрохімії водних об'єктів атомної і теплової енергетики (див. табл. 1.3).

Характерною рисою наукової гідрохімічної школи Київського університету є створення підручників і навчальних посібників з гідрохімії, в яких використано результати наукових досліджень. Опубліковані підручники з: основ меліоративної гідрохімії [29]; гідрохімії України [1]; загальної гідрохімії [4]; гідроекологічних аспектів водопостачання і водовідведення [75]; оцінки та прогнозування якості природних вод [65]; основ гідрохімії [11]; регіональної гідрохімії України [12]; агрогідрохімії [5].

Також протягом 1993--2018 рр. в Київському університеті працювала постійно діюча спеціалізована вчена рада із захисту докторських і кандидатських дисертацій, яку очолювали *В.І. Пелешенко* (1993--2003 рр.) та *В.К. Хільчевський* (2003--2018 рр.).

Троє вчених-гідрохіміків були завідувачами кафедри гідрології та гідрохімії (1976--2002 рр.), яка в 2002 р. перейменована на кафедру гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка:

В.І. Пелешенко -- доктор географічних наук, професор, заслужений діяч науки УРСР (завідував у 1976-1993 рр.);

Л.М. Горєв -- доктор географічних наук, професор (завідував у 1993-1999 рр.);

В.К. Хільчевський -- доктор географічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України (завідував у 2000-2019 рр.).

Від 2019 р кафедру очолив доктор географічних наук, професор, вчений-гідролог *В.В. Гребінь*.

1.4.3. Наукова гідрохімічна школа Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України сформувалася на базі відділу регіональної гідрохімії на початку 2000-х рр. Співробітниками УкрГМІ захищені дві докторські дисертації з гідрохімії: В.І. Осадчий (2008 р.) -- з методологічних засад дослідження факторів і процесів формування хімічного складу поверхневих вод України; Н.М. Осадча (2011 р.) -- з дослідження міграції гумусових речовин у поверхневих водах України (див. табл. 1.3).

Завідувачі відділу регіональної гідрохімії УкрГМІ: доктор географічних наук, член-кор. НАН України, лауреат Державної премії України *В.І. Осадчий* (1996--2011 рр.); доктор географічних наук *Н.М. Осадча* (від 2011 р).

1.5. Цикли наукових праць з гідрохімії, удостоєні Державної премії України в галузі науки і техніки

В Україні двічі цикли наукових праць з гідрохімічної тематики були удостоєні Державної премії України в галузі науки і техніки: «Гідрохімія поверхневих вод України» (1972 р.); «Оцінка, прогнозування та оптимізація стану водних екосистем України» (2017 р.).

1.5.1. Цикл наукових праць «Гідрохімія поверхневих вод України», удостоєний Державної премії УРСР в галузі науки і техніки 1972 р. (табл. 1.4)

Таблиця 1.4. Вчені-лауреати, удостоєні Державної премії УРСР в галузі науки і техніки 1972 р. за цикл наукових праць «Гідрохімія поверхневих вод України» [8]

№	Прізвище, ім'я, по батькові вченого, роки життя	Науковий ступінь, вчене звання	Місце роботи, посада
1	Алмазов Олександр Маркович (1912--1966 рр., помертвно)	доктор географічних наук, професор	Інститут гідробіології АН УРСР, завідувач відділу
2	Фельдман Маша Бенціонівна *(1914 р.н.)	кандидат хімічних наук, старший нау- ковий співробітник	Інститут гідробіології АН УРСР, старший науковий співробітник
3	Майстренко Юрій Гордійович *(1907 р.н.)	кандидат хімічних наук, старший нау- ковий співробітник	Інститут гідробіології АН УРСР, старший науковий співробітник
4	Нахшина Олена Петрівна *(1935 р.н.)	кандидат хімічних наук, старший нау- ковий співробітник	Інститут гідробіології АН УРСР, старший науковий співробітник
5	Денисова Олександра Іванівна (1924-2005 рр.)	кандидат хімічних наук, старший нау- ковий співробітник	Інститут гідробіології АН УРСР, старший науковий співробітник
6	Коненко Ганна Дмитрівна *(1907 р.н.)	кандидат хімічних наук, старший нау- ковий співробітник	Інститут гідробіології АН УРСР, старший науковий співробітник

Примітка. * – встановлено лише рік народження.

Авторський колектив вчених-гідрохіміків Інституту гідробіології АН УРСР був удостоєний Державної премії УРСР в галузі науки і техніки 1972 р. Лауреатами Державної премії стали: О.М. Алмазов; М.Б. Фельдман; Ю.Г. Майстренко; О.П. Нахшина; О.І. Денисова; Г.Д. Коненко (табл. 1.4).

Гідрохіміки Інституту гідробіології АН УРСР вперше дослідили і узагальнили дані стосовно гідрохімії річок і ставків України; гідрохімічних особливостей гирлових областей річок; гідрохімічного режиму дніпровських водосховищ. Результати використано при плануванні та реалізації науково обґрунтованих заходів з використання та охорони поверхневих вод.

1.5.2. Цикл наукових праць «Оцінка, прогнозування та оптимізація стану водних екосистем України», удостоєний Державної премії України в галузі науки і техніки 2017 р.

Ця група українських вчених, удостоєна Державної премії України в галузі науки і техніки 2017 р., представляла різні установи країни – табл. 1.5.

Таблиця 1.5. Вчені-лауреати, удостоєні Державної премії України в галузі науки і техніки 2017 р. за цикл наукових праць «Оцінка, прогнозування та оптимізація стану водних екосистем України» [8]

№	Прізвище, ім'я, по батькові вченого, роки життя	Науковий ступінь, вчене звання	Місце роботи, посада
1	2	3	4
1	Осадчий Володимир Іванович (1958 р.н.)	доктор географічних наук, членкор. НАН України	Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, директор
2	Набиванець Юрій Богданович (1962 р.н.)	кандидат географічних наук	Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, заступник директора
3	Хільчевський Валентин Кирилович (1953 р.н.)	доктор географічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України	Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, завідувач кафедри гідрології та гідроекології
4	Линник Петро Микитович (1952 р.н.)	доктор хімічних наук, професор	Інститут гідробіології НАН України, завідувач відділу прісноводної гідрохімії
5	Протасов Олександр Олексійович (1949 р.н.)	доктор біологічних наук, професор	Інститут гідробіології НАН України, провідний науковий співробітник відділу екологічної гідрології та технічної гідробіології
6	Щербак Володимир Іванович (1949 р.н.)	доктор біологічних наук, професор	Інститут гідробіології НАН України, провідний науковий співробітник відділу санітарної гідробіології і гідропаразитології

Закінчення табл. 1.5

1	2	3	4
7	Никифорович Євгеній Іванович (1955 р.н.)	доктор технічних наук, професор, член-кор. НАН України	Інститут гідромеханіки НАН України, завідувач відділу моделювання гідродинамічних процесів
8	Корнілович Борис Юрійович (1950 р.н.)	доктор хімічних наук, професор, член-кор. НАН України	НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», зав. кафедри хімічної технології кераміки та скла; Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, зав. відділу екологічної хімії

Лауреатами Державної премії України стали: В.І. Осадчий та Ю.Б. Набиванець (УкрГМІ ДСНС України та НАН України); В.К. Хільчевський (Київський національний університет імені Тараса Шевченка); П.М. Линник, О.О. Протасов і В.І. Щербак (Інститут гідробіології НАН України); Є.І. Никифорович (Інститут гідромеханіки НАН України); Б.Ю. Корнілович (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»). Перші чотири учасники в цьому колективі - вчені-гідрохіміки.

В циклі наукових праць «Оцінка, прогнозування та оптимізація стану водних екосистем України», удостоєному Державної премії України в галузі науки і техніки 2017 р., обґрунтовано нові прогресивні принципи і методи і реалізовано сучасні технології моніторингу, оцінювання, прогнозування та оптимізації якості води та стану водних екосистем в широкому спектрі їх залежності від антропогенного впливу і спрямованого на комплексне екологічно безпечне використання та охорону водних об'єктів і їхніх водозборів з урахуванням особливостей кліматичних і соціально-економічних умов в країні.

Структура циклу наукових праць складається з об'єднаних єдиною метою і загальною спрямованістю методологічних і методично-прикладних розробок і результатів їх реалізації за трьома наступними напрямками.

1). Аналітична, експериментальна і системна гідрохімія і гідроекологія: створення хіміко-аналітичної та експериментальної бази здійснення моніторингу водних екосистем, дослідження чинників і процесів формування хімічного складу поверхневих вод для оцінки і прогнозування їхнього стану та якості.

2). Регіональна і басейнова гідрохімія і гідроекологія: регіональні та басейнові гідрохімічні і гідроекологічні дослідження.

3) Гідроекологічний і гідробіологічний контроль природних водних екосистем і техноекосистем: розробка принципів і методологічних основ оцінювання і контролю біотичних процесів у водних екосистемах в градієнті антропогенної залежності, починаючи з водних об'єктів природно-заповідного фонду, антропогенно порушених водойм і водотоків, закінчуючи техноекосистемами; створення принципово нових наукових основ і системи гідробіологічного і гідроекологічного моніторингу техноекосистем з

урахуванням положень Водної рамкової директиви Європейського Союзу; розробка принципів конструктивного і експлуатаційного управління технооекосистемами енергетичних об'єктів.

Завдання для самостійної роботи

1. Використовуючи теоретичний матеріал з даної теми (табл. 1.3), з'ясувати за якими видами антропогенної діяльності вивчався вплив на хімічний склад поверхневих вод в докторських дисертаціях.

2. Знайти в репозитарії Волинського національного університету імені Лесі Українки та проаналізувати наукові публікації вчених університету, присвячені гідрохімічним дослідженням водних об'єктів Волинської області та України.

Контрольні питання

1. Дати визначення гідрохімії.
2. Коли і ким було відкрито хімічний склад води?
3. Коли гідрохімія стала самостійною науковою дисципліною?
4. В якій праці детально охарактеризована історія гідрохімічних досліджень в Україні?

5. Скільки періодів виділяють у розвитку гідрохімічних досліджень в Україні?

6. Охарактеризувати основні риси кожного періоду у розвитку гідрохімічних досліджень в Україні.

7. Охарактеризувати наукову гідрохімічну школу Інституту гідробіології НАН України.

8. Охарактеризувати наукову гідрохімічну школу Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

9. Охарактеризувати наукову гідрохімічну школу Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України.

10. Який цикл наукових праць з гідрохімічних досліджень удостоєний Державної премії України в галузі науки і техніки 1972 р.?

11. Який цикл наукових праць з гідрохімічних досліджень удостоєний Державної премії України в галузі науки і техніки 2017 р.?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• Українські гідрологи, гідрохіміки, гідроекологи: довідник / За ред. В.К. Хільчевського. К.: Ніка-Центр, 2004. 175 с.

• Університетська гідрологічна наука в Україні та перспективи подальшого її розвитку / В.К. Хільчевський, Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь, Ж.Р. Шакірзанова, Ю.С. Ющенко, Н.П. Шерстюк, В.А. Овчарук. Український гідрометеорологічний журнал. 2017. №19. С. 90-105.

• Хільчевський В.К. Гідрохімічний словник. К.: ДІА, 2022. 208 с.

• Хільчевський В.К. Нариси історії гідрохімії в Україні: монографія. К.: ДІА, 2020. 136 с.

• Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ТЕМА: СТРУКТУРА МОЛЕКУЛИ ВОДИ

Мета: з'ясувати структуру молекули, атомів, типи хімічних зв'язків між атомами, типи хімічних реакцій.

Основні терміни і поняття: молекула, атом, йон, нуклід, ізотоп, хімічний елемент, хімічна сполука, хімічна реакція, проста речовина, складна речовина, відносна атомна маса, відносна молекулярна маса, моль, молярна маса, молярний об'єм.

Аудиторні завдання

1. Використовуючи теоретичні відомості до даної теми вписати у зошит визначення основних термінів і понять, наведених до практичного заняття.

2. Проаналізувати типи хімічних зв'язків атомів: ковалентний, йонний, металічний, водневий. Дати письмово відповідь на питання, чому вода є найпридатнішою сполукою для утворення водневих зв'язків.

3. Графічно зобразити у робочих зошитах водневі зв'язки молекул води та розташування атомів кисню і водню у молекулі води.

Розв'язування задач

1. Скільки протонів, нейтронів та електронів міститься в нукліді свинець-210?

2. Обчислити кількість молекул, які містяться в 54 г води, а також масу однієї молекули.

Тестові завдання

1. Маса речовини вимірюється:

- а) г; в) моль;
б) кг; г) а. о. м.

2. Масою одного моля речовини називається:

- а) відносна атомна маса; в) молярна маса;
б) відносна молекулярна маса; г) маса молекули.

3. Позначити визначення відносної атомної маси:

- а) найменша маса речовини, яка обумовлює її властивості;
б) маса одного моля атомів;
в) маса однієї молекули речовини;
г) число, що дорівнює відношенню маси атома елемента до 1/12 маси атома вуглецю.

4. Позначити порядок цифр, що відповідають правильним твердженням:

- 1) відстань між молекулами в газоподібному стані менша, ніж у твердому;
2) відстань між молекулами в газоподібному стані більша, ніж у рідкому;
3) відстань між молекулами в газоподібному та рідкому станах однакова;
4) в газоподібному стані молекули хаотично рухаються;
5) в рідкому стані молекули жорстко зафіксовані в певному положенні;
6) в твердому стані частинки коливаються навколо певного положення.

Варіанти відповіді:

- а) 1; 3; 6; в) 2; 4; 6;
б) 2; 3; 6; г) 1; 5; 6.

5. Позначити прізвище вченого, ім'ям якого названо число частинок, що міститься в 1 моль будь-якої речовини:

- а) Менделєєв; в) Авогадро;
б) Лавуазьє; г) Резерфорд.

6. Вказати формули речовин, що мають однакову молярну масу:

CO_2 ; N_2O ; SO_2 ; C_3H_8 ; NO_2 ; CH_4 .

- а) 3; 5; 6; в) 2; 3; 4;
б) 1; 4; 6; г) 1; 2; 4.

7. Визначити молярну масу (в г/моль):

CO_2 ; Fe; NaCl

$M(\text{CO}_2) =$

$M(\text{Fe}) =$

$M(\text{NaCl}) =$

8. Обчислити масу сірки (VI) оксиду SO_3 кількістю речовини 2,5 моль (користуючись відповідними формулами обчислення: $M = m/n$; $m = n \times M$):

$m(\text{SO}_3) =$

9. Які хімічні реакції перебігають з виділенням тепла?

- а) ендотермічні; в) необоротні;
б) оборотні; г) екзотермічні.

10. Позначити із наведених формул хімічну реакцію заміщення:

- а) $2\text{Fe} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3$;
б) $2\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2$;
в) $\text{Zn} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$;
г) $\text{AgNO}_3 + \text{KBr} \rightarrow \text{AgBr} + \text{KNO}_3$.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 2

Зміст

2.1. Молекула, атом, нукліди, ізотопи, йони. – С. 27.

2.2. Хімічні зв'язки. – С. 30.

2.3. Хімічні реакції. – С. 33.

2.4. Фізичні величини, що використовуються в хімічних розрахунках.—С. 36.

2.5. Вода як речовина. – С. 38.

Для того, щоб вивчати хімічний склад природних вод необхідно мати уяву про певні основи хімії.

Хімія – наука про речовини, їхню будову, властивості і реакції, що приводять до утворення нових речовин.

До хімічних явищ належать ті, які полягають у перетворенні одних речовин в інші без зміни складу ядер атомів. Відбувається «перегрупування» атомів та утворення нових молекул, йонів, асоціатів тощо.

У результаті хімічних реакцій поглинається або виділяється енергія (у вигляді тепла, світла, електрики тощо), змінюється колір, утворюється або поглинається газ, утворюється або розчиняється осад, з'являється або зникає запах [2].

2.1. Молекула, атом, нукліди, ізотопи, йони

Будь-яка речовина складається з окремих дрібних частинок: молекул чи йонів.

Молекула -- це найменша частинка речовини, яка зберігає її хімічні властивості. Хімічні властивості молекули визначаються її складом і хімічною будовою. Молекули, в свою чергу, складаються з атомів. До складу молекули може входити різна кількість атомів. Наприклад, молекули інертних газів одноатомні, молекули водню й азоту – двоатомні, води – триатомні тощо. Такі складні речовини, як білки та нуклеїнові кислоти, мають молекули, складені із сотень тисяч атомів [11].

Атом – це найменша частинка хімічного елемента, яка входить до складу молекул простих і складних речовин. Атоми хімічних елементів можуть перебувати у вільному стані і утворювати прості і складні речовини. У вільному стані атоми перебувають лише при дуже високих температурах.

Атом складається з трьох видів частинок: *електронів, протонів, нейтронів*. Електрон – найлегша з відомих елементарних частинок (маса $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг). Електрони утворюють оболонку атома (заряд електрона дорівнює -1). Ядро атома складається із частинок двох видів – протонів і нейтронів. Протони – це позитивно заряджені частинки із зарядом $+1$, а нейтрони не мають заряду. Весь позитивний заряд ядра створюється протонами. Їхнє загальне число дорівнює заряду ядра. Маса протона й нейтрона приблизно дорівнюють 1 а.о.м. (атомна одиниця маси). Будь-який атом електронейтральний, тобто число протонів із зарядом $+1$ завжди дорівнює числу електронів із зарядом -1 .

У всіх атомів одного й того самого хімічного елемента число протонів завжди однакове (і дорівнює заряду ядра), а число нейтронів буває різним, тому маса атомів одного й того самого елемента може бути різною. Це означає, що не маса, а саме заряд ядра є основною характеристикою, за якою атоми одного виду відрізняються від атомів іншого виду. Число протонів в атомах дорівнює порядковому номеру хімічного елемента в Періодичній системі хімічних елементів, адже заряд ядра також дорівнює порядковому номеру.

Наприклад, порядковий номер водню дорівнює 1, адже в ядрі атома водню міститься один протон і заряд його ядра дорівнює $+1$. Порядковий номер кисню 8, оскільки в ядрах атомів кисню міститься по 8 протонів і заряд таких ядер $+8$ [2].

Атомні ядра одного й того самого хімічного елемента містять однакове число протонів, що дорівнює порядковому номеру цього елемента у Періодичній системі. Але якщо протонів в атомних ядрах певного хімічного

елемента має бути строго визначене число, то число нейтронів у ядрі таких атомів може бути різним.

Наприклад, у ядрі атомів кисню міститься 8 протонів (порядковий номер кисню у Періодичній системі – 8). А число нейтронів може бути 7, 8, 9 і навіть 10, адже серед атомів кисню можна виділити різні набори протонів і нейтронів. Кожний такий набір (різновид атомних ядер) називають нуклідом.

Нукліди – це різновид (набір) атомів з певним числом протонів і нейтронів у ядрі.

Кожний нуклід характеризується певними числами: протонне число – число протонів у ядрі певного нукліда, нейтронне число – число нейтронів у ядрі певного нукліда. Масове число – це сума протонного й нейтронного чисел. Масове число кожного атома приблизно дорівнює його відносній атомній масі. У нукліді масове число пишуть ліворуч угорі поряд із символом хімічного елемента (наприклад, ^{16}O , ^{18}O) або кисень–16, кисень–18.

Усі нукліди, які мають однаковий заряд (протонне число) і різне нейтронне число, називають ізотопами. Оскільки нукліди з однаковим протонним числом належать до одного хімічного елемента, то різні нукліди одного хімічного елемента і є ізотопами.

Ізотопи – атоми з однаковим зарядом ядра, але різною кількістю нейтронів.

Наприклад, природний хлор складається з двох ізотопів ^{35}Cl і ^{36}Cl , Магній – з трьох ізотопів ^{24}Mg , ^{25}Mg , ^{26}Mg . У водню два стабільних ізотопи: протій (H) (ядра атомів протію складаються тільки з одного протона) і дейтерій (D) (у ядрах атомів, крім протона, міститься ще один нейтрон). Відомий також радіоактивний ізотоп водню – надважкий водень тритій (T) (у ядрах атомів, окрім протона, міститься два нейтрони). Знаючи порядковий номер елемента та масове число нукліда, можна обчислити, скільки електронів, протонів та нейтронів містить певний атом. Число електронів дорівнює числу протонів, що збігається з порядковим номером (зарядом ядра), а число нейтронів дорівнює різниці між масовим числом і зарядом ядра [2].

Рух електрона навколо ядра здійснюється за трьома ступенями вільності (відповідно до осей координат) і включає власне обертання – *спін*. Спін електрона – це його внутрішня властивість, що характеризує відношення електрона до магнітного поля [11].

При утворенні молекули атоми зв'язуються в певній послідовності особливими хімічними зв'язками. Причому кожен атом може утворювати не нескінченне, а тільки певне число таких зв'язків. Атом водню може приєднувати тільки один атом іншого хімічного елемента, атом кисню – два атоми, азоту – три атоми. Ця властивість атомів називається валентністю.

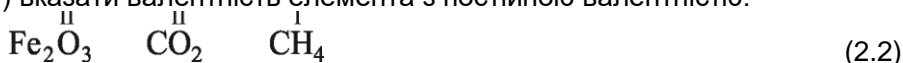
Валентність – це число хімічних зв'язків, які певний атом може утворити з іншим атомом. Знаючи валентність одного хімічного елемента, можна визначити валентність інших атомів у сполуці. Якщо атоми водню завжди одновалентні, то в молекулі хлороводню HCl валентність атомів хлору також дорівнює одиниці, тому що атом хлору зв'язаний тільки з одним атомом водню й не може утворювати з ним більше одного зв'язку. У молекулі аміаку NH_3 атом азоту зв'язаний з трьома одновалентними атомами водню, отже, азот тривалентний, тому що утворює три зв'язки. Для

позначення валентності використовують римські цифри і записують їх над символами відповідного елемента в хімічній формулі:



Для визначення валентності елементів у хімічній сполуці використовується алгоритм:

1) вказати валентність елемента з постійною валентністю:



2) помножити число атомів цього елемента на його валентність:

$$3 \times II = 6 \quad 2 \times II = 4 \quad 4 \times I = 4$$

3) поділити отримане значення на число атомів іншого елемента:

$$6 : 2 = III \quad 4 : 1 = IV \quad 4 : 1 = IV$$

4) записати значення валентності над символом цього елемента:



Не завжди речовина складається з молекул. Багато речовин у твердому й рідкому стані (більшість солей) мають йонну структуру.

Йони – це електричні заряджені частинки, які утворюються при втраті або приєднанні електронів (чи інших заряджених частинок) атомами (групами атомів). Позитивно заряджені йони, які рухаються до негативного полюса (катода), називаються катіонами, а негативно заряджені, які рухаються до позитивного полюса (анода), – аніонами.

Поняття і термін «йон» увів у 1834 р. Майкл Фарадей, який, вивчаючи дію електричного струму на водні розчини кислот, лугів і солей, припустив, що електропровідність таких розчинів обумовлена рухом йонів [11].

Лужний метал натрій – елемент головної підгрупи I групи Періодичної системи. Натрій – активний метал, він легко горить на повітрі, реагує не тільки з кислотами, але й з водою. Висока хімічна активність натрію пояснюється наявністю в його атомах одного валентного (який має найбільшу енергію) електрона. Втрачаючи цей електрон, атом натрію перетворюється на позитивно заряджений йон Na^+ з електронною конфігурацією інертного газу неону. Йони натрію входять до складу всіх сполук натрію, наприклад соди та кухонної солі. На відміну від атомів натрію, йони натрію хімічно інертні й практично нешкідливі для організму.

В атомах галогенів, які утворюють головну підгрупу VII групи, сім електронів на зовнішньому рівні. До його завершення їм не вистачає всього одного електрона, тому для них найбільш характерний процес приєднання електрона. Так, атом фтору, приєднуючи один електрон, перетворюється на йон F^- , що має електронну конфігурацію інертного газу й за хімічними властивостями значно відрізняється від простої речовини фтору, яка складається з молекул F_2 .

Таким чином, металічні властивості обумовлюються здатністю віддавати електрони, а неметалічні – здатністю їх приєднувати. У періоді зі збільшенням порядкового номера металічні властивості зменшуються, а неметалічні – зростають. Кожний період Періодичної системи починається найбільш активним (серед елементів певного періоду) металічним елементом, а наприкінці періоду розташований найбільш активний неметалічний елемент (у групі VII) та інертний газ (у групі VIII).

Властивість, яка пов'язана з прийомом-утратою електронів, називається електронегативністю атомів.

Електронегативність – здатність атома притягувати валентні електрони інших атомів.

Найсильніше притягують електрони атоми найбільш активних неметалічних елементів – фтору, кисню, хлору, – адже їм для завершення зовнішнього рівня не вистачає одного або двох електронів. А електрони, які вони будуть приймати, розташуються досить близько до ядра – на другому або третьому електронному шарі. Тому електронегативність цих елементів найбільша. Найлегше віддають електрони атоми активних металічних елементів, у першу чергу лужних: літію, натрію, калію тощо. Вони характеризуються найменшою електронегативністю. В Періодичній системі електронегативність змінюється так само, як і металічні властивості: у періодах електронегативність збільшується зліва направо, а в групах знизу вгору, адже елемент із найбільшою електронегативністю – фтор, а з найменшою – цезій [2].

2.2. Хімічні зв'язки

При взаємодії атомів між ними може виникати хімічний зв'язок, завдяки якому утворюються молекула і молекулярний йон. Чим міцніший хімічний зв'язок, тим більше енергії треба витратити для його розриву; тому енергія розриву зв'язку є мірою його міцності. Хімічний зв'язок виникає внаслідок взаємодії електричних полів, які утворюються електронами та ядрами атомів, що беруть участь у створенні молекули або кристала.

Хімічний зв'язок -- це взаємодія атомів, що здійснюється шляхом обміну електронами або їхнім переходом від одного атома до іншого.

Розрізняють кілька типів хімічного зв'язку: ковалентний, йонний, металічний, водневий.

2.2.1. Ковалентний зв'язок – хімічний зв'язок, що виникає внаслідок утворення спільних електронних пар.

Ковалентний зв'язок утворюється при зближенні атомів з однаковою чи близькою електронегативністю й полягає в перекритті «електронних хмар» (орбіталей) атомів, яке супроводжується виділенням енергії. Ковалентний хімічний зв'язок утворюється двома електронами з протилежними спінами, причому згадана електронна пара належить двом атомам. Ковалентний зв'язок тим міцніший, чим більшою мірою перекриваються взаємодійні електронні хмари [11].

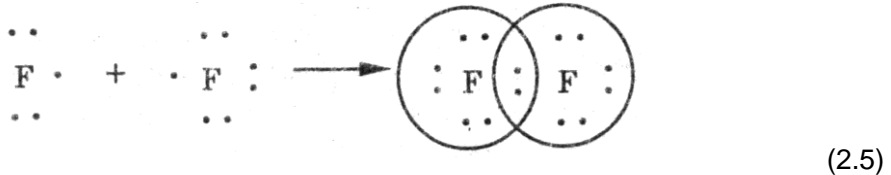
У найпростішому з відомих атомів – атомі водню – на зовнішньому електронному рівні перебуває один електрон: при зображенні утворення хімічного зв'язку заведено позначати електрони зовнішнього енергетичного рівня (валентні електрони) крапкою або хрестиком: H \cdot . Такі формули

називають формулами Льюїса, або електронно-крапковими формулами. За допомогою таких формул утворення молекули H_2 можна записати у вигляді схеми:



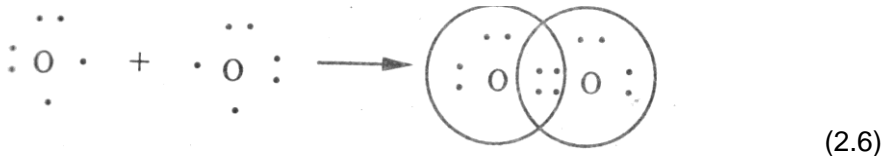
Таким чином, кожний атом водню віддає свій валентний електрон у спільне користування. При цьому утворюється спільна електронна пара, що одночасно однаковою мірою належить і обом атомам водню.

До завершення зовнішнього рівня атому фтору не вистачає одного електрона, тому кожен з атомів віддає в спільне користування по одному неспареному електрону:

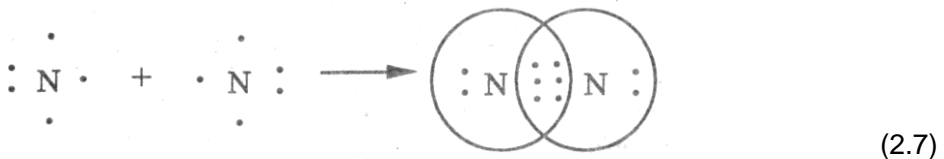


Таким чином, кожний з атомів одержує на зовнішньому рівні по вісім електронів (октет), з яких два перебувають у спільному користуванні, а шість (три пари) не беруть участі в утворенні хімічного зв'язку й належать лише одному атому (неподілені електронні пари).

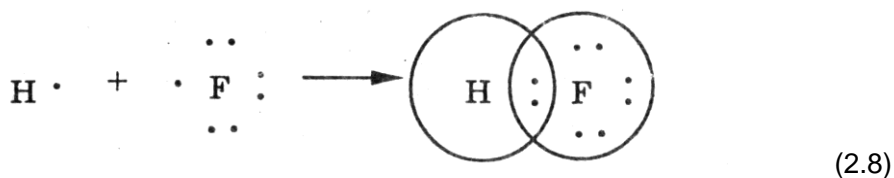
При взаємодії двох атомів, кожний з яких має кілька неспарених електронів, утворюється відразу кілька спільних електронних пар. Наприклад, у молекулі кисню O_2 . В атомі кисню на зовнішньому рівні перебуває шість електронів: дві електронні пари й два неспарені електрони. Ці неспарені електрони беруть участь в утворенні двох спільних електронних пар:



В атомах азоту на зовнішньому електронному рівні перебуває три неспарені електрони. Завдяки їм при утворенні молекули азоту N_2 утворюється три спільні електронні пари:

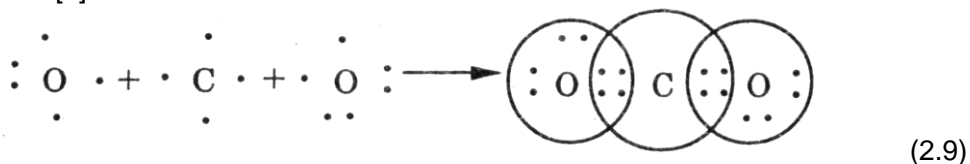


У молекулі фтороводню HF атом водню за рахунок «чужого» електрона завершує перший енергетичний рівень, а атом фтору F – другий:



Якщо в одному атомі є кілька неспарених електронів, то він може утворювати ковалентні зв'язки відразу з кількома атомами.

Між атомами різних елементів можуть також утворюватися і подвійні зв'язки. Наприклад, у молекулі вуглекислого газу CO_2 між атомами вуглецю і кисню [2]:



2.2.2. Йонний зв'язок – хімічний зв'язок, що виникає в результаті притягування протилежно заряджених йонів.

Йонний зв'язок за механізмом утворення нагадує ковалентний, але має принципову відмінність: у речовинах з йонним зв'язком атоми жорстко не з'єднуються один з одним, а просто притягуються електростатичними взаємодіями.

Атоми лужних металів, наприклад натрію, у хімічних реакціях легко віддають валентні електрони й перетворюються в йони з електронною конфігурацією інертного газу: $\text{Na} - \hat{e} \rightarrow \text{Na}^+$.

Атоми галогенів – типові неметалічні елементи – у хімічних реакціях приймають електрони й перетворюються в йони з електронною конфігурацією найближчого інертного газу: $\text{Cl} - \hat{e} \rightarrow \text{Cl}^-$.

При взаємодії двох атомів, один з яких віддає електрон, а інший його приймає, електрон переходить від одного атома до іншого. Атом, що віддав електрон, перетворюється на позитивно заряджений йон (катіон), а атом, що прийняв електрон, – на негативно заряджений йон (аніон). Між цими різнойменно зарядженими йонами виникає електростатичне притягування, сила якого залежить від зарядів йонів та їхніх радіусів.

2.2.3. Металічним зв'язком називається хімічний зв'язок між атомами в металах та їх сплавах. Він має ту ж природу, що й ковалентний чи йонний, але відрізняється специфічними особливостями. В металах електрони належать одночасно всім атомам, тобто є узагальненими і становлять загальну «електронну хмару», незакріплену за будь-якою групою атомів. Незакріпленість електронів пояснює властивості, характерні для металів – їх високу електричну провідність, тягучість, ковкість.

2.2.4. Водневий зв'язок пояснюють дією електростатичних сил. Між протоном атома водню й негативно зарядженим атомом сусідньої молекули виникає електростатичне тяжіння, що й приводить до виникнення водневого зв'язку. Це зумовлене надзвичайно малими розмірами атома водню й відсутністю внутрішніх електронних шарів, які відштовхуються негативно

зарядженими атомами, внаслідок чого йон водню здатний проникати в електронні оболонки інших атомів [11].

2.3. Хімічні реакції

Хімічні реакції -- явища, при яких одні речовини перетворюються в інші, що відрізняються від вихідних своїм складом і властивостями.

Під час хімічних реакцій з атомів речовин, що вступили у реакцію, утворюються нові речовини, причому загальне число атомів кожного елемента залишається незмінним. У результаті хімічних реакцій утворюються прості речовини і сполуки.

Прості речовини – це речовини, утворені атомами одного елемента (наприклад, проста речовина вугілля утворена атомами вуглецю, проста речовина залізо – атомами елемента заліза, проста речовина азот – атомами елемента азоту).

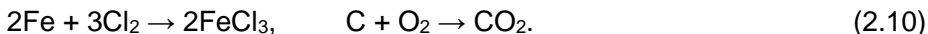
Складні речовини (або *хімічні сполуки*) – це речовини, утворені атомами різних хімічних елементів (наприклад, мідь (II) оксид CuO утворений атомами елементів міді і кисню, вода – атомами елементів водню і кисню).

Хімічні реакції класифікують за різними ознаками.

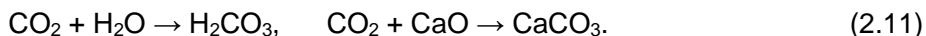
2.3.1. Хімічні реакції за числом та складом вихідних реагентів і продуктів реакції виділяють хімічні реакції: *сполучення, розкладу, заміщення, обміну*.

Реакція *сполучення* – реакція, внаслідок якої з кількох речовин з відносно простим складом утворюється одна велика речовина з більш складною структурою: $A + B + C = D$.

Зазвичай такі реакції супроводжуються виділенням тепла. Найбільш характерні реакції сполучення для взаємодії простих речовин:



Також вони характерні й для складних сполук. Наприклад, для реакції взаємодії оксидів з водою або основним оксидом з кислотним:



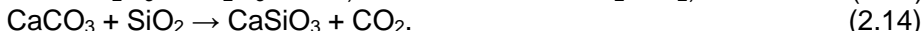
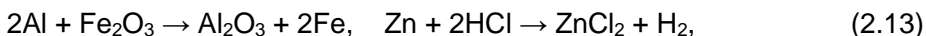
Реакції *розкладу* призводять до утворення кількох речовин з однієї складної речовини: $A \rightarrow B + C + D$.

Продуктами реакції розкладу можуть бути як складні речовини, так і прості:



У реакціях *заміщення* атом одного елемента заміщає атом або групу атомів у складній сполуці: $A + \text{BC} \rightarrow \text{AB} + \text{C}$.

У реакціях заміщення зазвичай одна проста речовина реагує із складною з утворенням іншої простої речовини й іншої сполуки:



До реакцій обміну належать реакції, в яких дві сполуки обмінюються своїми складовими частинами (атомами або групами атомів): $\text{AB} + \text{CD} = \text{AC} + \text{BD}$.

Це найпоширеніша група реакцій між складними речовинами, зокрема, між кислотами, основами та оксидами:



2.3.2. Хімічні реакції за числом фаз, в яких перебувають учасники реакції. Реагенти, що беруть участь у хімічній реакції, можуть перебувати як в однакових агрегатних станах, так і в різних. Залежно від того, чи існує між реагентами межа поділу, реакції поділяють на дві групи.

Гомогенні реакції – між газуватими речовинами або між розчиненими речовинами.

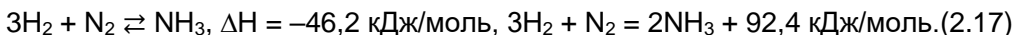
Гетерогенні реакції -- в яких реагенти перебувають у різних фазах (тобто між речовинами існує межа поділу).

Наприклад: реакції між газом та рідиною: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$; між газами і твердою речовиною: $\text{CO}_2 + \text{CaO} \rightarrow \text{CaCO}_3$; між твердими речовинами й рідинами (розчинами): $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

2.3.3. Хімічні реакції за можливістю протікання реакції в прямому й зворотному напрямках.

Оборотні реакції – реакції, продукти яких здатні реагувати один з одним у тих самих умовах, в яких вони отримані, з утворенням вихідних речовин. Наприклад, при нагріванні йодоводню до температури 500 °С 24 % його розпадається на йод та водень: $2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$. Якщо ж у тому самому просторі нагріти однакові кількості йоду й водню до 500 °С 76 % їх сполучаються й утворюють йодоводень: $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$. Для оборотних реакцій у рівнянні приймають записувати замість знаку рівності двонаправлену стрілку. Цим підкреслюють, що в тих самих умовах проходить як пряма реакція, так і оборотна.

Наприклад, утворення аміаку з водню та азоту:



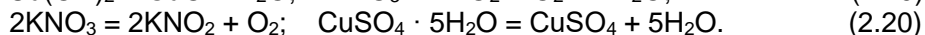
Необоротними називають такі хімічні реакції, продукти яких не здатні реагувати один з одним з утворенням вихідних речовин. Прикладами необоротних реакцій можуть слугувати реакції розкладу калій перманганату при нагріванні:



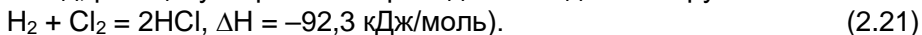
Необоротних реакцій не так багато. Більшість реакцій є оборотними.

2.3.4. Хімічні реакції за тепловим ефектом (реакції поділяють на екзотермічні і ендотермічні).

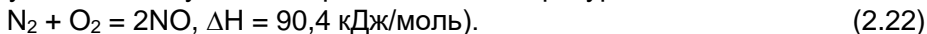
Велика кількість хімічних процесів відбувається з виділенням енергії, зокрема горіння (реакція, що відбувається з виділенням тепла і світла). Є реакції, в яких тепло поглинається. Їхнє здійснення потребує нагрівання. До таких реакцій належать реакції розкладу гідроксидів, оксигеновмісних кислот, їхніх солей, кристалогідратів:



Екзотермічні – це реакції, які відбуваються з виділенням тепла (наприклад, реакція утворення хлороводню із водню і хлору:



Ендотермічні – реакції, що відбуваються з поглинанням тепла з навколишнього середовища (наприклад, реакція утворення азоту (II) оксиду з азоту і кисню відбувається при високій температурі:



Показати виділення або поглинання тепла можна в хімічному рівнянні:



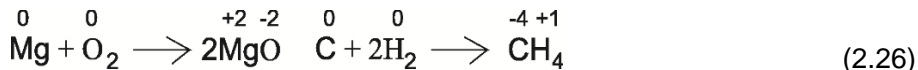
2.3.5. Хімічні реакції за ознакою зміни ступенів окиснення елементів, що входять до складу реагентів та продуктів реакції.

Реакції, що протікають без зміни ступенів окиснення всіх елементів:

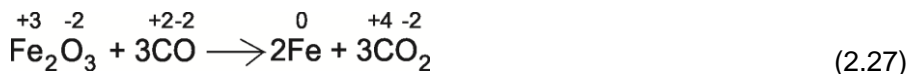


Реакції, що протікають зі зміною ступеня окиснення всіх або деяких (або навіть одного) елементів.

а) Усі елементи змінюють ступені окиснення:



б) Деякі елементи змінюють ступені окиснення:



Окисно-відновні реакції – хімічні реакції, які протікають зі зміною ступеня окиснення елементів, що входять до складу реагентів.

Будь-який окисно-відновний процес обов'язково складається з двох протилежних процесів – окиснення і відновлення.

Окиснення – це процес віддачі електронів атомом, йоном або молекулою. Якщо атом віддає електрон, то він здобуває позитивний заряд:



Відновлення – це процес прийому електронів атомом, йоном або молекулою.

Якщо нейтральний атом приймає електрони, то він перетворюється в негативно заряджену частинку:



Частинку (атом, молекулу або йон), яка приймає електрон, називають *окисником*, а частинку, яка віддає електрони – *відновником*.

Окисник у процесі реакції відновлюється, а відновник – окиснюється.

Оскільки в результаті реакції одна частинка віддає електрони, обов'язково має бути частинка, яка ці електрони приймає, тому процеси

окиснення й відновлення нерозривно пов'язані й не можуть протікати незалежно один від одного [2].

2.4. Фізичні величини, що використовуються в хімічних розрахунках

У хімічних розрахунках використовуються фізичні величини: маса, об'єм, кількість речовини, густина, атомна маса, відносна атомна маса й молекулярна маса, молярна маса, молярний об'єм, відносна густина газів, тиск, температура, час, концентрація, швидкість хімічної реакції, електричний заряд тощо [2].

Маса атома і **маса молекули** – це маси атомів і молекул, виражені в одиницях СІ, тобто в кілограмах (або грамах).

Маси атомів дуже малі. Наприклад, маса атома водню $1,67 \times 10^{-27}$ кг, кисню – $26,60 \times 10^{-27}$ кг, вуглецю – $19,93 \times 10^{-27}$ кг. Під час обчислень користуватися такими числами незручно. Тому в хімії використовують відносну атомну масу.

Відносна атомна маса – фізична величина, яка показує, у скільки разів маси атомів хімічних елементів більші від певної величини, що має назву атомної одиниці маси (а.о.м.). Ця величина становить $1/12$ маси атома нукліда вуглецю ^{12}C . Маса атома цього нукліда, яка дорівнює $19,93 \times 10^{-27}$ кг, прийнята за 12 а.о.м. Із цього випливає, що $1 \text{ а.о.м.} = 1,66 \times 10^{-27}$ кг.

Відносна атомна маса показує, у скільки разів маса атома даного елемента важча $1/12$ маси атома вуглецю–12. Наприклад, відносна атомна маса вуглецю дорівнює 1,00797 (округлено 1), кисню – 15,9994 (округлено 16), заліза – 55,847 (округлено 56).

Вуглецевий еталон у визначенні відносних атомних мас існує не так давно. Вуглецева одиниця (маса становить $1,66043 \times 10^{-24}$ г) була введена у 1961 р. До цього хіміки користувалися водневою одиницею, тобто обчислювали відносну атомну масу як відношення маси атома елемента до маси атома водню), кисневою тощо.

Відносна атомна маса – це фізична величина, що визначається відношенням маси атома елемента до маси однієї дванадцятої частини маси атома нукліда вуглецю ^{12}C .

Відносну атомну масу позначають символом A_r , де індекс r – перша літера англійського слова «relative», що означає «відносний». Оскільки відносна атомна маса – величина відносна, отримана відношенням двох мас, то вона не має розмірності. Приклад запису: $A_r(\text{H}) = 1,008$, $A_r(\text{U}) = 238,03$.

Відносна молекулярна маса – це фізична величина, що визначається відношенням маси молекули до маси однієї дванадцятої частини маси атома нукліда вуглецю ^{12}C .

Відносну молекулярну масу позначають символом M_r й аналогічно до відносної атомної маси вона не має одиниці вимірювання. Відносну молекулярну масу обчислюють за хімічною формулою речовини як суму відносних атомних мас усіх атомів (з урахуванням їхньої кількості), що входять до складу молекули:

$$M_r(\text{B}_b\text{C}_c\text{D}_d) = bA_r(\text{B}) + cA_r(\text{C}) + dA_r(\text{D}) \quad (2.30)$$

Наприклад,

$$M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 2A_r(\text{Na}) + A_r(\text{C}) + 13A_r(\text{O}) + 20A_r(\text{H}) = 2 \cdot 23 + 12 + 13 \cdot 16 + 20 \cdot 1 = 286. \quad (2.31)$$

Атомна маса й молекулярна маса – це маса атомів і молекул, виражена в атомних одиницях маси (а.о.м.). Її обчислюють так само, як і відносну атомну та молекулярну маси, й чисельно ці величини рівні. Єдина відмінність – атомна й молекулярна маси мають одиницю вимірювання 1 а.о.м. Наприклад, молекулярна маса води H_2O складатиметься із: маса двох атомів водню ($2 \times 1,00797 = 2,01594$) + маса одного атома кисню ($1 \times 15,9994 = 15,9994$) = 18,01534. Отже, молекулярна маса води дорівнює 18,01534, або округлено 18 а.о.м. Маса молекули води у 18 разів більша за $1/12$ маси атома вуглецю--12.

Кількість речовини – це фізична величина, що визначається числом часток – структурних елементів речовини: молекул, атомів, йонів. Кількість речовини позначають латинською буквою n .

Одиниця вимірювання кількості речовини – моль. 1 моль – це така кількість речовини, що містить стільки ж структурних елементів речовини (молекул, атомів, йонів), скільки міститься атомів у нукліді вуглецю ^{12}C масою 0,012 кг. У зразкові нукліда вуглецю ^{12}C масою 0,012 кг міститься $6,022 \times 10^{23}$ атомів вуглецю. Отже, можна сказати, що

Моль – це така кількість речовини, яка містить $6,022 \times 10^{23}$ структурних елементів речовини (молекул, атомів, йонів).

Число, яке дорівнює $6,02214076 \times 10^{23}$ називають *сталою Авогадро*. Ця величина позначається N_A і має одиницю виміру моль $^{-1}$. Стала Авогадро – це одна з фундаментальних сталих нарівні з гравітаційною силою, сталою Планка, швидкості світла у вакуумі тощо.

Молярна маса – це фізична величина, що дорівнює масі речовини кількістю 1 моль. Позначається символом M , одиниця вимірювання – кг/моль або г/моль.

Молярна маса будь-якої речовини чисельно дорівнює її відносній атомній або молекулярній масі:

$$\text{оскільки } M = m_m \times N_A \quad (2.32)$$

$$M_r = \frac{m_m}{1 \text{ а.о.м.}} \quad (2.33)$$

$$N_A \cdot 1 \text{ а.о.м.} = 1 \quad (2.34)$$

де m_m – маса молекули, то підставляючи (3) в (1), одержуємо

$$M = m_a \left(\frac{1}{1 \text{ а.о.м.}} \right), \quad (2.35)$$

отже $M = M_r [2]$.

Відповідно молярну масу речовини з відомою формулою можна обчислити аналогічно до відносної молекулярної маси. Незважаючи на те, що чисельно молярна й молекулярна маси рівні, вони мають різне значення:

відносна молекулярна маса характеризує масу однієї молекули, а молярна маса -- масу речовини кількістю 1 моль.

Молярна маса речовини – це кількісна характеристика речовини, причому для речовини з певним складом вона є сталою величиною, незалежно від агрегатного стану й умов існування (температури, тиску, об'єму).

Молярний об'єм -- це фізична величина, яка дорівнює об'єму речовини кількістю 1 моль. Позначається символом V_m і має одиницю вимірювання $\text{м}^3/\text{моль}$ або $\text{л}/\text{моль}$. На відміну від молярної маси, молярний об'єм не є сталою величиною, він залежить (особливо для газуватих речовин) від умов існування речовини: агрегатного стану, температури й тиску). Молярний об'єм будь-якої речовини, незалежно від агрегатного стану, можна обчислити за допомогою фізичного рівняння: $m = \rho \times V$:

$$V_m = \frac{M}{\rho} \quad (2.36)$$

Основні фізичні величини, які використовуються у хімії, пов'язані між собою формулами:

$$A_r = \frac{m_a}{1 \text{ а.о.м.}} = \frac{m_a}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} \quad (2.37)$$

$$M_r = \frac{m_m}{1 \text{ а.о.м.}} = \frac{m_m}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} \quad (2.38)$$

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m}$$

де m_a – маса атома (у кг); m_m – маса молекули (у кг); N – число структурних одиниць речовини (молекул, атомів, йонів); m – маса речовини; V – об'єм речовини [2].

2.5. Вода як речовина

Вода (H_2O) -- найпростіша хімічна сполука водню з киснем (11,2 % водню й 88,1 % кисню за масою). Звичайно чиста вода – рідина без запаху, смаку та кольору (лише в шарі завтовшки понад 2 м має блакитний відтінок), головна складова частина гідросфери. Температура плавлення води становить 0°C , а температура кипіння – 100°C . Найбільшу густину вода має при 4°C (маса 1 см^3 води -- 1 г), при 0°C густина льоду -- $916,8 \text{ кг}/\text{м}^3$, густина води – $999,968 \text{ кг}/\text{м}^3$. Тиск водяної пари при 0°C дорівнює $610,38 \text{ Па}$, а при 100°C – $1013,08 \text{ ГПа}$. Питома теплота плавлення льоду $332,43 \times 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$. Питома електропровідність чистої води низька -- $4,41 \times 10^{-6} \text{ Ом}/\text{м}$ (при 18°C) [11].

Вода – найпридатніша сполука для утворення водневих зв'язків. Атом кисню зв'язаний із двома значно меншими атомами водню. Сила притягання електронів атомом кисню настільки велика, що молекула води сильно поляризується, а атом кисню притягує протони сусідніх молекул. Так виникає водневий зв'язок у молекулі води. Енергія водневого зв'язку значно менша,

ніж звичайного ковалентного. Проте цієї енергії вистачає, щоб зумовити асоціацію молекул, тобто об'єднання їх у димери чи полімери.

2.5.1. Молекула води має полярність, тобто два полюси – позитивний і негативний, які подібно до магніту створюють навколо неї силові поля. Як наслідок, для молекули води характерна дипольна будова (диполі). Їх зображують у вигляді овалів, полюси яких мають протилежні за знаком електричні заряди. При достатньому зближенні молекули води починають діяти одна на одну власними силовими полями: позитивно заряджений полюс однієї молекули притягує негативно заряджений іншої. В результаті складаються агрегати з двох, трьох і більше молекул -- асоційовані молекули. Кількісно полярність молекули описує дипольний момент (μ), який виражається в дебаях (Д):

$\mu = l q$, де l -- відстань між електричними зарядами; q – абсолютне значення заряду електрона.

Для води дипольний момент, зумовлений неподіленою парою електронів, дорівнює 1,844 Д і напрямлений від позитивного кінця до негативного. Наслідком є взаємне притягання полярних молекул і зміцнення зв'язку між ними. Висока полярність молекул води є однією з важливих причин її надзвичайної активності у багатьох хімічних процесах і спричинює електролітичну дисоціацію солей, кислот і лугів, а також розчинність електролітів [11].

Молекулярна маса води дорівнює 18, але трапляються молекули з молекулярною масою 19, 20, 21 і 22. Вони складаються з важчих атомів водню й кисню, які мають атомну масу відповідно більшу, ніж 1 і 16. Водень має два стабільні ізотопи: *протій* (H) і *дейтерій* (D), співвідношення H : D становить близько 6700.

Відомий ще один радіоактивний ізоотоп водню з періодом напіврозпаду 12,3 року – це *тритій* (T). На сьогодні відомо 7 ізоотопів водню, три з яких мають широке поширення в природі: H¹ Протій, H² Дейтерій («важкий водень») і H³ тритій («надважкий водень».

У кисню є три стабільні ізотопи: ¹⁶O, ¹⁷O, ¹⁸O. Концентрації ізоотопів кисню повітря відносяться як ¹⁶O : ¹⁸O : ¹⁷O = 2667 : 5,5 : 1. Концентрація ¹⁸O більша, ніж у малопоширеного зі стабільних ізоотопів ¹⁷O, завдяки чому збагачені важкими ізотопами води здебільшого належать до одного ізоотопу ¹⁸O і відповідно позначаються ¹⁸O.

Відомі також радіоактивні ізотопи ¹⁴O, ¹⁵O, ¹⁹O з періодом напіврозпаду протягом кількох секунд. Молекули води можуть складатися з різних стійких ізоотопів: H₂¹⁶O; HD¹⁶O; D₂¹⁶O; H₂¹⁸O; HD¹⁸O; D₂¹⁸O; H₂¹⁷O; HD¹⁷O; D₂¹⁷O.

Ізотопний різновид води, в якій протій (H) заміщений його важким ізоотопом – дейтерієм (D), називається *важкою водою* (D₂O), що міститься у природній воді у надзвичайно малій концентрації – 0,016 % (табл. 2.1).

Важка вода важча за природну на 11 %, кипить при температурі 101,42 °С, замерзає при 3,88 °С, менше (на 5–15 %) розчиняє солі тощо. Уповільнює біологічні процеси, пригнічує живі організми. Ізотопний склад поверхневих вод суходолу та атмосферних вод залежить від низки чинників і змінюється в широких межах.

Найбідніша на важкі ізотопи вода зафіксована в атмосферних опадах полярних регіонів, а найзбагаченіша – в замкнених басейнах аридної зони.

Таблиця 2.1. Відмінності важкої води від звичайної

Показники	Важка вода, D ₂ O	Звичайна вода, H ₂ O
Молекулярна маса	20	18
Густина при 20 °С, г/см ³	1,1050	0,9982
Температура замерзання, °С	3,8	0,0
Температура кипіння, °С	107,4	100

Процес випаровування є однією з головних причин, яка створює диференціацію ізоотопів у природних водах. Пружність парів важкої води дещо нижча за пружність парів звичайної, а оскільки процес випаровування є основним чинником кругообігу води, то збагачення вод важкими ізоотопами у місцях випаровування та збіднення ними у місцях конденсації може викликати помітну різницю в густині води.

Дослідженнями встановлено і закономірності розподілу ізоотопів водню в поверхневих і атмосферних водах: 1) прісні поверхневі води річок, озер та інших водойм, які поповнюються переважно за рахунок атмосферних опадів, містять дейтерію і кисню—18 менше, ніж океанічні води; 2) ізоотопний склад прісних поверхневих вод визначається фізико-географічними умовами їх розташування. Існування неподілених електронних пар зумовлює можливість утворення в молекулі води двох водневих зв'язків. Ще два зв'язки виникають за рахунок двох атомів водню. Завдяки цьому кожна молекула води утворює чотири водневі зв'язки (рис. 2.1).

У молекулах води, з'єднаних водневим зв'язком, центри ядер атомів водню розташовані на відстані $h_1 = 9,5 \times 10^{-8}$ см від центра атома кисню. Відстань між атомами кисню – $h_2 = 27,6 \times 10^{-8}$ см. Кут зв'язку α , утворений двома атомами водню, у вершині якого розміщений кисень (H--O--H), має значення $104,7^\circ$, подібно до кута тетраедра. Внаслідок цього молекула води стає електричним диполем із дипольним моментом μ , який дорівнює $1,62 \times 10^{-18}$ Ом м, і діелектричною сталою, яка дорівнює 87,74 при 0°C (рис. 2.2). Оскільки для молекули води характерна дипольна будова, то у воді одночасно присутні одиночні (моногідрольні), подвійні та потрійні молекули, вміст яких змінюється залежно від температури [11].

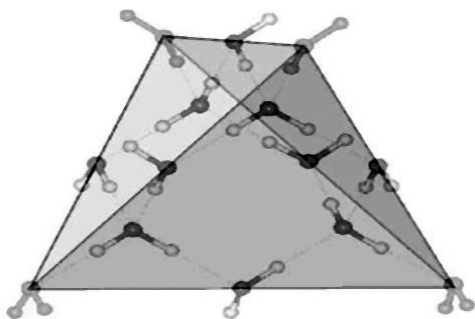


Рис. 2.1. Водневі зв'язки молекул води

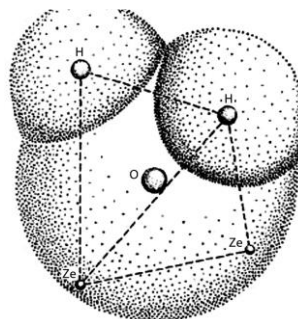


Рис. 2.2. Розташування атомів кисню і водню у молекулі води

У льоду домінують потрійні молекули, які мають найбільший об'єм. При підвищенні температури швидкість руху молекул зростає, і сили притягання між молекулами виявляються недостатніми для утримання їх поруч одна біля одної. У рідкому стані вода є сумішшю дигідролів, тригідролів і моногідролів. Зі збільшенням температури розпадаються, при температурі 100 °С складаються переважно з моногідролів. Хімічно чиста вода має низку аномальних властивостей, зумовлених наявністю водневих зв'язків. Густина води збільшується під час її нагрівання від 0 до 4 °С. Максимальну густина вода має при 4 °С, і лише при подальшому її нагріванні густина зменшується [11].

Завдання для самостійної роботи

1. Проаналізувати письмово хімічний зв'язок між йонами, який здійснюється завдяки електростатичному притяганню – йонний, накреслити схематично йонну кристалічну ґратку NaCl.

Контрольні питання

1. Дати визначення молекули, атома, йона?
2. Що таке хімічний елемент, хімічна речовина?
3. Пояснити різницю між поняттями «відносна атомна маса» і «відносна молекулярна маса».
4. Як називається маса 1 моля речовини, у яких одиницях виражається?
5. Що таке катіони та аніони?
6. Які типи хімічних зв'язків між атомами вам відомі?
7. Що таке хімічні реакції заміщення?
8. Як ви розумієте зміст процесів окиснення і відновлення?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- Григорович О.В., Мацаков О.Ю. Хімія : навч.–практ. довідник. Харків: Ранок, 2011. 400 с.
- Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Загальна гідрохімія: підручник. К.: Либідь, 1997. 384 с
- Хільчевський В.К. Гідрохімічний словник. К.: ДІА, 2022. 208 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С М. Основи гідрохімії: підручник К.: Ніка-Центр, 2012. 312 с.

Варіанти відповіді:

- | | |
|-------------|-------------|
| а) 2; 3; 6; | в) 1; 4; 5; |
| б) 1; 5; 6; | г) 2; 3; 5. |
- 5 Величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до сумарної кількості речовини розчинника та розчиненої речовини:
а) молярна частка; в) молярність речовини;
б) масова частка розчиненої речовини; г) молярність розчину.
- 6 Як називаються дисперсні системи, в яких агрегатний стан дисперсної фази – тверда речовина, а дисперсійного середовища – рідина:
а) емульсія; в) суспензія;
б) аерозоль; г) піна.
- 7 Дисперсні системи, у яких дисперсною фазою і дисперсійним середовищем є рідини, називається:
а) емульсія; в) суспензія;
б) аерозоль; г) піна.
- 8 Морську піну можна розглядати як дисперсну систему, що є:
а) емульсія; в) аерозоль;
б) суспензія; г) піна.
- 9 Величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до об'єму розчину, це:
а) молярна частка; в) молярність речовини;
б) масова частка розчиненої речовини; г) молярність розчину.
- 10 Позначте речовину, що добре розчинна у воді:
а) калій бромід; в) аргентум сульфат;
б) кальцій фосфат; г) магній карбонат.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 3

Зміст

3.1. Розчини. – С. 43.

3.2. Процес розчинення. – С. 47.

3.3. Кількісний опис складу розчину. – С. 50.

Надзвичайна роль води пов'язана з її здатністю розчиняти. Утворення внаслідок цього складних розчинів солей, газів і органічних речовин лежить в основі природного процесу хімічного вивітрювання корінних вивержених порід і формування осадових, які становлять верхні шари літосфери, забезпечуючи родючість і розмаїття ґрунтів на поверхні або процеси життєдіяльності в природних водах – річках, морях і озерах. Від складу води залежать і її фізичні властивості – температура замерзання, величина випаровування, прозорість, характер протікання хімічних реакцій. Необхідно мати уяву про деякі теоретичні аспекти утворення розчинів.

3.1. Розчини

Розчини – це однорідні (гомогенні) суміші змінної структури, що складаються з кількох компонентів та продуктів їхньої взаємодії.

Розчини бувають рідкими, твердими і газоподібними. Прикладом перших можуть бути розчини солей у воді; прикладом других – сплав нікелю і міді (монети) або сплав срібла і золота; прикладом третіх – суміші газів (повітря).

Розчини є одним із різновидів дисперсних систем (від лат. *disperse* – розсіювати, розсипати). Усі дисперсні системи складаються з дисперсійного середовища (розчинника) та дисперсної фази (розчиненої речовини). Залежно від того, в якому агрегатному стані й у якому ступені подрібнення (дисперсності) речовини входять до складу дисперсних систем, їх можна поділити на тверді, рідкі чи газоподібні розчини, справжні, колоїдні розчини, суспензії, зависі тощо.

3.1.1. Класифікація розчинів за розмірами розчинених частинок (за ступенем роздрібнення дисперсної фази)

За розмірами частинок розчини поділяють на суспензії, колоїдні розчини та справжні розчини (табл. 3.1, 3.2). Окрім різниці в розмірах частинок, ці розчини відрізняються ще й стійкістю в часі.

Таблиця 3.1. Класифікація розчинів за ступенем роздрібнення дисперсної фази [2]

Грубодисперсні системи	Колоїдні розчини	Справжні розчини
Розмір частинок $10^{-7} \text{ м} < r < 10^{-5} \text{ м}$ (речовина перебуває у вигляді невеликих частинок)	Розмір частинок $10^{-9} \text{ м} < r < 10^{-7} \text{ м}$ (речовина перебуває у вигляді агрегатів кількох молекул)	Розмір частинок $r \approx 10^{-9} \text{ м}$ (речовина перебуває у вигляді окремих молекул чи йонів)
Непрозорі	Прозорі	Прозорі
Завислі частинки не проходять через паперовий фільтр	Завислі частинки проходять через паперовий фільтр, не проходять через пергаментний фільтр	Фільтруванням розділити неможливо
Нестійкі в часі, досить швидко завислі частинки осідають на дні або спливають на поверхню	Відносно стійкі, однак згодом старіють. Можуть існувати від кількох годин до кількох століть	Стійкі в часі, не старіють, можуть існувати довго, якщо не відбувається хімічних реакцій
Каламутні	Виявляють ефект Тіндаля*	Оптично порожні
Приклади: завись мулу в річці, завись вапна, емульсії масла у воді (молоко)	Приклади: чай, кава	Приклади: розчин кухонної солі, цукру

Примітка: *Ефект Тіндаля полягає в тому, що коли в затемненій кімнаті через склянку з колоїдним розчином пропустити промінь світла, то збоку цей

промінь дуже добре видно. Ефект Тіндаля спостерігається досить часто, коли дивляться на сніг, що падає, у світлі автомобільних фар або вуличних ліхтарів вечірньої пори. Справжні розчини ефекту Тіндаля не виявляють, тобто промінь світла, пропущений через склянку з таким розчином, збоку побачити неможливо.вечірньої пори.

Найчастіше трапляються розчини, в яких дисперсійним середовищем (розчинником) є рідини, й, зокрема, вода.

Таблиця 3.2. Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом дисперсної фази або дисперсійного середовища [2]

Дисперсійне середовище	Дисперсна речовина		
	Тверда	Рідка	Газувата
Тверде	Тверді розчини або тверді золі (сплави металів, скла)	Гель (желе, желатин)	Тверді піни (пемза, пінопласт)
Рідке	Завісі (мул у річковій воді), суспензії (кава), золі	Емульсії: вода в маслі (бензин, розведений водою), масло у воді (молоко)	Гідрозолі, рідкі піни (збиті вершки, мильна піна)
Газувате	Аерозолі, дим, пил	Аерозолі, тумани	Суміші газів

3.1.2. Дисперсні системи. У природі поширені дисперсні системи, у яких їх компоненти рівномірно розподілені один в одному. У дисперсних системах розрізняють *дисперсну фазу* (мілкоподрібнена речовина) і *дисперсне середовище* (однорідна речовина), у якому розподілена дисперсна фаза. Наприклад, у каламутній воді, яка містить глину, дисперсною фазою є тверді часточки глини, а дисперсійним середовищем – вода; в тумані дисперсна фаза – часточки рідини, дисперсійне середовище – повітря; в диму дисперсна фаза – тверді часточки вугілля, дисперсійне середовище – повітря; в молоці дисперсна фаза – часточки жиру, дисперсійне середовище – рідина тощо.

До дисперсних систем належать звичайні (істинні) розчини, колоїдні розчини, а також суспензії і емульсії. Всі вони відрізняються між собою розміром часточок, тобто *ступенем дисперсності*. Системи з розміром часточок, меншим за 0,001 мкм (мікромметр, одна мільйонна частка метра), утворюють *істинні* розчини. Вони складаються з молекул або йонів розчиненої речовини. Їх можна вважати однофазними системами. Системи з розміром часточок, більшим за 0,1 мкм, утворюють грубодисперсні системи – суспензії і емульсії.

Суспензії – це дисперсні системи, в яких дисперсною фазою є тверда речовина, а дисперсійним середовищем – рідина, причому тверда речовина нерозчинна у воді (щоб приготувати суспензію, треба речовину подрібнити до тонкого порошку, і добре збовтати, через деякий час часточки осядуть на дно посудини).

Емульсії – це дисперсні системи, в яких і дисперсна фаза і дисперсійне середовище – рідини, що не змішуються між собою (емульсію можна приготувати з води і масла, довго збовтуючи суміш). Суспензії і емульсії – двофазні системи.

Колоїдні розчини – це двофазні системи, які складаються з дисперсійного середовища і дисперсної фази, причому лінійні розміри часточок дисперсної фази знаходяться в межах від 0,001 до 0,1 мкм. Колоїдні розчини за розмірами часточок є проміжними між істинними розчинами і суспензіями та емульсіями. Ці часточки складаються з великого числа молекул або йонів. Одна і та ж речовина залежно від ступеня дисперсності може утворювати як грубодисперсну систему, так і колоїдний чи істинний розчин. Колоїдні розчини називаються золями.

3.1.3. Властивість поглинання речовин. Для речовин притаманна властивість поглинання. *Сорбцією* називається процес вибіркового поглинання рідких і газоподібних речовин твердою та рідкою фазами. Причиною виникнення сорбції є фізичні та хімічні процеси, які трапляються на межі поділу фаз. Тому сорбція тим більша, чим більшу поверхню має тверда фаза.

Адсорбцією називається зміна вмісту даного компонента в поверхневому шарі речовини порівняно з вмістом його у внутрішніх шарах. Адсорбція має спонтанний характер, виникає на поверхні поділу двох фаз, де завжди є надлишкова поверхнева енергія, зумовлена особливим розташуванням молекул у поверхневому шарі. Розрізняють *молекулярну адсорбцію*, коли поряд із молекулами розчиненої речовини адсорбуються й молекули розчинника, та *йонно-молекулярну адсорбцію*, коли трапляється вибіркоче поглинання йонів одного з елементів електроліту, що супроводжується одночасним витісненням інших йонів того ж знака з поверхні адсорбенту. Речовина, на поверхні якої трапляється адсорбція, називається *адсорбентом*, а речовина, яка поглинається, – *адсорбатом*.

Обмінні йони, скупчені на поверхні адсорбенту, називаються *ввібраним комплексом*. Розчинення адсорбату в адсорбенті, тобто перехід його з поверхні всередину останнього, називається *абсорбцією*. Глинисті мінерали є найпоширенішим природним адсорбентом. наявність адсорбованих йонів у породах пов'язана зі здатністю твердих тіл до сорбції [11].

Розрізняють фізичну та хімічну сорбції. *Фізична сорбція* зумовлена електростатичними силами, за яких речовина, яка сорбується, зберігає хімічну індивідуальність. При *хімічній (хемосорбції)* взаємодія між сорбентом і речовиною, яка сорбується, супроводжується хімічною реакцією, в результаті утворюється поверхневий хімічний зв'язок між ними. Фізична сорбція має зворотний характер, звичайно супроводжується процесом десорбції. Хімічна сорбція здебільшого незворотна. Дослідження адсорбційних процесів свідчать, що перехідні метали сорбуються добре на оксидах і гідроксидах (особливо алюмінію, заліза, марганцю) при високих рН, а при низьких рН адсорбція майже відсутня. Було виявлено для кожного катіона і субстрату досить вузький діапазон рН, в якому спостерігається перехід від майже повної відсутності адсорбції до її майже повного здійснення.

Адсорбційна здатність гірських порід переважно пов'язана з наявністю в них колоїдних частинок, оскільки частинки більших розмірів практично не беруть участі в процесах поглинання і хімічно малоактивні. Різновидом сорбційних процесів є *йонний обмін*. Якщо на поверхні породи (адсорбенту),

яка міститься в розчині електроліту, є комплекс поглинутих катіонів, виникає обмін між йонами розчину і ввібраного комплексу.

Іонний обмін є спонтанним процесом, який триває до встановлення рівноваги. Завдяки йонному обміну природні води втрачають деякі катіони і набувають інших, тобто трапляються якісні зміни складу води при стабільності її концентрації.

Іонний обмін підлягає закону діючих мас і протікає в еквівалентних кількостях. Зі збільшенням концентрації йонів у розчині зростає йонний обмін [11].

3.2. Процес розчинення

Компонент розчину, що перебуває в тому ж агрегатному стані, що й розчин, називають розчинником (або дисперсійним середовищем), а інші компоненти називають розчиненими речовинами (або дисперсійною фазою). Якщо розчин складається із суміші двох рідин, то розчинником називають ту речовину, якої більше. А якщо одним із компонентів є вода, то, незалежно від її вмісту, зазвичай у таких випадках розчинником називають воду [2].

Процес розчинення можна назвати і фізичним, і хімічним процесом. З одного боку, при розчиненні речовини відбувається її роздрібнення, що робить схожим на фізичний процес. З іншого боку, при розчиненні обов'язково спостерігається поглинання або виділення теплоти й у деяких випадках відбувається утворення нових речовин. Процес розчинення називають фізико-хімічним процесом.

Розчини на основі розчинників, у яких речовина подрібнена до молекулярного рівня, називають *справжніми*.

Розглянемо процес розчинення кристала натрій хлориду у воді. Молекула води являє собою диполь, в якого є позитивно й негативно заряджені полюси. Унаслідок цього, при потрапленні кристала солі у воду, цей кристал оточують молекули води, які відповідним чином орієнтуються навколо позитивно й негативно заряджених йонів. І, звісно ж, молекули води починають притягувати йони до себе. Коли сила притягання йонів до молекул стає більшою, аніж сила притягання до кристала, то йон в оточенні молекул води переходить у розчин. Йони або молекули, оточені молекулами розчинника, називають сольватами або, у випадку водних розчинів, гідратами.

У процесі розчинення можна виділити три стадії:

- 1) взаємодія частинок речовини, що розчиняється, з молекулами розчинника – сольватація (у випадку водних розчинів – гідратація);
- 2) руйнування структури речовини, що розчиняється, – руйнування кристалічної ґратки – йонізація;
- 3) розподіл сольватованих частинок в об'ємі розчинника – дифузія.

У результаті першого процесу відбувається виділення теплоти за рахунок утворення нових зв'язків між частинками, а в результаті другого – поглинання тепла (енергія витрачається на руйнування зв'язків між частинками у кристалічній ґратці). У зв'язку із цим загальний тепловий ефект процесу розчинення дорівнює сумі двох теплових ефектів названих процесів: якщо при гідратації виділяється енергії більше, ніж витрачається на руйнування кристалічної ґратки, то внаслідок розчинення енергія

виділяється і розчин нагрівається (процес екзотермічний) і навпаки (ендотермічний) (рис. 3.1).

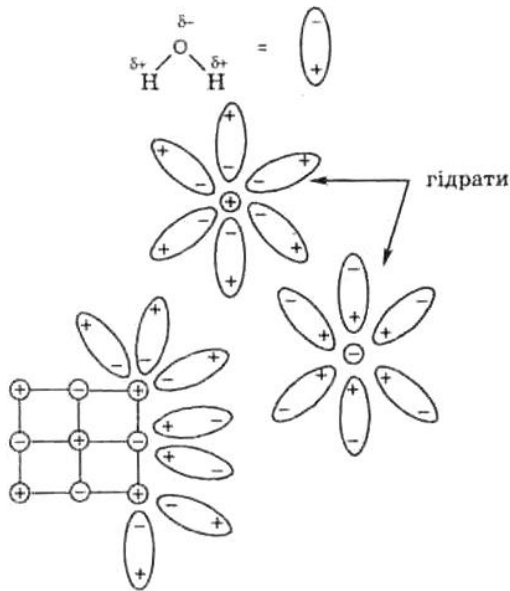


Рис. 3.1. Розчинення речовини [2]

Здатність речовини розчинятись у воді чи іншому розчиннику називається *розчинністю*. При цьому виділяється чи поглинається енергія. У воді розчиняються тверді, рідкі і газоподібні речовини. За розчинністю у воді всі речовини поділяються на три групи: 1) розчинні; 2) малорозчинні; 3) нерозчинні.

Варто зазначити, що абсолютно нерозчинних речовин немає. Якщо занурити у воду скляну паличку або шматочок золота чи срібла, то вони у мізерно малих кількостях все ж розчиняються у воді. Скло, срібло, золото – це приклади практично нерозчинних у воді речовин (тверді речовини). До них також належать гас (керосин), олія (рідкі речовини), інертні гази (газоподібні речовини). Прикладами малорозчинних у воді речовин є гіпс, (тверді речовини), діетиловий ефір, бензол (рідкі речовини), метан, азот, кисень (газоподібні речовини). Багато речовин розчиняються у воді дуже добре. Прикладами таких речовин можуть бути цукор, мідний купорос, натрію гідроксид (тверді речовини), спирт, ацетон (рідкі речовини), хлороводень, аміак (газоподібні речовини).

У чому причина існування межі розчинності? Якщо перебувають у контакті вода й кристали якої-небудь розчинної речовини, то поряд із процесом розчинення відбувається зворотний процес – кристалізація. Від самого початку, коли концентрація речовини невелика, розчинення відбувається досить швидко, а кристалізація – повільно. У міру збільшення концентрації речовини в розчині швидкість розчинення уповільнюється, а

швидкість кристалізації прискорюється, й у певний момент часу швидкість цих двох процесів стає однаковою. Виникає рівновага між кристалами речовини та розчином. Коли концентрація цієї речовини в розчині вже збільшуватися не може, то розчин стає насиченим.

Насиченим називають розчин, який перебуває в динамічній рівновазі з надлишком розчиненої речовини.

Щоб приготувати насичений розчин, треба додавати речовину у воду при певній температурі, перемішуючи її доти, доки вона перестане розчинятися, тобто надлишок речовини залишиться нерозчиненим. У цьому разі між розчином і надлишком речовини виникає динамічна рівновага: скільки частинок речовини переходить у розчин, стільки ж і викристалізовується. У насиченому розчині при певній температурі міститься максимально можлива кількість розчиненої речовини.

Відповідно, якщо концентрація речовини менша за межу її розчинності, то такі розчини називають *ненасиченими*, а якщо більша – *пересиченими*. Пересичені розчини дуже нестійкі [2].

Дуже часто при кристалізації деякі речовини не встигають (або їм це енергетично не вигідно) позбуватися своєї оболонки з молекул води й кристалізуватися разом з водою. Такі речовини називають кристалогідратами. Існування кристалогідратів є одним із доказів процесу сольватації. Наприклад, при розчиненні білого порошку сульфату міді у воді утворюється розчин синього кольору. Такого кольору розчинові надають гідратовані йони міді (Cu^{2+}). При випарюванні цього розчину в осад випадають кристали синього кольору, до складу яких входить вода, яку називають кристалізаційною.

Кристалогідрати – кристалічні речовини, до складу яких входить певне число молекул кристалізаційної води.

Варто зазначити, що на відміну від розчинів, у кристалогідратах кожен частинку речовини оточує тільки певна, властива цій речовині, кількість молекул води. У зв'язку із цим склад таких речовин можна однозначно встановити й записати хімічною формулою. Наприклад, кристалогідрат сульфат міді має склад $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$.

Багато кристалогідратів мають власні назви. П'ятиводний сульфат міді $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ називають мідним купоросом, десятиводний сульфат натрію $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ – глауберовою сіллю, семиводний сульфат заліза $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – залізним купоросом, двоводний сульфат кальцію $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ – гіпсом тощо [2].

Розчини утворюються при взаємодії між частинками розчиненої речовини та розчинника. Процес супроводжується дифузією, в результаті якої молекули, переходячи з однієї фази в іншу, рівномірно розподіляються у всьому об'ємі розчинника. Розчинність залежить від природи речовини, яка розчиняється, температури, тиску. Чим слабші зв'язки між йонами речовини, яка розчиняє, і сильніша взаємодія її частинок з частинками розчинника, тим більше значення розчинності. З підвищенням температури розчинність збільшується (якщо розчинення супроводжується поглинанням тепла) або зменшується (якщо розчинення супроводжується виділенням тепла). Звичайно *розчинність твердих речовин з підвищенням температури зростає, а газів – знижується*.

На розчинність речовин також впливає й зовнішній тиск. Оскільки при розчиненні твердих і рідких речовин загальний об'єм суттєво не змінюється,

то зміна тиску на розчинність таких речовин майже не впливає. А при розчиненні газів загальний об'єм змінюється істотно, унаслідок чого при підвищенні тиску розчинність газів збільшується, а при зниженні – зменшується.

3.3. Кількісний опис складу розчину

Для кількісного опису складу розчину часто вживають величини: масова частка розчиненої речовини, масова концентрація й молярність розчину. Окрім цих, є й менш популярні способи: мольна частка, молярність, титр, об'ємна частка тощо. Способів вираження концентрації досить багато, тому що в цій ролі можна використати відношення якої-небудь величини, що характеризує розчин або розчинник [2].

Кількісно розчинність можна виразити так само, як і концентрацію: у відносних масовій (%) і об'ємній (частки одиниці) формах, масовій (г/дм³, мг/дм³), молярній (кмоль/м³), молярній (кмоль/1000 кг) формах, у кілограмах чи молях на 1 кг чистої води. Часто розчинність описують числом масових частин безводної речовини, яка насичує за даних умов 100 масових частин розчинника, та називають інколи *коефіцієнтом розчинності* [11].

Масова частка розчиненої речовини (w) – це величина, що дорівнює відношенню маси розчиненої речовини до маси розчину. Масова частка – величина безрозмірна й зазвичай виражається у відсотках.

$$w = \frac{m_{\text{речовини}}}{m_{\text{розчину}}} \quad \text{або} \quad w = \frac{m_{\text{речовини}}}{m_{\text{розчину}}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Мольна частка (x) – це величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до сумарної кількості речовини розчинника та розчиненої речовини.

$$x = \frac{n_{\text{речовини}}}{n_{\text{речовини}} + n_{\text{розчину}}} \quad \text{або} \quad x = \frac{n_{\text{речовини}}}{n_{\text{речовини}} + n_{\text{розчину}}} \cdot 100\%$$

Молярність розчину (молярна концентрація) (C) – це величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до об'єму розчину. Одиниця виміру полярності розчину – моль/дм³ [2].

$$C = \frac{m_{\text{речовини}}}{V_{\text{розчину}}} \quad (3.2)$$

Молярність розчину (C_m або m) – це величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до маси розчинника, вираженої в кілограмах. Одиниця виміру молярності розчину – моль/кг або моль/1000 г

$$C_m = \frac{n_{\text{речовини}} \text{ (МОЛЬ)}}{m_{\text{розчинника}} \text{ (КГ)}} \quad \text{або} \quad C_m = \frac{1000 \cdot n_{\text{речовини}} \text{ (МОЛЬ)}}{m_{\text{розчинника}} \text{ (Г)}} \quad (3.3)$$

Молярна концентрація еквівалента – відношення кількості речовини n еквівалента до об'єму V розчину: $C_m = n/V$. Одиницею є моль/м³, зазвичай застосовується моль/дм³. В деяких реакціях, зокрема нейтралізації, окиснення-відновлення та йонообміну, бере участь не ціла частинка, а її частина, яка називається еквівалентом, наприклад, 1/2 моля сірчаної кислоти в кислотно-лужних реакціях чи 1/5 моля перманганату калію для окисно-відновної реакції. Еквівалентом є 1/z моля речовини. При $z = 1$ еквівалент ідентичний молю [12].

Масова концентрація – відношення маси розчиненої речовини до об'єму розчину (г/дм³, мг/дм³):

$$C_{\text{речовини}} = m_{\text{речовини}} / V_{\text{розчину}}$$

Масова концентрація найчастіше застосовується в гідрохімії для вираження концентрації (вмісту) тих чи інших компонентів у природних водах, мінералізації води (наприклад, мінералізація води озера Світязь – 200 мг/дм³, мінералізація води р. Дніпро – 350 мг/дм³).

Хімічно чиста вода має низку аномальних властивостей, зумовлених водневими зв'язками (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Деякі аномальні властивості води [11]

Властивість	Порівняння з іншими речовинами	Роль у фізичних і біологічних явищах
1	2	3
Теплоємність	Найвища серед рідких і твердих речовин (за винятком NH ₃)	Зменшує межі температурних коливань; збільшує перенесення тепла водними течіями; сприяє зберіганню постійної температури тіла
Прихована теплота плавлення	Найвища (за винятком NH ₃)	Термостатичний ефект у точці замерзання внаслідок поглинання або виділення прихованої теплоти
Прихована теплота випаровування	Найвища з усіх речовин	Дуже важлива для теплового й водного процесів переносу в атмосфері
Теплове розширення	Температура максимальної густини зменшується з підвищенням солоності; для чистої води дорівнює 4°C	Для морської води максимум густини спостерігається при вищій температурі, ніж температура замерзання; важливо для регулювання температури у водоймах їхньої зональності

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3
Поверхневий натяг	Найвищий з усіх рідин	Важливо для фізіології клітини; зумовлює деякі поверхневі явища, властивості краплі
Здатність розчиняти	Розчиняє більшість речовин і в більших кількостях, ніж інші	Пов'язує між собою фізичні та біологічні явища
Діелектрична стала	Для чистої води найвища з усіх рідин	Важлива для неорганічних речовин, оскільки зумовлює їх дисоціацію
Електролітична дисоціація	Дуже низька	Нейтральна речовина, проте містить H^+ і OH^-
Леткість	Найменша серед сполук водню з елементами підгрупи кисню	Повільна втрата вологості різними матеріалами
Прозорість	Висока	Сильно поглинає променисту енергію в інфрачервоній та ультрафіолетовій ділянках; у видимій частині спектра вибіркоче поглинання відносно мале, особливості поглинання важливі для фізичних і біологічних явищ
Теплопровідність	Найвища з усіх рідин	Основна роль належить у мікропроцесах, наприклад, у живих клітинах
В'язкість	Зменшується з підвищенням тиску, проходить через мінімум і лише потім зростає, як і для більшості речовин	Зумовлює гідродинаміку водних об'єктів і седиментацію завислих наносів

Завдання для самостійної роботи

1. Використовуючи теоретичні відомості практичної роботи, заповнити табл 3.4, визначивши дисперсне середовище (графта 2).

Таблиця 3.4. Для оформлення відповіді. Визначення дисперсного середовища

Дисперсна фаза	Дисперсне середовище	Назва дисперсної системи (приклади)
1	2	3
Рідина		Аерозоль (хмара, туман)
Тверда речовина		Аерозоль (дим, пил у повітрі)

Закінчення табл. 3.4

1	2	3
Газ		Піна (морська, мильна)
Рідина		Емульсія (молоко, нафта, лімфа)
Тверда речовина		Суспензія (кров, глина у воді)
Газ		Піна (пемза, активоване вугілля)
Рідина		Суспензія (зубна паста, лікувальні грязі)
Тверда речовина		Тверда піна (сплави, бетон, шоколад)

Контрольні питання

1. Пояснити зміст процесу розчинення речовин.
2. Як впливає температура на розчинність речовин?
3. Що таке молярна і моляльна концентрація розчинів?
4. Коли розчин вважається насиченим?
5. У чому полягає різниця між процесами адсорбції і абсорбції?
6. Яка форма вираження концентрації речовин найбільше застосовується для природних вод?
7. Як теплоємність води впливає на фізичні і біологічні процеси?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- Григорович О.В., Мацаков О.Ю. Хімія : навч.–практ. довідник. Харків: Ранок, 2011. 400 с.
- Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Загальна гідрохімія: підручник. К.: Либідь, 1997. 384 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник К.: Ніка-Центр, 2012. 312 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

ТЕМА: ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНИХ ВОД: ОСНОВНІ ГРУПИ ХІМІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ

Мета: проаналізувати основні групи хімічних компонентів, які виділяються при гідрохімічних дослідженнях.

Основні терміни і поняття: головні йони, мінералізація води, розчинені гази, біогенні елементи, органічна речовина, мікроелементи, радіоактивні елементи, специфічні забруднювальні речовини.

Аудиторні завдання

1. Проаналізувати запропонований поділ на основні групи хімічних компонентів, що виділяються при гідрохімічних дослідженнях, наведені в теоретичних відомостях до практичної роботи. Виписати назви цих груп.

2. Користуючись теоретичними відомостями до практичної роботи, рекомендованими бібліографічними джерелами деталізовано розписати, які компоненти входять до наступних груп:

– головних йонів; розчинених газів; біогенних елементів; мікроелементів; радіоактивних елементів; специфічних забруднювальних речовин.

3. Користуючись теоретичними відомостями до практичної роботи, написати які з головних йонів переважають:

- у маломінералізованих водах;
- у високомінералізованих водах.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 4

Зміст

- 4.1. Основні групи хімічних компонентів у природних водах. – С. 54.
- 4.2. Головні йони. – С. 55.
- 4.3. Розчинені гази. – С. 56.
- 4.4. Біогенні елементи. – С. 57.
- 4.5. Органічна речовина. – С. 58.
- 4.6. Мікроелементи. – С. 59.
- 4.7. Радіоактивні елементи. – С. 60.
- 4.8. Специфічні забруднювальні речовини. – С. 61.

Хімічний склад природних вод є комплексом розчинених газів, мінеральних солей та органічних сполук, до нього входять майже всі відомі хімічні елементи. Сучасні фізико-хімічні методи дають змогу визначити понад 80 елементів, присутніх у гідросфері Землі. Проте багато елементів міститься в природних водах у надзвичайно малих кількостях, які неможливо виявити внаслідок недостатньої чутливості методів аналізу.

4.1. Основні групи хімічних компонентів у природних водах

Розподіл хімічних компонентів у природних водах зумовлюється типом природної системи, властивостями елементів і відповідає основним геохімічним закономірностям. Із зростанням порядкового номера в

періодичній системі елементів спостерігається зменшення концентрації елементів, а поширеність хімічного елемента парного переважно більша, ніж сусідніх непарних. Враховуючи умови надходження та специфіку методів хіміко-аналітичного визначення, хімічні компоненти в природних водах при дослідженні умовно поділяють на сім груп:

1) *головні йони* (макрокомпоненти) – HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

2) *розчинені гази* – кисень (O_2), азот (N_2), діоксид вуглецю (CO_2), сірководень (H_2S) тощо;

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

4) *органічна речовина* (інтегральне поняття) – різноманітні органічні сполуки, які належать до органічних кислот, складних ефірів, гумусових речовин, азотовмісних сполук (білки, амінокислоти, аміни) тощо;

5) *мікроелементи* – всі метали, без головних йонів (без K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+});

6) *радіоактивні елементи* – виділені з групи мікроелементів, враховуючи специфіку походження та впливу на життєдіяльність організмів [11];

7) *специфічні забруднювальні речовини* (пестициди, синтетичні поверхнево-активні речовини, феноли, нафтопродукти тощо).

Особливе значення мають йони водню H^+ , які містяться в природних водах у надзвичайно малих кількостях, проте дуже важливі для хімічних і біологічних процесів. Їх виражають відносним показником – *pH*.

Виділення цих груп носить умовний характер, оскільки деякі елементи, наприклад, кальцій і калій засвоюються й необхідні організмам, як і біогенні, а концентрації деяких з останніх часто менші, ніж мікроелементів.

Крім наведених, до якісних характеристик складу природної води належать *твердість* (жорсткість), *лужність*, *окиснюваність*, які зумовлені сукупністю кількох компонентів складу води.

Важливим також є поняття *мінералізація води* – сума всіх визначених при аналізі мінеральних речовин у мг/дм^3 (або г/кг – ‰, якщо сума більша за 1000 мг/дм^3), які містяться у даній воді. В океанологічній практиці замість мінералізації використовують поняття *солоність води* (визначають у *проміле* – ‰).

Сума йонів (Σ_i) – близьке до мінералізації поняття – сума всіх видів йонів у мг/дм^3 або г/дм^3 , концентрація яких більша за $0,1 \text{ мг/дм}^3$.

Сухий залишок – загальна маса речовини, отримана після випаровування фільтрованої води і подальшого висушування осаду при температурі $105 \text{ }^\circ\text{C}$ до постійної маси (мг/дм^3 , ‰). Використовується в практиці водопостачання.

4.2. Головні йони

До головних йонів, що містяться у природних водах, належать аніони – HCO_3^- (гідрокарбонати), SO_4^{2-} (сульфати), Cl^- (хлориди), а також катіони – Ca^{2+} (кальцій), Mg^{2+} (магній), Na^+ (натрій), K^+ (калій).

Вміст хлоридних, сульфатних і гідрокарбонатних солей натрію, магнію, кальцію і калію становить у прісних водах 90–95%, а у

високомінералізованих – понад 99% всіх солей. Головні йони зумовлюють хімічний тип вод, їх також називають *макрокомпонентами*.

У маломінералізованих водах переважають йони HCO_3^- і Ca^{2+} , у високомінералізованих – Cl^- і Na^+ , йони Mg^{2+} мають проміжне положення між Na^+ і Ca^{2+} , подібно до йонів SO_4^{2-} – між HCO_3^- і Cl^- .

Змінення складу води відповідно до величини загальної мінералізації пояснюється неоднаковою розчинністю хлористих, сульфатних і карбонатних солей лужних і лужноземельних металів (табл. 4.1).

Мала розчинність карбонатних солей кальцію обмежує концентрацію гідрокарбонатних і карбонатних йонів до 1000 мг/дм^3 (крім вод з високим вмістом CO_2). Порівняно невелика розчинність сульфату кальцію обмежує вміст сульфатів.

Таблиця 4.1. Розчинність деяких солей, % (масова частка)

Йон	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Na^+	26,40	16,0	8,76
K^+	25,58	9,91	24,9
Mg^{2+}	35,3	30,0	-
Ca^{2+}	42,7	0,204	-

Найбільші концентрації характерні лише для хлоридних йонів, що пов'язано з високою розчинністю солей хлористоводневої кислоти. Проте й при малих концентраціях кальцію сульфатні і карбонатні йони можуть міститися у водах у підвищених концентраціях.

Завдяки відмінностям у розчинності добре розчинні солі легко вимиваються з ґрунтів і порід у місцевостях з підвищеною вологістю, тому їх мало у водах.

Мікрокомпоненти містяться у водах у кількостях, набагато менших, ніж головні йони. Низка компонентів, розчинених у водах, мають проміжне положення між макро– та мікрокомпонентами. До них належать H^+ , NH_4^+ , NO_3^- , H_2S , які у деяких типах вод набувають переважного значення. Масова концентрація головних йонів у досить прісних водах виражається першими одиницями міліграмів у 1 дм^3 , а в розсолах може досягати кількох сотень г/дм^3 (%).

4.3. Розчинені гази

Розчинені гази завжди присутні у природних водах. Походження цих газів зумовлене такими чинниками:

1) складом атмосфери (азот N_2 , кисень O_2 , діоксид вуглецю CO_2 , аргон Ar та інші інертні гази.);

2) біохімічними процесами (діоксид вуглецю CO_2 , метан CH_4 та інші важкі вуглеводні, сірководень H_2S , азот N_2 , водень H_2);

3) процесами дегазації мантиї й метаморфізацією гірських порід у глибинних шарах земної кори при високих температурах і тиску (CO_2 , оксид вуглецю CO , H_2S , H_2 , CH_4 , аміак NH_3 , хлористий водень та інші сполуки водню з галогенами та бором).

Перша група газів характерна переважно для поверхневих вод, дещо менше – для підземних вод, друга – для поверхневих і підземних вод, третя

– переважно для підземних. Найпоширенішими у поверхневих водах є кисень і діоксид вуглецю, в підземних – сірководень і метан.

За поширеністю газу умовно поділяються на три групи: 1) досить поширені, утворюють великі скупчення – N₂, O₂, CO₂, CH₄; 2) менш поширені, лише окремі утворюють невеликі скупчення – H₂, H₂S, He, Ar, BB (важкі вуглеводневі газу); 3) локально поширені, утворюють скупчення лише в момент формування – NH₃, SO₂, HCl, HF та інші агресивні газу третьої групи, які швидко вступають в реакції з породами навколишнього середовища і втрачають своє значення як газоподібні компоненти.

4.4. Біогенні елементи

До біогенних елементів у природних водах належать азот, фосфор і кремній з їх сполуками. Азот і фосфор обов'язково входять до складу тканин живого організму, без них не розвиваються водні рослини й тварини. Концентрації біогенних елементів залежать від інтенсивності біохімічних і біологічних процесів у водних об'єктах. Варто зазначити, що виділення цієї групи досить умовне, оскільки в процесах життєдіяльності в природних водах беруть участь й інші елементи (кальцій, магній, калій тощо).

4.4.1. Азот у природних водах перебуває у вигляді неорганічних і різноманітних органічних сполук.

Неорганічні сполуки: амонійні (NH₄⁺), нітритні (NO₂⁻), нітратні (NO₃⁻) йони.

В органічних сполуках азот перебуває переважно в складі білка тканин організмів і продуктів його розпаду. Органічними сполуками, які містять азот є: суспензії (залишки організмів), колоїдні й розчинені молекули, які утворилися внаслідок біологічних процесів і біохімічного розкладання залишків організмів.

Зворотний перехід азоту зі складних органічних сполук у мінеральні форми, який називається процесом *регенерації біогенних елементів*, може виникати при біохімічному розпаді органічних сполук, що містять азот. Швидкість розпадання органічних речовин до неорганічного азоту неоднакова. Для речовин, які виділяються тваринами (фекалії, напівпереварена їжа водних тварин тощо) вона більша, ніж у складних білкових сполуках.

Аміак NH₃ є кінцевим неорганічним продуктом складного процесу мінералізації органічних речовин, які містять азот. Йони засвоюються рослинами при фотосинтезі й окиснюються в нітрити і нітрати. Цей процес відбувається за наявності кисню під дією бактерій; складається з двох фаз. Перша – перехід NH₄⁺ в NO₂⁻ здійснюється під впливом бактерій нітрифікаторів (сімейство *Bacteria Nitrosomonas*) за схемою



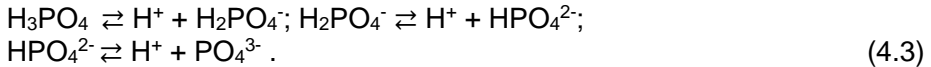
Нітритні йони надзвичайно нестійкі й під впливом інших (під *Nitrobacter* Win) окиснюються в нітратні йони:



4.4.2. Розчинений фосфор у природних водах міститься у вигляді неорганічних та органічних сполук (органічний фосфор), причому останні

перебувають як у розчиненому, так і в колоїдному стані. Крім того, фосфор буває у воді у вигляді суспензій неорганічного (апатити, фосфорити тощо) та органічного (з організмів) походження.

Неорганічний фосфор трапляється переважно у вигляді похідних ортофосфатної кислоти H_3PO_4 , яка дисоціює:



При $\text{pH} \geq 7$ переважає форма HPO_4^{3-} (близько 90 %) з домішками H_2PO_4^- (приблизно 10 %). У кислих водах неорганічний фосфор присутній переважно у вигляді $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$. Основною формою для поживних речовин є HPO_4^{2-} .

Концентрація фосфору, як і азоту, зумовлює обмін фосфору між його неорганічними та органічними формами, з одного боку, і живими організмами – з іншого. Обмін фосфору спостерігається при двох протилежних процесах – фотосинтезі та розкладанні органічної речовини.

Фосфати активно споживаються фітопланктоном, фітобентосом і вищими водними рослинами. Різде зниження концентрації фосфатів при інтенсивному фотосинтезі призводить до спадання росту й розвитку рослин. У процесі життєдіяльності біоти й деструкції органічної речовини більшість фосфатів, використаних рослинами і тваринами, повертається у воду. Лише деяка частина потрапляє на дно водойм із залишками організмів. Регенерація фосфору значно швидша, ніж азоту, завдяки тому, що азот входить до складу білка як одна з основних його структурних одиниць, тоді як фосфор у вигляді залишків фосфорної кислоти та її ефірів легко відщеплюється від органічних сполук при їх розпаді.

Основним джерелом неорганічного фосфору в природних водах є різні форми фосфату кальцію (апатиту) $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ та $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{P}$, найбільш поширених як у вивержених, так і в осадових породах. У природних водах фосфор міститься в надзвичайно малих кількостях внаслідок низької розчинності його сполук та інтенсивного поглинання їх гідробіонтами. Вміст сполук фосфору звичайно становить соті та десяті частки міліграма на 1 дм^3 і лише в мінеральних водах може досягти одиниць і навіть десятків мг/дм^3 .

Підвищені концентрації фосфору у водах свідчать інколи про їх забруднення.

4.5. Органічна речовина

Органічна речовина поряд з неорганічними речовинами майже завжди міститься в природних водах, що є основою відмінності природних вод від штучних розчинів. Якщо у воді існує життя, то повинні бути наслідки його прояву. Вивченість органічної речовини порівняно з мінеральною частиною води поки що гірша, що зумовлено її складністю й різноманітністю, надзвичайно низькою концентрацією компонентів (мкг/дм^3), труднощами при аналізі.

Незважаючи на велику кількість форм, органічні сполуки складаються в основному з вуглецю, кисню й водню, які становлять 98,5 % маси. Крім того, в малих кількостях присутні азот, фосфор, сірка, калій, кальцій та інші елементи.

Прямого методу надійної кількісної оцінки органічної речовини немає, користуються непрямими показниками, які дають змогу робити висновок про сумарний вміст органічної речовини. Насамперед, до них належать визначення органічного вуглецю, азоту або фосфору.

Аналітично визначають один із цих елементів, який міститься в органічній речовині, далі за відомим, експериментально виявленим співвідношенням між концентрацією даного елемента й загальним вмістом органічних речовин розраховують їх вміст.

Один з надійних методів – визначення органічного вуглецю $C_{\text{орг}}$, вміст якого в органічних речовинах становить близько 50 %, тобто для визначення органічної речовини в міліграмах треба кількість $C_{\text{орг}}$ подвоїти.

Сумарну кількість речовини визначають за різницею між сухим залишком і втратою при його прокалюванні з урахуванням зміни йонного складу води.

Перманганатна та біхроматна окиснюваність (ПО, БО) води. Найпоширенішим є метод характеристики вмісту органічної речовини за кількістю атомарного кисню в міліграмах, який витрачається на її окиснення від води (мгО/дм^3). Це так звана *окиснюваність води*. Залежно від окисника, який використовують, розрізняють *перманганатну* (окисник KMnO_4) і *біхроматну* (окисник $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) окиснюваності, що характеризують якісно різні компоненти органічних речовин.

У прісних водах величина перманганатної окиснюваності (ПО), виражена в мг/дм^3 щодо О, близька до величини ПО органічного вуглецю ($0,65\text{--}1,1 \text{ мгО/дм}^3$).

Використання біхроматної окиснюваності (БО) дає повніше окиснення органічних речовин, крім деяких білкових сполук.

З біхроматною окиснюваністю ототожнюється поняття *хімічного споживання кисню* (ХСК), виражається також в мг/дм^3 щодо атомарного кисню (мгО/дм^3).

Біохімічне споживання кисню (БСК). Непряме уявлення про кількість органічної речовини дає *біохімічне споживання кисню* (БСК), тобто кількість кисню, який споживається за певний час при біохімічному окисненні у воді речовин в аеробних умовах; виражається в мг/дм^3 щодо молекулярного кисню ($\text{мг О}_2/\text{дм}^3$).

4.6. Мікроелементи

Мікроелементами, або мікрокомпонентами – вважаються елементи, що трапляються в природних водах у дуже малих концентраціях, які вимірюються мікрограмами в одному дм^3 (мкг/дм^3).

Умовно мікроелементи можна поділити на чотири підгрупи: 1) типові катіони (Li^+ , Rb^+ , Cs^+ , Be^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}); 2) йони важких металів (Cu^{2+} , Ag^+ , Au^+ , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}); важкі метали - умовний термін, яким позначають метали з атомною масою понад 50; 3) амфотерні комплексоутворювачі (Cr , Mo , V , Mn); 4) типові аніони (Br^- , I^- , F^- , B^{3-}).

Важливе значення мікроелементи мають для фізіологічних процесів. Наприклад, при нестачі у питних водах фтору спостерігається захворювання зубів – карієс, а при надлишку цього елемента виникає інше захворювання – флюороз. Поширення подагри у деяких районах Вірменії пов'язане з

високим вмістом молібдену в ґрунтах і водах. Відомі провінції з надлишком мікроелементів. Підвищення бору у ґрунтах і водах деяких районів Прикаспійської низовини спричиняє важкі шлунково-кишкові захворювання у вівців.

Нестача йоду в їжі (а не в питній воді) призводить до захворювання щитовидної залози у людини (ендемичний зоб). Вміст йоду в ґрунтових водах добре характеризує його вміст у овочах. На підставі цього можна зробити висновки щодо "йодного рівня" і захворюваності зобом. За П.С. Савченком, в Україні найбільша захворюваність зобом спостерігається в районах, де вміст йоду в ґрунтових водах менший ніж 0,001–0,002 мг/дм³ (Карпати).

Інша сфера дослідження мікроелементів в природних водах пов'язана з можливістю використання їх як індикаторів при пошуках корисних копалин.

Варто зазначити, що наявність підвищених кількостей мікроелементів (особливо важких металів) у воді водних об'єктів, що відбувається за рахунок антропогенного впливу, робить їх індикаторами забруднення вод.

4.7. Радіоактивні елементи

Радіоактивний розпад (від лат. radius – промінь та āctīvus – дієвий, через фр. radioactif, букв. – радіоактивність) - спонтанна зміна складу (заряду Z, масового числа A) або внутрішньої будови нестабільних атомних ядер шляхом випромінювання елементарних частинок, гамма-квантів та/або ядерних фрагментів.

Процес радіоактивного розпаду називають *радіоактивністю*, а відповідні нукліди – радіоактивними (радіонуклідами).

Нуклід – вид атомів, що характеризується певним масовим числом, атомним номером і енергетичним станом ядер і має час життя, достатній для спостереження.

Радіоактивними називають речовини, що містять радіоактивні ядра. Всі хімічні елементи з атомним номером, більшим за 83 є радіоактивними.

Ядро, що зазнає радіоактивного розпаду, і ядро, що виникає внаслідок цього розпаду, називають відповідно материнським і дочірнім ядрами.

В процесі радіоактивного розпаду відбувається випромінювання 3-х типів променів: *альфа* (α), *бета* (β) і *гамма* (γ).

Період напіврозпаду. При радіоактивному розпаді відбуваються перетворення ядер атомів. Енергії частинок, які при цьому утворюються, набагато більші від енергій, що виділяються в типових хімічних реакціях. Тому ці процеси практично не залежать від хімічного оточення атома й від сполук, в які цей атом входить. Радіоактивний розпад відбувається спонтанно. Це означає, що неможливо визначити мить, коли розпадеться те чи інше ядро. Однак для кожного типу розпаду є характерний час, за який розпадається половина всіх радіоактивних ядер. *Цей час називається періодом напіврозпаду* ($t, \frac{1}{2}$).

Для різних радіоактивних ізотопів період напіврозпаду може лежати в дуже широких межах – від наносекунд до мільйонів років (табл. 4.2).

Як приклад, йод–131 – радіоізотоп з періодом напіврозпаду 8 днів. Він розпадається за рахунок випромінювання бета-частинок на ксенон–131.



Таблиця 4.2. Період напіврозпаду деяких радіоактивних нуклідів

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Випромінювання
Вуглець-14	5730 років	β
Кобальт-60	5,27 років	β
Францій-210	3,18 хвилин	α
Водень-3	12,26 років	β
Йод-131	8,07 днів	β
Плутоній-239	24100 років	α
Радон-222	3,82 днів	α
Стронцій-90	28,1 років	β
Цезій-137	32,17 років	α
Уран-235	7,04×10 ⁸ років	α
Уран-238	4,47×10 ⁹ років	α

Після того, як пройде 8 днів, половина атомів будь-якого зразка йоду–131 розпалася, а зразок тепер буде 50 % йод–131 і 50 % ксенон–131. Після того, як пройде ще 8 днів (всього 16 днів або 2 періоди напіврозпаду), проба буде 25 % йод–131 і 75 % ксенон–131. Так триває до повного розпаду всієї проби йоду–131.

Ізотопи з малим періодом напіврозпаду дуже радіоактивні, але швидко зникають. Ізотопи з великим періодом напіврозпаду слабко радіоактивні, але ця радіоактивність зберігається дуже довгий час. Існує природна та штучна радіоактивність.

4.7.1. Природна радіоактивність – спонтанний розпад атомних ядер, які зустрічаються в природі. Природна радіоактивність вод зумовлена переходом радіонуклідів з гірських порід в результаті розчинення нестійких мінералів або їх вилуговування (перехід хімічного елементу без порушення його кристалічної структури).

Фонова бета-активність природних вод на 50–90 % обумовлена ⁴⁰K, а в альфа-активність найбільший внесок дають ^{234,238}U, ^{224,226}Ra, ²²²Rn та ²²⁰Th. В залежності від джерела витоку, радіоактивний склад води може значно відрізнятися. Зокрема, вода з колодязів характеризується переважанням ²³⁴U, а вода з артезіанських свердловин – ²²⁴Ra.

Штучна радіоактивність – спонтанний розпад атомних ядер, отриманих штучним шляхом через відповідні ядерні реакції.

4.7.2. Радіоактивне забруднення – форма фізичного забруднення, яке пов'язане з перевищенням природного радіоактивного фону водного середовища. При цьому, *природний радіоактивний фон* – це рівень йонізуючого випромінювання, який створюється космічними джерелами та природними радіоактивними елементами, розчиненими та завислими у воді.

Причини радіоактивного забруднення водних екосистем:

- природні джерела (природні радіоактивні аномалії);
- штучні джерела (скиди радіоактивних речовин у водойми та їх надходження до підземних вод; аварії на ядерних об'єктах; випробування ядерної зброї).

4.8. Специфічні забруднювальні речовини

Забруднювальні речовини – це будь-яка хімічні речовини, тепло або біологічні види, які в результаті господарської діяльності людини

потрапляють у водний об'єкт чи виникають у ньому в кількостях, що виходять за природні граничні коливання чи середній природний фон і призводять до погіршення якості води. Забруднювальною речовиною за певних обставин може стати будь-який хімічний компонент із розглянутих вище груп. Але є компоненти, наявність у воді яких навіть у незначних кількостях свідчить про забруднення цих вод: пестициди, нафтопродукти синтетичні поверхнево активні речовини (СПАР) та деякі інші. Їх називають специфічними забруднювальними речовинами.

4.8.1. Пестициди – хімічні речовини, які застосовуються для боротьби з різними шкідливими організмами: кліщами (акарициди), комахами (інсектициди), бактеріями (бактерициди), вищими рослинами (гербіциди), грибами (фунгіциди) тощо. До цієї групи речовин зазвичай включають і антисептики, які застосовуються для запобігання від руйнування мікроорганізмами неметалевих матеріалів, а також речовини, які використовуються для підсушування рослин (десиканти), передпосівної обробки насіння (протравлювачі насіння) тощо. Залежно від фізико-хімічних властивостей і призначення пестициди зазвичай використовують у вигляді препаратів різних форм. Існують два основних класи пестицидів: хлорорганічні та фосфорорганічні.

Хлорорганічні пестициди – це хлорпохідні багатоядерних вуглеводів (ДДТ – дихлордифенілтрихлоретан), циклопарафінів (ХЦГ – гексахлорциклогексан), сполуки дієнового ряду (гептахлор), аліфатичних карбонових кислот (пропанід) тощо. Найважливішою особливістю більшості хлорорганічних сполук є стійкість до впливу різних чинників навколишнього середовища: температури, сонячної радіації, вологи, тривалого зберігання у ґрунті і зростання концентрації їх у наступних ланках біологічного ланцюга (наприклад, вміст ДДТ у гідробіонтах може перевищувати вміст його у воді на один або два порядки).

Фосфорорганічні пестициди – це складні ефіри: фосфорної кислоти – диметилдихлорвінілфосфат (ДДВФ); тіофосфорної – метафос, метилнітрофос; дитіофосфорної – карбофос, рогор; фосфонової – хлорофос. Перевагою фосфорорганічних пестицидів є їх відносно мала хімічна і біологічна стійкість. Більшість розкладається протягом 1 місяця після застосування, але окремі інсектициди внутрішньорослинної дії (рогор, сейфос та інші) можуть зберігатися протягом року.

Основним джерелом надходження пестицидів у водні об'єкти є поверхневий стік талих дощових і ґрунтових вод із сільськогосподарських угідь, колекторно-дренажні води з меліоративних систем. Пестициди потрапляють у водні об'єкти під час їх обробки для знищення небажаних водяних рослин та інших гідробіонтів, зі стічними водами промислових підприємств, які виробляють отрутохімікати, безпосередньо при обробці полів пестицидами за допомогою авіації, при транспортуванні та зберіганні.

Завдання для самостійної роботи

1. Використовуючи теоретичні відомості до практичної роботи, розписати словами назви головних йонів: HCO_3^- ; SO_4^{2-} ; Cl^- ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; K^+ .

2. Користуючись теоретичними відомостями до практичної роботи та літературними джерелами, написати формули газів, які можуть бути у воді: кисень; вуглекислий газ; азот; сірководень; метан.

3. Використовуючи теоретичні відомості до практичної роботи, написати формули біогенних речовин: нітриту; нітрату, амоній, фосфати.

4. Використовуючи теоретичні відомості до практичної роботи, розписати до якої групи належать наведені компоненти хімічного складу води: HCO_3^- ; ^{40}K ; PO_4^{3-} ; NO_3^- ; ^{234}U ; Ca^{2+} ; CO_2 ; пестициди; Pb^{2+} ; O_2 ; СПАР; Cu^{2+} .

...

Контрольні питання

1. Які основні групи хімічних компонентів виділяють при дослідженні природних вод?:

2. Що означає поняття «мінералізація води»?

3. Охарактеризувати в цілому головні йони у природних водах.

4. Охарактеризувати в цілому розчинені гази у природних водах.

5. Охарактеризувати в цілому біогенні елементи у природних водах..

6. Охарактеризувати в цілому органічну речовину у природних водах.

7. Охарактеризувати в цілому мікроелементи у природних водах.

8. Охарактеризувати в цілому радіоактивні елементи у природних водах.

9. Охарактеризувати в цілому специфічні забруднювальні речовини у природних водах.

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Загальна гідрохімія: підручник. К.: Либідь, 1997. 384 с.

• Хільчевський В.К. Гідрохімічний словник. К.: ДІА, 2022. 208 с.

• Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник К. Ніка-Центр, 2012. 312 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ТЕМА: СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ДАНИХ. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИРОДНИХ ВОД ЗА ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ ТА МІНЕРАЛІЗАЦІЄЮ

Мета: ознайомитися з найпоширенішими класифікаціями природних вод, отримати навички їх застосування в гідрохімічній практиці.

Основні терміни і поняття: клас вод, тип вод, група вод, мінералізація води.

Аудиторні завдання

1. Проаналізувати запропоновані класифікації природних вод, подані в теоретичних відомостях до практичної роботи, вписати основні терміни і поняття.

2. Користуючись теоретичними відомостями даної практичної роботи, рекомендованими бібліографічними джерелами, записати у вигляді формул наступні дані про природні води за класифікацією О.О. Алекіна:

– клас гідрокарбонатний, група кальцієва, тип перший.

– клас гідрокарбонатний, група кальцієво-магнієва, тип другий, з мінералізацією 0,3 г/дм³, твердістю 4 ммоль/дм³;

3. Користуючись теоретичними відомостями даної практичної роботи, написати сольові формули Курлова за даними:

– SO₄ 63 % (кількості речовини еквівалента), Cl 17, HCO₃ 14; Mg 40, Ca 30, Na 18, NH₄ 14, K 8; загальна мінералізація води 0,21;

– HCO₃ 58 % (кількості речовини еквівалента), Cl 23, SO₄ 19; Na 46, Ca 37, Mg 14, K 3; загальна мінералізація вод 0,82.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 5

Зміст

5.1. Вираження результатів аналізу проб води. – С. 64.

5.2. Класифікація О.О. Алекіна. – С. 65.

5.3. Класифікація В.О. Олександрова. – С. 66.

5.4. Формула Курлова. – С. 67.

5.5. Класифікація води за мінералізацією. – С. 67.

5.6. Класифікація води за твердістю. – С. 69.

5.1. Вираження результатів аналізу проб води

У гідрохімічній практиці результати аналізу проб води виражаються відповідно до їх типу:

1) *головні йони* при загальній мінералізації води більше 1 г/дм³ (г/л) часто виражаються в проміле (‰, особливо в океанологічній практиці), менше 1 г/дм³ – в мг/дм³, оскільки за даних умов 1 дм³ води практично дорівнює 1 кг;

2) *розчинені гази* (O₂, N₂, CO₂, H₂S, CH₄ тощо) – кількістю мг, розчинених в дм³, а в океанологічній практиці – кількістю мл, які містяться в 1 дм³ води (мл/дм³, чи % за об'ємом);

3) *біогенні елементи* (сполуки азоту, фосфору і кремнію) – кількістю мг, які містяться в 1 дм³ води (мг/дм³), а іноді і в мкг на 1 дм³ води (мкг/дм³); в океанологічній практиці – в мкг чи мкмольах індивідуального елемента, що міститься в 1 дм³ води;

4) *мікроелементи* – в мг/дм³, мкг/дм³ або у вигляді степеневого виразу, наприклад $1,6 \times 10^{-5}$ г/дм³ [11].

Існують різні підходи до систематизації даних про хімічний склад природних вод. Насамперед, це класифікації, які ґрунтуються на різних принципах і використовуються з різною метою. Єдиної універсальної класифікації природних вод не існує. Наприклад, для мінеральних вод можуть застосовуватися класифікація В.О. Олександрова та класифікація В.В. Іванова і Г.О. Невраєва, для поверхневих вод – класифікація О.О. Алекіна. Вони досить зручні в практичному використанні. Переважна більшість класифікацій враховує лише головні аніони (Cl, SO₄²⁻, HCO₃⁻) і катіони (Na⁺, Ca²⁺, Ма²⁺) природних вод, відображаючи зміни їх гідрохімічних типів вод.

Розглянемо окремі класифікації вод за хімічним складом, поширені в гідрохімічній практиці.

5.2. Класифікація О.О. Алекіна

Класифікація застосовується для поверхневих вод. В її основу покладено два принципи: переважаючих йонів та співвідношень між йонами. Переважаючими вважаються йони з найвищим відносним вмістом у відсотках у перерахунку на кількість речовини еквівалента.

Всі природні води за переважаючим аніоном поділяються на *три класи*: гідрокарбонатні; сульфатні; хлоридні. За ними визначають у загальних рисах гідрохімічну характеристику води (рис. 5.1).

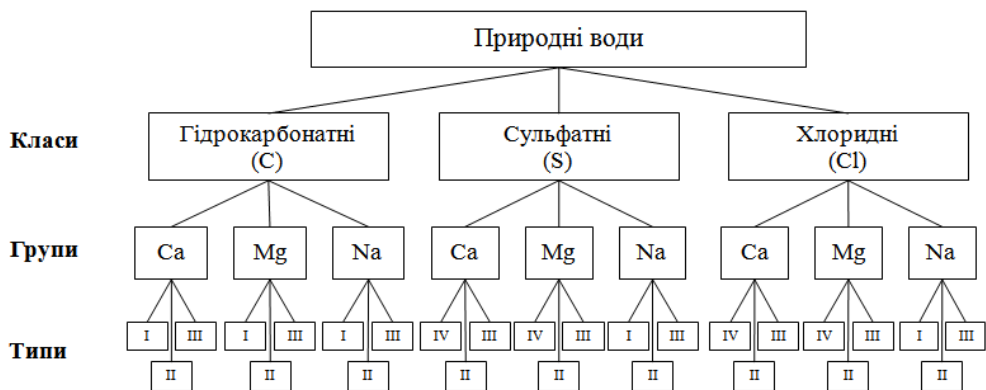


Рис. 5.1. Схема класифікації природних вод О.О. Алекіна за переважаючими аніонами та катіонами

До першого класу належить більша частина маломінералізованих вод річок, озер і деяких підземних вод. До третього – переважно високомінералізовані води океану, морів, соляних озер, підземні води закритих структур тощо. Води другого – сульфатного класу за поширеністю й

мінералізацією є проміжними між гідрокарбонатними і хлоридними. Генетично вони пов'язані з деякими осадовими породами.

Кожний клас поділяється за переважаючим катіоном на *три групи вод* – кальцієву, магнієву і натрієву, кожна група – на *чотири типи вод*, які зумовлюються співвідношенням між йонами у відсоток – еквівалентах.

Перший тип характеризується відношенням $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Води цього типу лужні, м'які, утворюються при розчиненні продуктів вивітрювання вивержених порід, які містять значну кількість натрію і калію. Води першого типу найчастіше маломінералізовані, проте у безстічних озерах трапляються й з високою мінералізацією. До першого типу належать також деякі води нафтових родовищ.

Другий тип характеризується співвідношенням $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$. Води цього типу формуються при взаємодії з деякими осадовими породами і продуктами вивітрювання корінних порід. До цього типу належить більшість вод річок, озер і підземних вод малої та помірної мінералізації.

Третій тип характеризується співвідношенням $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, або, що те ж саме, $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$. Генетично води цього типу є змішаними і метаморфізованими, формуються в результаті випаровування молекул води і катіонного обміну (звичайно Na^+ розчину на Ca^{2+} і Mg^{2+} ґрунтів і порід). До них належать води океану, морів, лиманів, багатьох соляних озер, більшість сильномінералізованих вод.

Четвертий тип характеризується виразом $\text{HCO}_3^- = 0$, тобто води цього типу кислі й не належать до класу гідрокарбонатних вод, а лише сульфатного і хлоридного класів у групах Ca^{2+} і Mg^{2+} . Кислі води формуються при вивітрюванні та розробці сульфатних родовищ і багатих на сульфіди вугільних покладів; при вулканічній діяльності (кратерні озера, гарячі джерела); при активних сульфатредуквальних процесах (води грязьових вулканів і нафтових родовищ); у північних і вологих регіонах (тундрові води, торф'яників і лісів). Це зумовлює належність до цього типу рудникових, болотних, вулканічних, а також природних вод, сильно забруднених промисловими стічними водами [11].

Класи, групи і типи позначаються відповідними символами. Клас – аніонами: символ С означає HCO_3^- , символ S – SO_4^{2-} , відповідно Cl – Cl^- ; група – катіонами: Na^+ , Ca^{2+} , і Mg^{2+} ; тип – римською цифрою. Символи записуються таким чином: C_I^{Ca} (гідрокарбонатний клас, група кальцію, тип перший), $\text{S}_{II}^{\text{Mg}}$ (сульфатний клас, група магнію, тип другий) або для складнішого випадку – $\text{S}_{III}^{\text{Na, Mg}}$ (сульфатно-хлоридний клас, група натрію і магнію, тип третій). Другий аніон чи катіон вводиться в індекс, якщо його вміст до 5 % у перерахунку на кількість речовини еквівалента поступається першому йону.

До індексу додається значення мінералізації (знизу, з точністю до $0,1 \text{ г/дм}^3$) і загальної твердості (жорсткості) – зверху, з точністю до цілих одиниць речовини еквівалента у мілімолях на дм^3). Наприклад, $\text{C}_{II}^{\text{Ca}}_{0,5}^6$ означає, що вода гідрокарбонатного класу, групи кальцію, типу II, з мінералізацією $0,5 \text{ г/дм}^3$, твердістю $6,0 \text{ ммоль-екв/дм}^3$.

5.3. Класифікація В.О. Олександрова

Класифікація В.О. Олександрова стосується мінеральних і лікувальних вод, які поділено на 5 класів за аніоном, кількість якого перевищує 12,5 %-екв (якщо вважати суму еквівалентних аніонів за 50 %). Кожний клас поділено за переважаючими катіонами. До перших чотирьох класів належать: *гідрокарбонатний, сульфатний, хлоридний і нітритний*. П'ятий клас – *змішаний* – об'єднує води, які мають різні аніони у кількості 12,5 %-екв. Крім зазначених п'яти класів, відмінних за йонним складом, передбачається й розподіл вод за їх особливостями.

А. *Води з активними йонами*: а) залізисті ($\text{Fe} > 10 \text{ г/дм}^3$); б) миш'яковисті ($\text{As} > 1 \text{ мг/дм}^3$); в) йодо-бромисті ($\text{Br} > 25 \text{ мг/дм}^3$, $\text{I} > 10 \text{ мг/дм}^3$); г) кремністі ($\text{H}_2\text{SiO}_3 > 50 \text{ мг/дм}^3$); д) з іншими активними йонами (F, B, Li, Co тощо).

Б. *Газові води*: а) вуглекислі ($\text{CO}_2 > 0,75 \text{ г/дм}^3$); б) сірководневі ($\text{H}_2\text{S} > 10 \text{ мг/дм}^3$); в) радонові (радону $> 13,4 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3$); г) інші (азотні, метанові тощо).

В. *Термальні води*: а) теплі ($t = 20\text{--}37 \text{ }^\circ\text{C}$); б) гарячі ($t > 37 \text{ }^\circ\text{C}$).

5.4. Формула Курлова

Добре наочне зображення даних про хімічний склад природних вод дає формула Курлова, яка була спочатку запропонована для підземних вод. Згодом її почали застосовувати й для поверхневих вод. Ця формула є псевдодробом, у чисельнику якого зліва направо записуються аніони (у відсотках кількості речовини еквівалента) в порядку зменшення. У знаменнику таким же чином записуються катіони. Зліва до дробу записується загальна мінералізація води в грамах на 1 дм^3 . Для запису у формулі Курлова визначальним є вміст йона понад 25 %-екв.

Наприклад, склад води річки за однією з проб можна виразити наступним чином [12]:

$$0,36 \frac{\text{HCO}_3 \ 45 \ \text{SO}_4 \ 36}{\text{Ca} \ 52 \ \text{Mg} \ 30} \quad (5.1)$$

Що означає з формули: вода гідрокарбонатно-сульфатна кальцево-магнієва з мінералізацією $0,36 \text{ г/дм}^3$. Йони, які мають менший вміст ніж 25 %-екв. у цю формулу не записувалися.

5.5. Класифікація води за мінералізацією

Мінералізація води – це кількість розчинених у воді мінеральних речовин, яка визначена за допомогою аналізів.

Серед дослідників немає єдиної думки щодо принципів розподілу природних вод за мінералізацією. Граничні значення ступеня мінералізації вод обґрунтовуються або з теоретичних позицій, або з урахуванням практичного значення типу води.

Загальноприйнятим є лише ступінь мінералізації, який характеризує межу прісних вод (1 г/дм^3) – табл. 5.1. Варто зазначити, що у більшості країн 1 г/дм^3 є верхньою межею мінералізації питної води в централізованому водопостачанні.

Таблиця 5.1. Класифікація природних вод за ступенем мінералізації

Води	Мінералізація води		Автор класифікації	
	г/дм ³	‰		
Прісні	< 1,0		<i>В.І. Вернадський</i> (1933–1936)	
Солонуваті	1,0–10,0			
Солоні	10,0–50,0			
Розсоли	> 50,0			
Прісні дуже прісні нормально прісні тверді прісні	<1,0		<i>І.К. Зайцев</i> (1945, 1972)	
Солоні солонуваті слабосолоні сильносолоні	1,0–36,0			
Розсоли дуже слабкі слабкі міцні дуже міцні	>36,0 36,0–75,0 75,0–150,0 150,0–320,0 >320,0			
Ультрапрісні	<0,2			<i>О.М. Овчинников</i> (1954)
Прісні	0,2–0,5			
Підвищеної мінералізації	0,5–1,0			
Солонуваті	1,0–3,0			
Солоні	3,0–10,0			
Підвищеної солоності	10,0–35,0			
Прісні		<1,0		<i>О.О. Алекін</i> (1970)
Солонуваті		1,0–25,0		
Морської солоності		25,0–50,0		
Розсоли		>50,0		
Прісні		<1,0	Комісія ЮНЕСКО з використання солоних вод (1995)	
Мінералізовані		1,0–3,0		
Слабосолоні		3,0–10,0		
Середньосолоні		10,0–35,0		
Океанічні		35,0		
Розсоли		>35,0		
Дуже прісні	< 0,1		<i>В.К. Хільчевський</i> (2003)	
Помірно прісні	0,1–0,5			
Прісні з підвищеною мінералізацією	0,5–1,0			
Слабосолоні	1,0–3,0			
Середьосолоні	3,0–15,0			
Солоні	15,0–35,0			
Сильносолоні	35,0–50,0			
Розсоли	> 50,0			

5.6. Класифікація води за твердістю

Твердість (жорсткість) води – властивість води, зумовлена наявністю в ній розчинених солей кальцію і магнію. Води з високою твердістю не придатні для водопостачання (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Класифікація природних вод за твердістю

Назва води за твердістю	Значення твердості, ммоль/дм ³
Дуже м'які	до 1,5
М'які	1,5–3,0
Середні	3,0–6,0
Тверді	6,0–10,0
Дуже тверді	> 10,0

Завдання для самостійної роботи

1. Користуючись теоретичними відомостями до практичної роботи, напишіть сольові формули Курлова за наведеними даними:

– SO₄ 58 % (кількості речовини еквівалента), HCO₃ 5, Cl 17; Ca 65, Na 15, NH₄ 9, Mg 7, K 4; загальна мінералізація вод 0,26;

– HCO₃ 39 % (кількості речовини еквівалента), Cl 37, SO₄ 24; Ca 61, Na 21, Mg 18; загальна мінералізація вод 0,429.

2. Використовуючи теоретичні відомості до практичної роботи позначити назву води за твердістю (ммоль/дм³):

а) 2,5 – ...; б) 4,5 – ...; в) 8,0 – ...; г) 12 – ...

Контрольні питання

1. Які принципи покладено в основу класифікації природних вод О.О. Алекіна?

2. Скільки класів і груп природних вод виділяється у класифікації за переважаючими аніонами і катіонами? Назвати ці класи і групи.

3. Води річок, озер, підземних вод малої і помірної мінералізації належать до якого типу природних вод, згідно класифікації за переважаючими аніонами і катіонами?

4. Що відображає формула Курлова?

5. У яких одиницях виражається мінералізація прісних і солонуватих вод ?

6. У яких одиницях виражається мінералізація розсолів?

7. Проаналізувати класифікацію природних вод за ступенем мінералізації В.К. Хільчевського.

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Загальна гідрохімія: підручник. К.: Либідь, 1997. 384 с.

• Хільчевський В. К. До питання про класифікацію природних вод за мінералізацією. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2003. 5. С. 11–18.

- Хільчевський В. К. Про функціонально-генетичну та гідрохімічну класифікації ставків. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. 3 (46). С. 6–11.
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник К. Ніка-Центр, 2012. 312 с.
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

ТЕМА: ПОРТАТИВНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Мета: ознайомитися з портативними електронними приладами для вимірювання показників хімічного складу води (окремі компоненти, мінералізація води, вміст кисню, показник рН), отримати навички їхнього застосування при дослідженні водних об'єктів.

Основні терміни і поняття: оксиметр, солемір, нітратомір-радіометр, багатофункціональний монітор якості води.

Аудиторні завдання

1. Користуючись науковими, довідковими, картографічними джерелами. Інтернет-ресурсом, дати письмову коротку фізико-географічну характеристику обраного для дослідження водного об'єкта (варіанти в м. Луцьку: р. Сапалаївка, р. Стир, р. Черногузка, р. Жидувка, р. Омеляник).

2. Ознайомитися із приладами для дослідження хімічного складу води, зокрема з описом, поданим у теоретичних відомостях практичної роботи. В аудиторії попрактикуватися з цими приладами, використовуючи проби водопровідної води.

3. Приступити до роботи з пробами води з реальних водних об'єктів, які були відібрані заздалегідь. Проба води відбирається з водного об'єкта в чисту 1-літрову поліетиленову ємність, яку попередньо промили 3 рази водою, що відбирається. На кожній ємності зробити етикетку, на якій зазначити дату і час взяття проби води, назву водного об'єкта і точку взяття проби, назву населеного пункту. Приклад підпису етикетки: 25.09.2024 р., 12–00 год., р. Сапалаївка, Парк-сіті, м. Луцьк.

Необхідно мати на увазі, що при зберіганні проби низка фізико-хімічних показників води змінюється порівняно з їх реальними значеннями в момент відбору проби з водного об'єкта. Тому в практиці державного моніторингу вод визначення показників хімічного складу води виконують одразу біля водного об'єкта, або ж консервують проби для подальших визначень у ліцензованій лабораторії.

4. Використовуючи необхідні прилади, виконати визначення показників хімічного складу води одного з водних об'єктів м. Луцька.

5. Написати звіт про вимірювання показників хімічного складу води обраного водного об'єкта. До письмового звіту додати заповнену таблицю (табл. 6.1) з отриманими власними даними. Проілюструвати звіт фотографіями.

Таблиця 6.1. Для оформлення відповіді. Дані про температуру води, рН, вміст розчиненого кисню, нітратів та мінералізацію води р. Сапалаївка

Дата відбору проб	Температура води, °С	рН	Кисень (O ₂), мг/дм ³	Нітрати (NO ₃ ⁻), мг/дм ³	Мінералізація води, мг/дм ³

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 6

Зміст

- 6.1. Вибір ділянки водного об'єкта для відбору проб води. – С. 72.
- 6.2. Оксиметр ручний. – С. 72.
- 6.3. Солемір. – С. 74.
- 6.4. Комбінований аналізатор води. – С. 75.
- 6.5. Нітратомір-радіометр. – С. 75.
- 6.6. Багатофункціональний монітор якості води. – С. 76.

6.1. Вибір ділянки водного об'єкта для відбору проб води

Дослідження обраного водного об'єкта (річки, озера, ставка) починається з його короткої фізико-географічної характеристики (підготувати, користуючись науковими публікаціями та Інтернет-ресурсами): географічне положення, геологічна будова, рельєф, клімат, біорізноманіття.

Вибір ділянки, де будуть виконуватися вимірювання, відбувається в процесі загального огляду річки: з позицій зручності та безпечності підходу враховується стан берегів та крутизна схилів, швидкість течії, наявність водяної рослинності, пляжів, водозабірних споруд чи скидів стічних вод.

Перед тим як починати виконувати заміри показників хімічного складу води водних об'єктів, необхідно ознайомитися з наявними на кафедрі електронними приладами: оксиметр ручний, солеміри, нітратомір-радіометр, вимірювач води (4 в 1) (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Електронні прилади для вимірювання показників хімічного складу води водних об'єктів

6.2. Оксиметр ручний

Оксиметр ручний (Dissolved Oxygen Meter AZ 8403) – прилад для вимірювання концентрації розчиненого кисню і температури води (рис. 6.2).

На дисплеї приладу відображається виміряна концентрація розчиненого кисню в % або в ppm або mg/L, рівень атмосферного тиску в мм рт. ст. або кПа. В нижній частині екрану відображаються показники

температури та дата і година/хвилина/секунда під час вимірювання (відображаються поперемінно).

Функціональне призначення кнопок на пристрої: SET – увімкнення та вимкнення живлення приладу (коли прилад вимкнений, натискання і утримання цієї кнопки протягом однієї секунди дозволяє перейти в режим налаштувань SET); MODE – дозволяє переключатися між налаштуваннями або обрати налаштування, що знаходиться вище; CAL/Esc – для проведення калібрування 100 % насичення, коли пристрій знаходиться в нормальному режимі; MEM – натискання кнопки доцільне для збереження поточного значення вимірювань; HLD/Rec – у звичайному режимі кнопка використовується для фіксації поточного значення (ще раз треба натиснути кнопку, щоб розблокувати фіксацію); MI/MX/FV – для перегляду даних (мінімальних/максимальних/середніх), збережених у пам'яті пристрою; SET + HLD – одночасне натискання більше однієї секунди призначене для відключення режиму автоматичного вимкнення живлення.



а

Рис. 6.2. Оксиметр ручний: а – загальний вигляд (оксиметр, зонд для вимірювання концентрації розчиненого кисню у воді, розчин електrolіту), б – вигляд дисплея, в – кнопки керування

Перед першим використанням приладу потрібно провести калібрування зонда. Надалі слід проводити калібрування, якщо показники приладу при стабілізації (приблизно через 15 хв.) перевищують 100 + 0,5 %. Перед калібруванням зонд потрібно промити дистильованою водою або розчином для промивання.

Калібрування: у звичайному режимі тримайте зонд у повітрі кілька хвилин, доки показання не стабілізуються. Натисніть кнопку CAL/Esc для запуску калібрування 100 % насичення киснем, на дисплеї починає блимати

CAL. Через кілька секунд, коли покази стабілізуються, натисніть кнопку MI/MX/FV для завершення калібрування, прилад буде автоматично відкалібровано до 100 % насичення киснем і він перейде у звичайний режим роботи. Калібрування можна зупинити, натиснувши кнопку CAL/Esc. Якщо під час роботи виникне помилка, на екрані з'явиться індикатор ERR.

Калібрування – комплекс дій, що проводяться під час регулювання та періодичного підтвердження градуовальних характеристик контрольно-вимірювального приладу чи системи вимірювання спеціально для того, щоб встановити кореляцію (залежність) між показаннями приладу та кінцевим результатом.

Атмосферний тиск – важливий показник для коригування результатів вимірювання концентрації розчиненого у воді кисню. Для атмосферного тиску встановлюються значення 760 мм рт. ст. та 101,3 кПа та мінералізації води 0,0 ppm. Для отримання точних даних рекомендується встановити показник атмосферного тиску місця, де будуть проводитися вимірювання. Якщо значення атмосферного тиску буде змінено зі значення, що встановлено за замовчуванням, значення калібрування в повітрі буде автоматично відрегульоване до значення, відмінного від 100 %. Якщо потрібно, то ввести правильне значення атмосферного тиску (у режимі SET – вибрати P 3.1 і P 3.2 для заміни значення атмосферного тиску) – табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Дані для коригування на оксиметрі атмосферного тиску в залежності від висоти місцевості

Висота (м/фут)*	Тиск (мм рт. ст.)	Висота (м/фут)	Тиск (мм рт. ст.)	Висота (м/фут)	Тиск (мм рт. ст.)
0 (рівень моря)	760	762/2500	694	1372/4500	644
152/500	746	914/3000	681	1524/5000	632
305/1000	732	1067/3500	668	1676/5500	621
457/1500	720	1219/4000	656	1829/6000	609
610/2000	707				

Примітка. * - 1 фут = 30,48 см.

6.3. Солемір

Солемір (TDS Meter) – прилад для визначення мінералізації води в діапазоні значень 1,0–9990 mg/L (рис. 6.3).

TDS (Total Dissolved Solids) визначає загальну кількість речовин у воді, включаючи різні солі тощо. Вимірювання проводяться в mg/L або ppm (parts per million).

Вимірювання TDS дозволяє контролювати якість питної води (велика кількість розчинених речовин може вказувати на забруднення або непридатність для споживання).

Для вимірювання мінералізації води потрібно зняти захисний ковпачок, включити прилад (кнопка ON/OFF), занурити у рідину до максимального рівня (5 см), злегка перемішати для видалення повітряних пухирців, дочекатись стабілізації показів приблизно через 10 с потім натиснути HOLD для

запам'ятовування результатів вимірювання (блимаючий сигнал «x 10» означає, що результат треба помножити на 10).

Для вимірювання температури натиснути кнопку *TEMP* і дисплей переключиться в режим відображення температури(в °C). Цю ж кнопку треба натиснути ще раз, щоб повернутися в режим вимірювання TDS.

6.4. Комбінований аналізатор води

Комбінований аналізатор води (ADWA AD31) дозволяє вимірювати відразу кілька параметрів: електропровідність, мінералізацію, температуру води (електропровідність EC: 0–3999 $\mu\text{S}/\text{cm}$; TDS: 0–2000 ppm; T : 0,0–60,0 °C) (див. рис. 6.3).



TDS Meter



ADWA AD31



Greentest

Рис. 6.3. Солеміри (TDS Meter і ADWA AD31) та прилад для вимірювання вмісту нітратів та визначення рівня радіоактивного фону (Greentest) – нітратомір-радіометр

6.5. Нітратомір-радіометр

Нітратомір-радіометр (Greentest) – прилад для експрес-аналізу вмісту нітратів у воді та продуктах споживання (*максимальна добова доза нітратів, за рекомендаціями ВООЗ, – 3,7 мг на 1 кг маси тіла*), визначення мінералізації води, визначення рівня радіоактивного фону (див. рис. 6.3).

Для того, щоб визначити потрібний показник, треба зняти захисний ковпачок, натиснути кнопку ввімкнення приладу. На екрані відобразиться «Головне меню», у якому треба вибрати воду чи продукт, який потрібно протестувати. Вставити у воду щуп і натиснути кнопку «Почати тест». Після цього на екрані відобразяться результати.

6.6. Багатофункціональний монітор якості води

Багатофункціональний монітор якості води (4 в 1) PHT-027 (pH 0,0–14,0; TDS 10–19990 ppm; T – від 0,0 до +70 °C) (рис.6.4).

Для роботи з приладом треба підключити блок живлення (у пристрої також є вбудований акумулятор), під'єднати рН-електрод, зняти захисний ковпачок. Занурити один чи два електроди в розчин, що потребує аналізу, зняти показник, що висвітлиться.

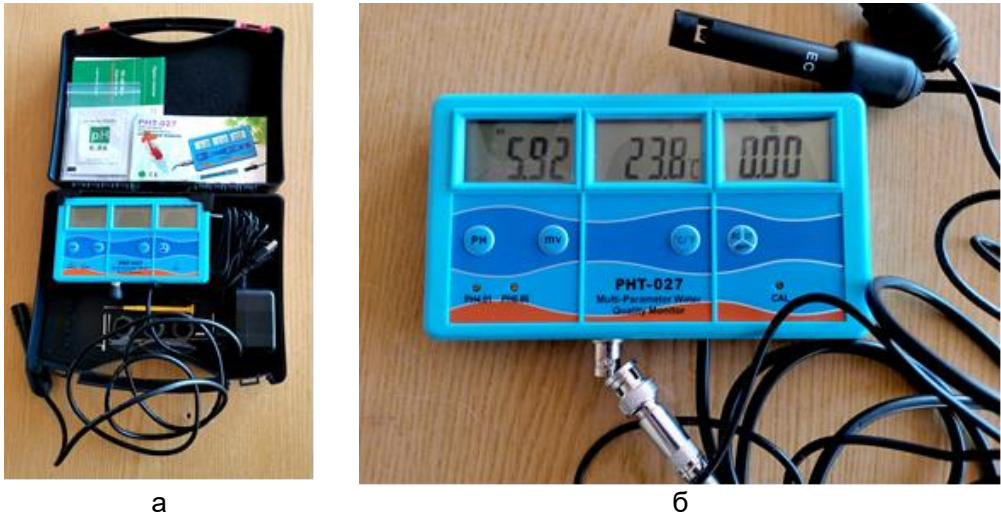


Рис. 6.4. Багатофункціональний монітор якості води (визначення рН): а – прилад у футлярі, б – дисплей

Калібрування рН. Занурити рН-електрод в буферний розчин рН 6,86 і обережно струснути його. Дочекатися стабілізації показників і за допомогою викрутки відрегулювати калібрувальний регулятор «рН 6,86», щоб прочитати значення «рН 6,86». Промити електрод дистильованою водою і просушити паперовою серветкою.

Занурити рН-електрод в буферний розчин рН 4,01 і обережно струснути його. Дочекатися стабілізації показників і за допомогою викрутки відрегулювати калібрувальний регулятор «рН 4,01», щоб прочитати значення «рН 4,01». Промити електрод дистильованою водою і просушити паперовою серветкою.

Занурити рН-електрод в буферний розчин рН 9,18, поки на дисплеї не з'явиться «рН 9,18».

6.6.1. Приведення назв міжнародних характеристик та одиниць вимірювання до вітчизняних показників

TDS (Total Dissolved Solids) – переклад на укр. – «загальна кількість розчинених твердих речовин»; TDS включає загальний вміст всіх неорганічних та органічних речовин у воді. TDS близьке поняттю «*мінералізація води*».

Одиниці вимірювання:

– mg/L = мг/дм³;

– ppm (parts-per-million), 10^{-6} – *переклад на укр.* «частин на мільйон» або одна мільйонна частка; для масових концентрацій: $1 \text{ ppm} = 0,001 \text{ ‰} = 0,001 \text{ г/дм}^3 = 1,0 \text{ мг/дм}^3$.

– ppt (parts-per-trillion), 10^{-12} – *переклад на укр.* «частин на трильйон»; використовується рідко.

Завдання для самостійної роботи

1. З дотриманням рекомендацій п. 3 рубрики «Аудиторні заняття» цієї практичної роботи відібрати проби води з водного об'єкта в населеному пункті, в якому мешкаєте, і доставити в університет.

У межах наступних практичних занять, використовуючи розглянуті прилади, визначити вміст кисню, значення рН, мінералізацію у кожній з проб води.

Контрольні питання

1. Пояснити, як відбувається відбір проб води з водного об'єкта.
2. Пояснити, які дані заносяться на етикетку ємності з пробною водою.
3. Пояснити, що таке калібрування електронних приладів.
4. Які прилади для визначення показників хімічного складу води вам відомі?
5. Коротко пояснити правила роботи з оксиметром.
6. Яке призначення приладів контролю якості води TDS?
7. Для вимірювання яких показників використовується Greentest?
8. За допомогою якого приладу вимірюється значення рН розчину?
9. Назвати приклади реально визначених показників вмісту кисню у пробах води, з якими працювали.
10. Назвати приклади реально визначених значень рН у пробах води, з якими працювали.
11. Назвати приклади реально визначених мінералізації у пробах води, з якими працювали.

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Загальна гідрохімія : підручник. К.: Либідь, 1997. 384 с.
- Технічні паспорти приладів: Dissolved Oxygen Meter AZ 8403; TDS Meter; ADWA AD31; Greentest; PHT-027.
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії : підручник К.: Ніка-Центр, 2012. 312 с.

II. ХІМІЧНИЙ СКЛАД РІЗНИХ ТИПІВ ПРИРОДНИХ ВОД

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

ТЕМА: ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ

Мета: з'ясувати основні закономірності формування хімічного складу атмосферних опадів, проаналізувати вміст хімічних речовин в атмосферних опадах на території України.

Основні терміни і поняття: гетерогенна система, аерозоль, ядра конденсації, атмосферні опади, модуль надходження розчинених мінеральних речовин, реакція рН.

Аудиторні завдання

1. Використовуючи рис. 7.2 «Модулі річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами», рис. 7.3 «Умовні позначення до гідрохімічних картосхем», табл. 7.4 «Величини річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України», теоретичні відомості, тематичні карти «Комплексного атласу України», проаналізувати особливості хімічного складу та величини річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України. Відповідь оформити у вигляді табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Для оформлення відповіді. Надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України

Показники	Зона мішаних лісів	Зона широколистяних лісів	Лісостепова зона	Степова зона	Карпатська гірська країна	Кримська гірська країна
Надходження аніонів, тис. т						
Надходження аніонів, т/км ²						
Надходження катіонів, тис. т						
Надходження катіонів, т/км ²						
Загальна кількість надходження йонів, тис. т						
Загальна кількість надходження йонів, т/км ²						
Сума атмосферних опадів, мм						

2. Використовуючи лекційний матеріал, наукові публікації, теоретичні відомості, рис. 7.1 «Середньорічна мінералізація атмосферних опадів над територією України», табл. 7.3 «Середній вміст хімічних компонентів у атмосферних опадах України», карту «Фізико-географічне районування України», («Комплексний атлас України», С. 46), детально письмово проаналізувати розподіл мінералізації та концентрації хімічних компонентів (аніонів і катіонів) в атмосферних опадах України за природними зонами та гірськими країнами.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 7

Зміст

- 7.1. Ядра конденсації в атмосфері. – С. 79.
- 7.2. Хімічний склад атмосферних опадів. – С. 81.
- 7.3. Вміст мінеральних речовин в атмосферних опадах України. – С. 81.
- 7.4. Надходження мінеральних речовин з атмосферними опадами. – С. 83.

Атмосфера Землі – це гетерогенна система, яка складається з газового середовища з розсіяними в ньому дисперсними частинками рідкої і твердої речовин у завислому стані. Газоподібні речовини, з яких складається атмосфера, це 78 % – азот молекулярний, 20,95 % – кисень молекулярний, 0,93 % – аргон; 0,03 % – діоксид вуглецю. Крім того, присутні і мізерні кількості водню, неону, гелію, криптону, ксенону, радону, пилу й водяної пари. Вміст останньої зростає з температурою.

7.1. Ядра конденсації в атмосфері

Дисперсну фазу (ядра конденсації) складають: пилоподібні мінеральні частинки кори вивітрювання, високодисперсні агрегати розчинних солей різного ступеня зволоженості, найменші краплі розчинів газових сумішей (SO_2 , HCl та інші), частинки диму, органічні речовини різного складу, найдрібніші організми та їх залишки (спори, пилок рослин, мікроби), що перебувають у завислому стані [11].

Частинки дисперсної фази мають широкий діапазон розмірів. Верхня межа лімітується можливістю перебувати у повітрі в завислому стані (радіус 2×10^{-3} см, або близько 20 мк*). За розмірами вони поділяються на три групи: а) найдрібніші з радіусом меншим, ніж 2×10^{-5} см; б) великі з радіусом 2×10^{-5} – 2×10^{-4} см; в) гігантські з радіусом більшим за 10^{-4} см (тобто більшим за 1 мк).

Кількість частинок зменшується з висотою. Розподіл їх залежить від руху повітря в горизонтальному чи вертикальному напрямках, турбулентного перемішування, процесів конденсації, гравітаційного осідання тощо. На концентрацію частинок суттєво впливають підстильна поверхня, віддаленість від населених пунктів і океану – їхня кількість набагато більша над містами, ніж над сільською місцевістю; більша над рівниною, ніж над горами; більша над суходолом, ніж над океаном (табл. 7.2).

*Мк (мкм) – мікрон або мікромметр – міжнародна одиниця вимірювання довжини в СІ, яка дорівнює 10^{-6} м.

1 мкм = 0,001 мм = 0,0001 см = 0,000001 м.

7.1.1. Джерела надходження ядер конденсації в атмосфері: 1) *еолова ерозія*, що спричинює у приземному шарі повітря постійну значну кількість мінерального пилу (частинки глинистих і піщаних порід, ґрунтів, дрібні кристали солей із солончаків, солонців, узбережжя соляних озер, дна висохлих соляних озер, залишки рослин і тварин тощо), який переноситься вітром; 2) *винесення солей з поверхні льоду* – частина розсолу при замерзанні солоної води під тиском зростаючих кристалів льоду надходить на його поверхню, утворюючи сухі солі; 3) *винесення солей з водної поверхні* – у найпростішому вигляді механізм винесення солей можна уявити як чисто механічний процес: відривання найдрібніших крапель води з гребенів хвиль вітром (крупні частинки морської води осідають в межах 200–250 м від берега після того, як переносяться повітряним потоком на невеликій висоті 1–3 м); на відстані близько 200 м кількість перенесених солей знижується до 17 % від початкової; менші частинки аерогідрозолу морської води, які підхоплюються конвекційними струменями, переносяться на значно більші відстані; винесення солей у прибережній зоні легко помітити навіть на повсякденних речах (наліт на склі вікон, листі тощо), виявляються сольові частинки і в повітрі (відчувається солонуватий присмак на губах при сильному вітрі з моря); 4) *продукти вулканічних вивержень* – тверді частинки і гази потрапляють на значні висоти в результаті сильних струменів повітря, які утворюються при виверженні, багато газів (HCl, SO₂) досить легко вступають в реакції з ядрами конденсації в атмосфері або адсорбуються на їх поверхні; 5) *господарська діяльність людини*.

Таблиця 7.2. Концентрація ядер конденсації в атмосфері (радіус менший за 2×10^{-5} см) залежно від характеру місцевості (за Х. Ландсбергом)

Район	Концентрація в 1 дм ³		
	середня	максимальна	мінімальна
Промислове місто	147 000	379 000	49 000
Місто	34 300	114 000	5900
Сільська місцевість	9500	66 500	1050
Гори (висота, м)			
500–1000	6000	36 000	1390
1000–2000	2130	9830	450
понад 2000	9500	5300	160
Суходіл (берег моря)	9500	33 400	1560
Острови	9200	43 600	460
Океан	940	4680	840

Зменшується кількість частинок хімічних компонентів в атмосфері під дією лише двох процесів: захоплювання аерозолів і газів атмосферними опадами всіх видів (дощ, сніг, роса, іній, град) – вологе осадження; осадження аерозолів на поверхню в результаті гравітаційної седиментації – сухе осадження. Дослідження свідчать про закономірне зростання концентрації солей у хмарах зі зменшенням висоти. Основна частина хімічного складу атмосферних опадів формується в найнижчій частині тропосфери – нижче хмар і в приземному шарі. Краплі дощу чи снігу при паданні з хмар захоплюють (вимивають) з повітря значну кількість

мінеральних речовин, що є наслідком високорозвинутої поверхні крапель. Можна підрахувати, що крапля дощу діаметром 2 мм, падаючи з висоти 1 км, омиває на своєму шляху 12,4 дм³ повітря. Сумарна поверхня крапель такого ж розміру при подрібненні 1 дм³ дощової води дорівнюватиме 3 м², а омивати ці краплі будуть повітря об'ємом 3 млн дм³. Для усунення з опадів найкрупніших частинок, які перебувають нижче хмар, треба значно більше дощової води, ніж для дрібніших. Велике значення мають умови періоду, що був перед випадінням атмосферних опадів. Повітря, яке довго не промивалося опадами, характеризується вищою концентрацією мінеральних частинок порівняно з опадами, які випали одразу за першим дощем [11].

7.2. Хімічний склад атмосферних опадів

Хімічний склад атмосферних опадів, незважаючи на нестабільність, загалом відображає характерні риси даної місцевості і тип її ландшафту.

Мінералізація атмосферних опадів зазвичай нижча, ніж мінералізація поверхневих і підземних вод. Від поверхневих і підземних вод атмосферні опади відрізняються не лише мінералізацією, а й характером домінуючих йонів та вмістом органічної речовини. Вони відносно збагачені іонами SO₄²⁻ і частіше, ніж інші води, характеризуються співвідношенням SO₄²⁻ > HCO₃⁻ > Cl⁻. Великого питомого значення в атмосферних опадах набувають компоненти біогенного походження K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, концентрація яких іноді досягає 20–25 % кількості еквівалентів. Із врахуванням зональності атмосферних опадів розрізняють шість основних груп, в яких переважають наступні йони: 1) Cl⁻ і Na⁺; 2) SO₄²⁻ і Na⁺; 3) SO₄²⁻ і Ca²⁺; 4) SO₄²⁻, HCO₃⁻ і Ca²⁺; 5) HCO₃⁻ і Ca²⁺; 6) HCO₃⁻ і Na⁺.

Показник рН атмосферних опадів завжди нижчий, ніж 7,0, найчастіше він має значення в межах 5–6, а іноді спостерігаються і нижчі значення – до 4,6 («кислі дощі»).

7.3. Вміст мінеральних речовин в атмосферних опадах України

Середня мінералізація атмосферних опадів у північних районах України складає близько 20 мг/дм³, збільшуючись у напрямку півдня в степовій зоні до 80 мг/дм³, а в приморських районах може перевищувати 100 мг/дм³ (рис. 7.1).

Щодо головних йонів, то атмосферні опади над територією України характеризуються переважанням у них сульфатного аніона та магнієвого катіона (табл. 7.3). В розподілі середніх (найімовірніших) концентрацій в опадах сульфатного йона відзначається певна закономірність – нижчі значення відповідають зоні мішаних лісів (9,2–9,5 мг/дм³), а вищі (12–12,9 мг/дм³) – лісостеповій та степовій. Найбільші концентрації SO₄²⁻ трапляються в степовій зоні (Євпаторія) – 22,1 мг/дм³. В атмосферних опадах Києва також спостерігається підвищений вміст SO₄²⁻ (14,4 мг/дм³), що може бути пов'язане з впливом антропогенних чинників. Розрахункові значення коливання концентрацій SO₄²⁻ становлять: для мішаних лісів – 1,8–24 мг/дм³, лісостепової зони – 3–31,0 мг/дм³ та степової – 4–54 мг/дм³. У цілому середні мінімальні концентрації SO₄²⁻ на території України відрізняються від максимальних в три рази.

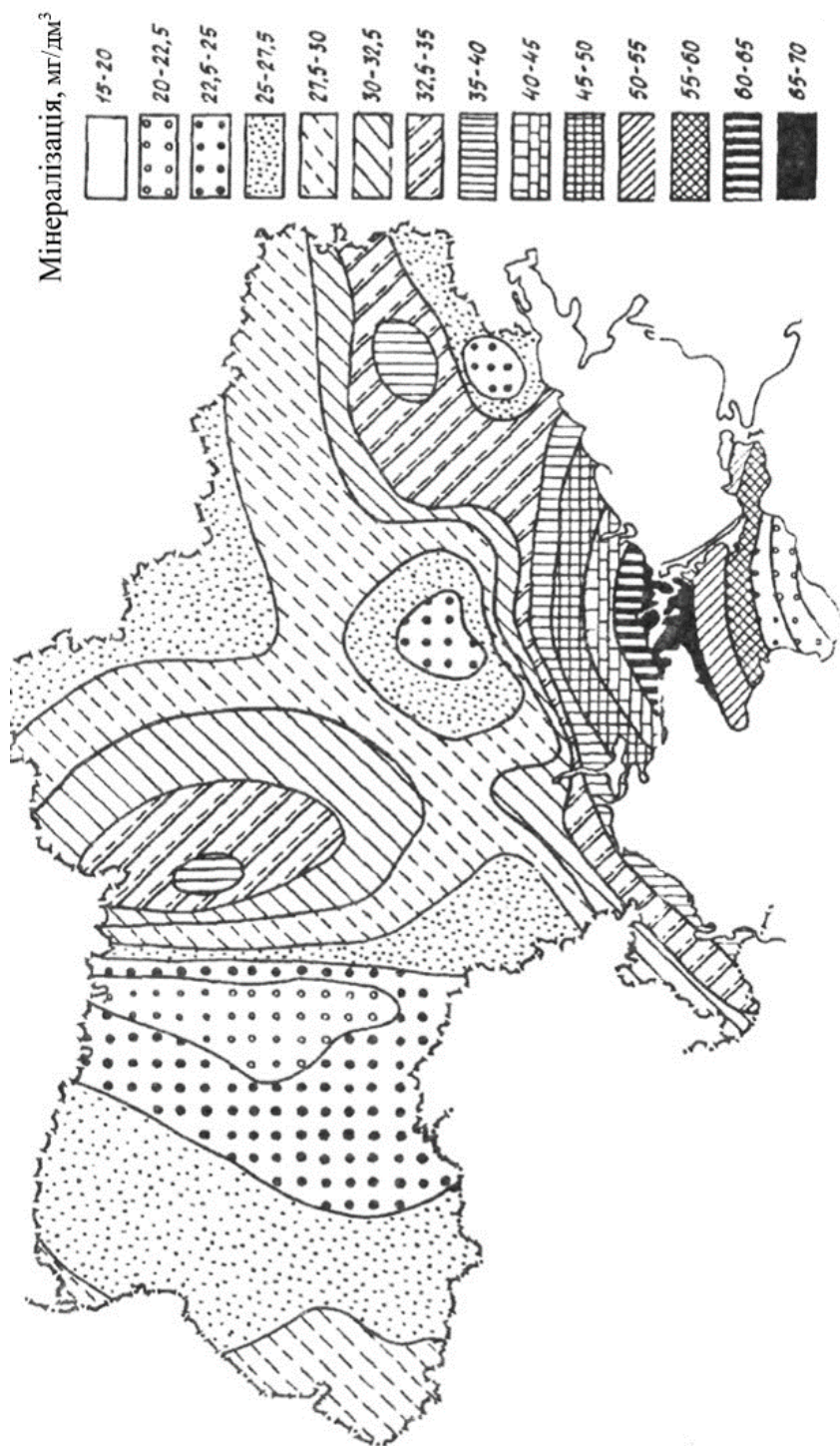


Рис. 7.1. Середньорічна мінералізація атмосферних опадів над територією України

Другим після сульфатного йона серед аніонів за абсолютним вмістом є гідрокарбонатний йон, концентрації якого коливаються від 1,7 мг/дм³ (Лошкарівка) до 46 мг/дм³ (Євпаторія). В розподілі HCO₃⁻ по території країни чітких закономірностей не спостерігається.

Стосовно йона хлору, то відзначається деяке збільшення середніх його значень від 1,8–2 мг/дм³ – на Поліссі до 2,1–3 мг/дм³ на іншій території, більш значне – для Одеси (6 мг/дм³) та Євпаторії (24,4 мг/дм³).

Основні катіони за вмістом в атмосферних опадах можна розмістити наступним чином: Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺, NH₄⁺, K⁺. Визначальними в хімічному типі атмосферних опадів є Ca²⁺ Mg²⁺.

Таблиця 7.3. Середній вміст хімічних компонентів у атмосферних опадах України, мг/дм³ [12]

Пункт	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Σ _i
<i>Зона мішаних лісів</i>									
Станція Тетерів, Київська область	1,8	9,2	2,7	0,75	1,3	1,6	1,3	0,8	20,6
<i>Лісостепова зона</i>									
м. Київ	1,4	14,4	11,3	0,6	1,6	0,4	5,9	0,7	26,3
м. Кобеляки, Полтавська область	2,5	12,9	4,0	0,8	1,9	1,8	2,5	0,8	27,2
<i>Карпатська гірська країна</i>									
м. Берегове, Закарпатська область	2,5	13,6	4,2	0,9	1,6	2,0	2,2	1,3	28,3
<i>Степова зона</i>									
м. Бобринець, Кіровоградська область	2,1	10,2	9,2	0,7	1,5	1,9	2,2	1,0	28,9
с. Лошкарівка, Дніпропетровська область	2,3	12,0	1,7	0,7	1,1	1,4	2,4	1,5	22,9
м. Волноваха, Донецька область	3,0	11,0	2,9	0,6	1,5	1,4	2,4	1,3	24,0
м. Одеса	6,0	18,2	6,0	1,0	2,6	2,1	3,4	0,8	35,1
Асканія-Нова	8,6	9,5	38,1	1,5	13,3	2,1	9,4	–	82,4
м. Євпаторія	24,4	22,1	46,0	–	9,1	4,1	23,0	–	128
<i>Кримська гірська країна</i>									
Нікітський ботанічний сад	2,7	7,0	35	0,6	1,5	1,6	2,1	–	18,5

7.4. Надходження мінеральних речовин з атмосферними опадами

Географічний розподіл надходження мінеральних речовин на одиницю площі відрізняється від розподілу концентрацій цих речовин в опадах, оскільки залежить від суми атмосферних опадів. Найбільша кількість на земну поверхню потрапляє з опадами сірки (0,5–0,6 т/км² у північних районах України, 1,6–2,6 т/км² – у південних). Дещо менше надходить з опадами кальцію (0,3–1,3 т/км²). І ще менше – азоту (0,2–0,4 т/км²). Ці величини також зростають з півночі на південь.

Інший розподіл характерний для хлору. Максимальна кількість (понад 1 т/км²) випадає на узбережжі Чорного моря, що пояснюється виносом хлору з морської води в повітря. Величини річних надходжень окремих йонів в межах фізико-географічних зон України (табл. 7.4) засвідчують, що в цілому на території країни щорічно випадає з атмосферними опадами 7,3 млн т розчинених мінеральних речовин, зокрема в зоні мішаних лісів – 1,22 млн т, в зоні лісостепу – 3,03 млн т, в зоні степу – 2,0 млн т, в Гірських Карпатах – 0,62 млн т, в Кримській гірській країні – 0,12 млн т [12].

Таблиця 7.4. Величини річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України (в чисельнику – тис. т, у знаменнику – т/км²) [12]

Природний регіон	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _i
Полісся	<u>80,8</u> 0,8	<u>92,9</u> 0,9	<u>129</u> 1,4	<u>238</u> 2,7	<u>562</u> 6,1	<u>113</u> 1,2	<u>1216</u> 13,1
Лісостеп	<u>231</u> 1,1	<u>195</u> 0,8	<u>265</u> 1,2	<u>659</u> 2,9	<u>1385</u> 6,1	<u>292</u> 1,1	<u>3097</u> 13,2
Степ	<u>173</u> 0,9	<u>136</u> 0,6	<u>177</u> 0,9	<u>329</u> 1,6	<u>933</u> 4,3	<u>247</u> 1,2	<u>1995</u> 9,5
Передкарпаття	<u>22,0</u> 1,5	<u>20,1</u> 1,5	<u>25,0</u> 1,8	<u>43,1</u> 2,9	<u>136,0</u> 9,7	<u>25,0</u> 1,6	<u>271</u> 19,0
Гірські вулканічні Карпати	<u>50,8</u> 2,4	<u>46,2</u> 2,2	<u>57,5</u> 2,8	<u>98,8</u> 4,7	<u>313</u> 15,0	<u>57,5</u> 2,8	<u>624</u> 29,9
Закарпатська рівнина	<u>4,5</u> 1,7	<u>4,1</u> 1,6	<u>5,1</u> 1,9	<u>8,8</u> 3,3	<u>27,7</u> 10,6	<u>5,1</u> 1,9	<u>55,3</u> 21,1
Кримська гірська країна	<u>12,7</u> 1,5	<u>8,6</u> 1,1	<u>11,2</u> 1,3	<u>34,1</u> 4,1	<u>35,6</u> 4,2	<u>13,7</u> 1,6	<u>116</u> 13,8
Україна в цілому	<u>578</u> 0,9	<u>503</u> 0,8	<u>670</u> 1,1	<u>1411</u> 2,4	<u>3392</u> 5,6	<u>753</u> 1,3	<u>7303</u> 12,1

Модуль надходження розчинених мінеральних речовин (кількість надходження розчинених мінеральних речовин у розрахунку на 1 км²) становить 12,1 т/км², зокрема в Криму, на Поліссі і в лісостеповій зоні – понад 13 т/км² в кожному регіоні, в степовій зоні – 9,5 т/км², в Передкарпатті – 19,0 т/км², в Гірських Карпатах – 29,9 т/км², в Закарпатті – 21,1 т/км² (рис. 7.2). За величинами надходження з атмосферними опадами головні йони мають співвідношення: аніони – SO₄²⁻ > HCO₃⁻ > Cl⁻, катіони – Na⁺ + K⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺.

Завдання для самостійної роботи:

1. Проаналізувати, використовуючи дані картосхем і таблиць теоретичних відомостей та додаткової літератури, кліматичних карт атласу Волинської області (С. 11), концентрацію хімічних компонентів в атмосферних опадах Волинської області та величини річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на її територію.

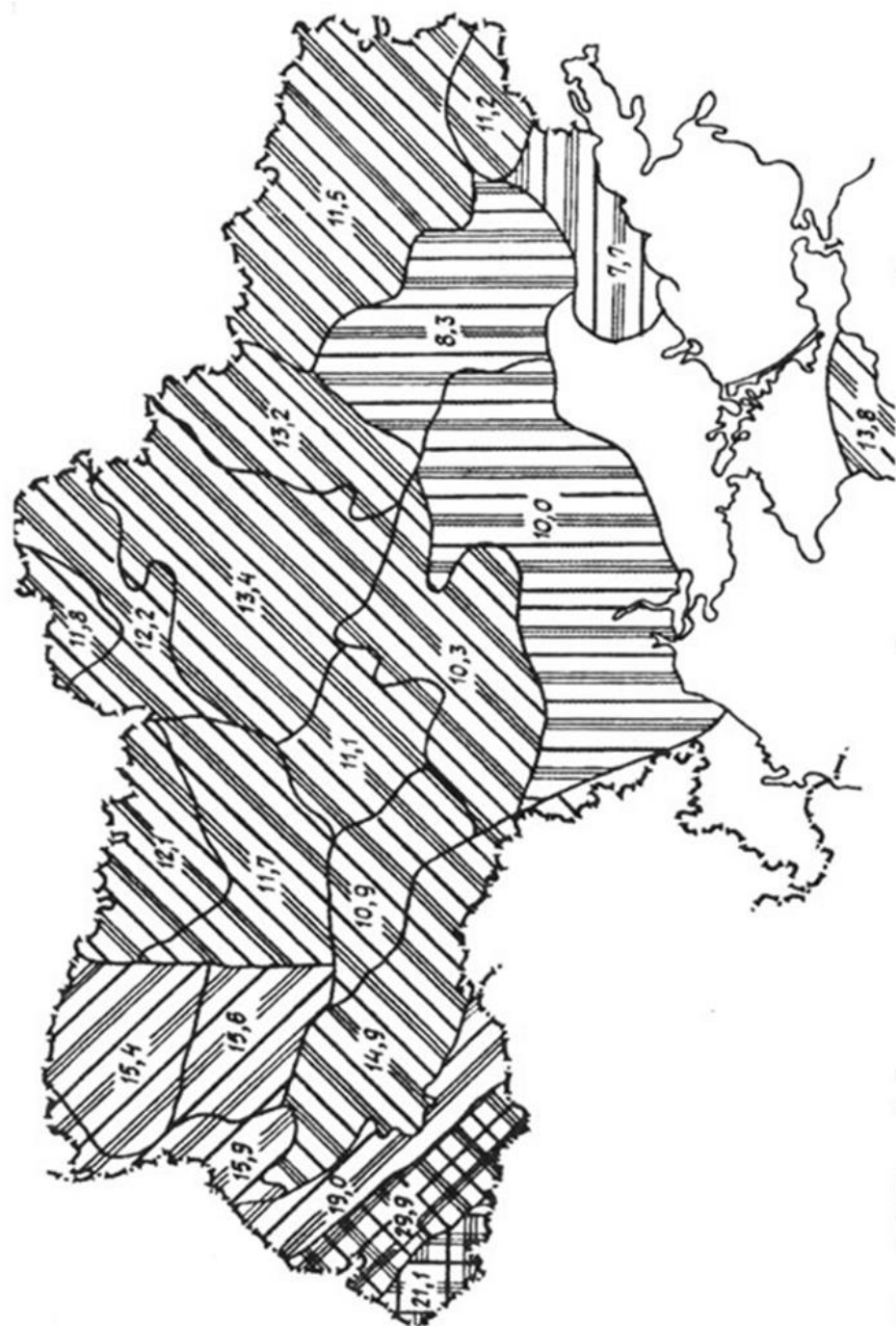


Рис. 7.2. Модулі річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України (у центрі полів - середні значення модулів, т/км²)

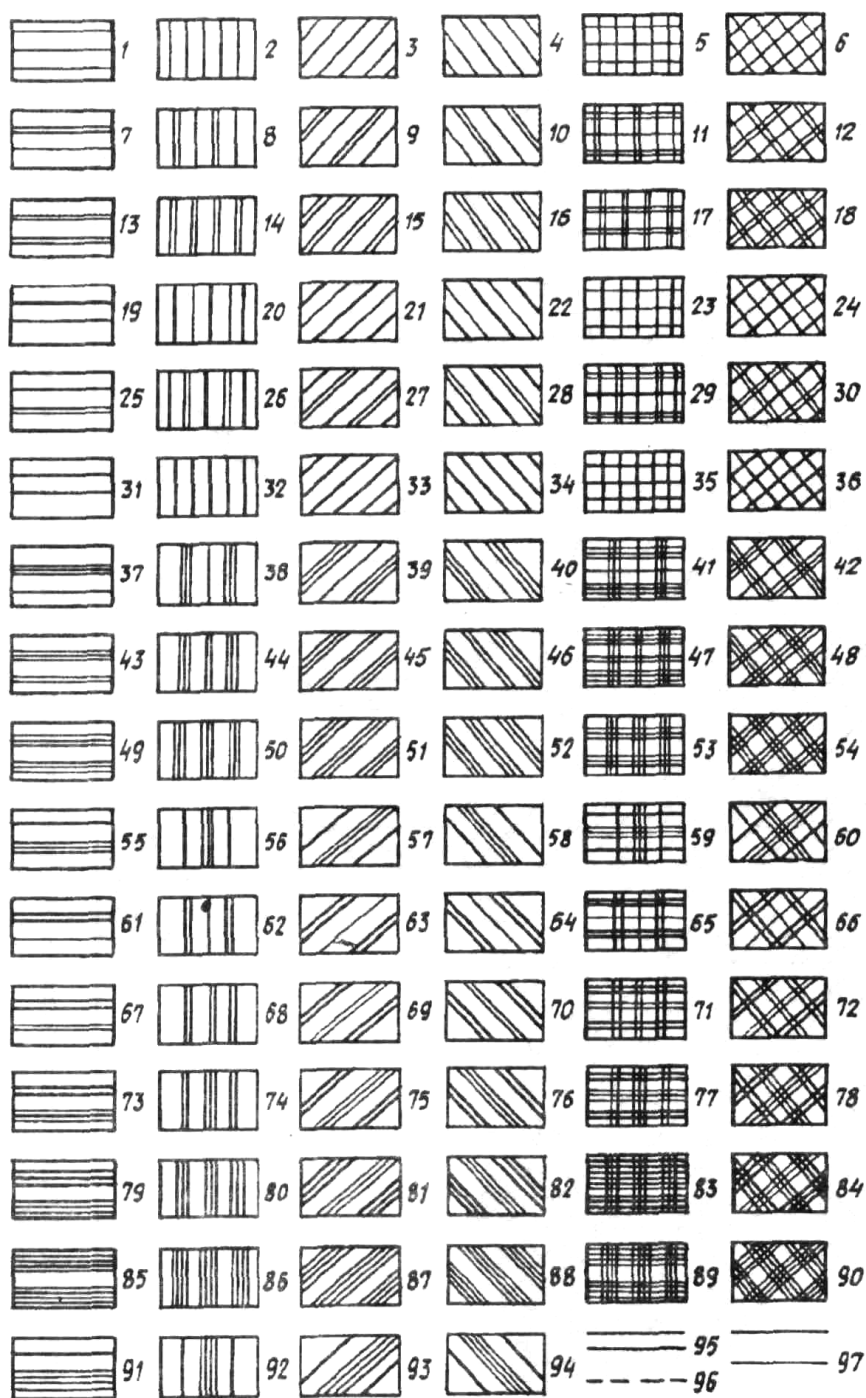


Рис. 7.3. Умовні позначення до гідрохімічних картосхем

Пояснення до рис. 7.3. Гідрохімічні типи вод: 1 – гідрокарбонатні кальцієві; 2 – гідрокарбонатні кальцієво-магнієві; 3 – гідрокарбонатні кальцієво-натрієво-магнієві; 4 – гідрокарбонатні кальцієво-натрієві; 5 – гідрокарбонатні натрієво-кальцієві; 6 – гідрокарбонатно-сульфатні кальцієві; 7 – гідрокарбонатно-сульфатні кальцієво-магнієві; 8 – гідрокарбонатно-сульфатні кальцієво-магнієво-натрієві; 9 – гідрокарбонатно-сульфатні кальцієво-натрієві; 10 – гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридні кальцієві; 11 – гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатно-кальцієві; 12 – гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатні натрієво-кальцієві; 13 – гідрокарбонатно-хлоридні кальцієво-натрієві; 14 – гідрокарбонатно-хлоридні натрієво-кальцієві; 15 – сульфатно-гідрокарбонатні кальцієво-магнієво-натрієві; 16 – сульфатно-гідрокарбонатні магнієво-натрієві; 17 – сульфатно-гідрокарбонатні натрієво-кальцієві; 18 – сульфатно-гідрокарбонатні кальцієво-натрієві; 19 – сульфатно-гідрокарбонатні натрієво-магнієві; 20 – сульфатні магнієво-кальцієві; 21 – сульфатні магнієві; 22 – сульфатні кальцієво-магнієво-натрієві; 23 – сульфатні кальцієво-натрієві; 24 – сульфатні магнієво-натрієві; 25 – сульфатні натрієво-кальцієво-магнієві; 26 – сульфатні натрієво-магнієво-кальцієві; 27 – сульфатні натрієво-кальцієві; 28 – сульфатні натрієво-магнієві; 29 – сульфатні натрієві; 30 – сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатні натрієво-магнієво-кальцієві; 31 – сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатні натрієво-кальцієві; 32 – сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатні натрієво-магнієві; 33 – сульфатно-хлоридні кальцієво-магнієві; 34 – сульфатно-хлоридні магнієво-кальцієві; 35 – сульфатно-хлоридні кальцієво-магнієво-натрієві; 36 – сульфатно-хлоридні кальцієво-натрієво-магнієві; 37 – сульфатно-хлоридні магнієво-натрієві; 38 – сульфатно-хлоридні натрієво-кальцієво-магнієві; 39 – сульфатно-хлоридні натрієво-магнієво-кальцієві; 40 – сульфатно-хлоридні натрієво-магнієві; 41 – хлоридно-гідрокарбонатні кальцієво-натрієві; 42 – хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатні кальцієві; 43 – хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатні натрієво-кальцієві; 44 – хлоридно-сульфатні кальцієво-натрієво-магнієві; 45 – хлоридно-сульфатні натрієво-кальцієві; 46 – хлоридно-сульфатні натрієво-магнієві; 47 – хлоридно-сульфатні натрієві; 48 – хлоридні магнієві; 49 – хлоридні натрієво-магнієві; 50 – хлоридні натрієві.

Показники річного йонного стоку і модулі надходження йонів з атмосферними опадами, т/км²: 51 – менше 1; 52 – 1–2; 53 – 2–4; 54 – 4–6; 55 – 6–8; 56 – 8–10; 57 – 10–15; 58 – 15–20; 59 – 20–25; 60 – 25–30; 61 – 30–35; 62 – 35–40; 63 – 40–45; 64 – 45–50; 65 – 50–55; 66 – 55–60; 67 – 60–65; 68 – 65–70; 69 – 70–75; 70 – 75–80; 71 – 80–85; 72 – 85–90; 73 – 90–100; 74 – понад 100.

Концентрації у водах хімічних інгредієнтів, мг/дм³: 75 – менше 10; 76 – 10–20; 77 – 20–30; 78 – 30–40; 79 – 40–50; 80 – 50–60; 81 – 60–70; 82 – 70–80; 83 – 80–90; 84 – 90–100; 85 – 100–200; 86 – 200–300; 87 – 300–500; 88 – 500–700; 89 – 700–900; 90 – 900–1100; 91 – 1100–1300; 92 – 1300–1500; 93 – 1500–1700; 94 – 1700–1900.

Інші позначення: 95 – межі фізико-географічних одиниць; 96 – межі геолого-структурних одиниць; 97 – межі однорідних гідрохімічних полів.

Контрольні питання

1. Пояснити зміст понять «гетерогенна система», «аерозоль».
2. Які чинники впливають на концентрацію хімічних речовин, що містяться в атмосферних опадах?
3. Назвати основні джерела надходження мінеральних і органічних частинок в атмосферу.
4. Які процеси сприяють зменшенню кількості частинок хімічних компонентів в атмосфері?
5. Проаналізувати зміну середньої мінералізації атмосферних опадів над територією України у напрямку з півночі на південь, зазначити причини такого розподілу.
6. Назвати йони, що переважають в атмосферних опадах над територією України.
7. Чому географічний розподіл надходження мінеральних речовин на одиницю площі відрізняється від розподілу концентрацій цих речовин в опадах?
8. Найбільша кількість яких хімічних елементів потрапляє на земну поверхню із атмосферними опадами?
9. Пояснити, що таке модуль надходження розчинених мінеральних речовин?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- Волинська область. Географічний атлас. К.: Мапа, 2009. 20 с.
- Горев Л. М., Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Гідрохімія України : підручник. К.: Вища школа, 1995. 307 с.
- Комплексний атлас України. К.: ДНВП «Картографія», 2005. 96 с.
- Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Загальна гідрохімія : підручник. К. Либідь, 1997. 384 с.
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії : підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

ТЕМА: ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ РІЧКОВИХ ВОД

Мета: з'ясувати основні закономірності формування хімічного складу річкових вод, проаналізувати його залежність від фізико-географічних умов.

Основні терміни і поняття: річка, басейн річки, головні йони, мінералізація води, прісна вода річок, гідрохімічний режим, гідрологічний режим.

Аудиторні завдання

1. Використовуючи теоретичний матеріал, наукові публікації, проаналізувати письмово умови формування хімічного складу вод на водозборі річки, закономірності формування хімічного складу води залежно від взаємодії з підстильною поверхнею, з ґрунтовими водами тощо.

2. Використовуючи рис. 8.2 «Середньорічний хімічний склад річкових вод України», рис. 7.3 «Умовні позначення до гідрохімічних картосхем» (із практичної роботи № 7 – стор. 86), табл. 8.4 «Середньорічні концентрації головних йонів і мінералізація води річок України» проаналізувати особливості хімічного складу річкових вод у різних регіонах України. Відповідь оформити у вигляді табл. 8.1.

Таблиця 8.1. Для оформлення відповіді. Хімічний склад річкових вод у різних регіонах України

Показник	Зона мішаних лісів	Зона широколистяних лісів	Лісостепова зона	Степова зона	Карпатська гірська країна	Кримська гірська країна
Які типи вод поширені						
Величина мінералізації, мг/дм ³						
Середній вміст аніонів, мг/дм ³						
Середній вміст катіонів, мг/дм ³						

3. Використовуючи наукові публікації, проаналізувати письмово хімічний склад води річки (варіанти: Західний Буг, Прип'ять, Стир, Стохід, Турія, Вижівка, Луга, Гапа або ваш варіант) за планом: умови формування хімічного складу води річки (географічне положення басейну, рельєф, кліматичні умови, ґрунти, рослинний покрив, антропогенний вплив); хімічний склад води річки.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 8

Зміст

- 8.1. Хімічний склад річок світу. С. – 90.
- 8.2. Гідрографічне районування території України. – С. 91.
- 8.3. Гідрохімія річок України. – С. 92.
- 8.4. Гідрохімічний режим річок. – С. 94.

Річки є найрухомішою частиною гідросфери, коли взаємодія води з породами трапляється в умовах найбільш вільного обміну з атмосферою порівняно з іншими водними об'єктами. До основних особливостей річок, від яких залежать хімічний склад річкової води та її гідрохімічний режим, належать: 1) швидка зміна води в руслі, в результаті чого вона взаємодіє з породами протягом обмеженого часу і випаровується незначно; 2) формування складу води в поверхневих шарах земної кори; 3) значна залежність водного режиму від кліматичних і погодних умов; 4) добра взаємодія води з атмосферою; 5) інтенсивний вплив на воду рослинних і тваринних організмів.

8.1. Хімічний склад води річок світу

Річкові води відрізняються малою порівняно з іншими водними об'єктами мінералізацією води (табл. 8.2), швидкою мінливістю складу під дією гідрометеорологічних чинників і постійною присутністю у воді газів атмосферного походження.

Таблиця 8.2. Хімічний склад води деяких річок світу, мг/дм³

Річка – пункт	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Σ _i
Маккензі – форт Сімпсон	132,0	28,0	0,7	35,5	8,5	7,3	212,0
Св. Лаврентія – Монреаль	133,7	16,5	3,6	30,6	9,5	7,2	200,0
Колумбія – Каскад-локс	67,9	12,5	2,6	16,5	4,1	9,3	112,9
Юкон – Ігл	91,9	10,5	0,4	21,8	4,6	6,0	135,2
Міссісіпі – Новий Орлеан	118,0	25,6	10,3	34,1	8,8	13,8	210,6
Міссурі – гирло	180,3	117,2	13,5	52,6	18,2	38,0	419,8
Огайо – Південний. Хайтс	124,0	5,0	14,0	29,0	8,3	10,0	190,3
Арканзас – Дарданелли	104,0	53,0	159	44,0	9,6	67,7	277,3
Ріо-Гранде – Лагеро	185,5	38,0	171	108,6	24,0	123,5	650,9
Амазонка – Сбідос	18,1	0,8	2,6	5,4	0,5	3,3	30,3
Парана – гирло	33,9	9,8	15,5	7,0	2,7	18,6	90,6
Ріо-Негро – Мерседес	105,9	16,2	5,9	23,5	2,6	13,5	166,7
Колорадо – Аустін	108,4	199,0	159	105,8	9,5	102,7	684,9
Ніл - Каїр	84,6	46,7	3,4	15,8	8,8	11,8	119,1
Волга - Чебоксари	137,2	66,6	20,5	50,5	13,1	39,0	328
Темза – Барнс	214,0	39,1	12,2	75,9	4,8	12,3	358,3
Рейн – Кельн	181,4	24,6	8,0	50,3	11,7	5,2	281,2
Ельба – Тешин	107,9	22,0	8,7	31,0	5,4	13,7	188,7
Дунай – Нааль	236,0	15,4	2,6	58,2	13,5	5,3	331,0
Кларельф (Швеція)	20,0	1,9	0,6	3,0	0,1	3,1	28,7
Маханаді (Індія)	47,3	0,9	1,8	13,6	4,0	5,7	73,3
Серайо (Ява)	63,5	18,0	7,0	14,3	4,2	15,3	122,3
Дніпро - Київ	158,7	26,6	20,5	51,8	11,3	13,5	282

Крім зазначених чинників, формування складу води річок залежить і від процесів, які трапляються на водозбірній площі (умов взаємодії з підстильною поверхнею, умов формування ґрунтово-поверхневих або ґрунтових вод тощо [11].

У поверхневих водах виділяють наступні групи хімічних компонентів: головні йони, біогенні елементи, розчинені гази, органічні речовини, мікроелементи, забруднювальні речовини, радіоактивні елементи.

За мінералізацією води розрізняють чотири групи річок [11]:

- малої мінералізації – до 200 мг/дм³,
- середньої – 200–500 мг/дм³,
- підвищеної – 500–1000 мг/дм³,
- високої мінералізації – понад 1000 мг/дм³.

Іноді в межах першої групи виділяють річки з водою дуже малої мінералізації (до 100 мг/дм³). Більшість річок земної кулі мають малу і середню мінералізацію. Річкові води з малою і середньою мінералізацією є гідрокарбонатними кальцієвими, рідше – гідрокарбонатними магнієво-кальцієвими. Для них типовим є такий порядок розташування головних йонів $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. У річкових водах з підвищеною мінералізацією поряд із HCO_3^- домінуючими є SO_4^{2-} , з високою – SO_4^{2-} і Cl^- .

8.2. Гідрографічне районування території України

З метою управління водними ресурсами у 2016 р. було затверджено гідрографічне районування території України (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Картосхема гідрографічного районування України за районами річкових басейнів: Дніпра (1), Дністра (2), Дунаю (3), Південного Бугу (4), Дону (5), Вісли (6), річок Криму (7), Причорномор'я (8), Приазов'я (9)

Гідрографічне районування здійснено за районами річкових басейнів згідно з положеннями Водної рамкової директиви Європейського Союзу. На території країни виділено дев'ять районів річкових басейнів – Дніпра, Дністра, Дунаю, Південного Бугу, Дону, Вісли, а також річок Криму, Причорномор'я та Приазов'я. Райони річкових басейнів Дніпра, Дунаю, Дону та Вісли поділяють ще й на суббасейни (усього 13 суббасейнів).

8.3. Гідрохімія річок України

У табл. 8.3 наведено середньорічні значення мінералізації води великих річок, а в табл. 8.4 – середньорічні значення вмісту головних йонів та мінералізації води по гідропостах основних річкових басейнів України.

Таблиця 8.3. Морфометричні показники та мінералізація води великих річок України, мг/дм³

Назва річки	Площа басейну (тис. км ²)		Довжина (км)		Стік у гирлі (км ³)	Мінералізація води (г/дм ³)
	загальна	в Україні	загальна	в Україні		
Дунай	817,0	32,4	2960,0	174,0	210/123*	0,33
Дніпро	504,0	292,7	2201,0	1121,0	52,0	0,32
Дністер	72,1	52,7	1362,0	925,0	11,3	0,37
Південний Буг	63,7	63,7	806,0	806,0	3,0	0,63
Тиса	153,0	11,3	966,0	201,0	29,2	0,22
Прип'ять	121,0	69,1	761,0	290,0	13,8	0,30
Десна	88,9	33,8	1130,0	575,0	11,4	0,29
Сіверський Донець	98,9	54,5	1053,0	700,0	5,0	0,81

Примітка: * - стік Дунаю Кілійським рукавом.

Таблиця 8.4. Середньорічні концентрації головних йонів та мінералізація води (Σi) річок України, мг/дм³

Річка-пункт	НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Σi
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Басейн Дніпра</i>							
Турія – м. Ковель	264,8	39,5	22,5	84,9	10,8	18,3	441
Стохід – с. Малинівка	267,0	40,5	27,3	89,4	18,2	16,0	458
Стир – м. Луцьк	260,5	32,3	27,7	77,3	14,7	13,3	426
Горинь – с. Оженин	248,9	42,2	22,9	71,5	17,3	15,2	418
Случ – м. Сарни	181,2	26,4	20,4	55,0	10,2	14,9	308
Уж – смт Поліське	82,3	24,6	18,7	22,2	6,77	14,3	169
Тетерів – м. Житомир	231,2	45,3	47,9	65,5	17,2	34,4	442
Десна – м. Чернігів	205,9	24,0	17,9	58,9	10,9	13,2	331
Десна – с. Розльоти	181,0	17,7	12,6	64,8	12,1	9,0	297
Рось – К.-Шевченківський	299,2	27,7	24,8	64,4	19,7	22,6	458
Сула – м. Лубни	405,2	44,4	29,0	89,4	35,5	35,8	639

Продовження табл. 8.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Псел – с. Запсілля	336,3	89,5	40,0	80,4	28,5	34,3	609
Ворскла – с. Чернеччина	351,0	75,0	27,4	85,6	20,2	48,7	608
Оріль – с. Черноглазівка	320,7	625	369	198,9	103,6	250,8	1868
Самара – с. Кочережки	306,0	718,5	471,3	226	121,5	228,9	2072
Інгулець – м. Кривий Ріг	229,4	427,4	1486,9	198,6	115,4	1073,2	3531
Дніпро – м. Київ	158,7	26,6	20,5	51,8	11,3	13,5	282
<i>Басейн Дністра</i>							
Дністер – м. Самбір	180,8	46,0	29,3	56,4	19,0	17,0	349
Дністер – м. Галич	106,4	64,7	46,9	39,9	12,9	24,1	295
Дністер – м. Могилів - Подільський	203,8	64,9	47,1	65,1	17,0	27,6	426
Дністер – м. Бендери	233,0	96,7	54,3	74,5	24,1	51,7	534
Стрий – с. Новий Кропивник	145,8	29,2	12,1	40,9	10,9	10,4	249
Свіча – с. Зарічне	69,5	29,3	28,0	23,5	6,0	13,4	170
<i>Басейн Дунаю</i>							
Тиса – м. Рахів	112,4	21,8	12,0	34,2	7,9	8,8	197
Уж – с. Жорнава	106,8	24,2	9,8	34,7	7,6	8,8	192
Уж – м. Ужгород	95,1	27,0	15,7	30,5	8,1	8,5	185
Лімниця – с. Перевозець	76,4	36,6	19,6	28,3	7,4	11,2	180
Латориця – м. Мукачево	109,9	31,1	16,6	31,5	8,9	10,3	208
Студений – с. Н. Студений	156,1	25,7	13,1	43,4	10,7	11,1	260
Ріка – с. Міжгір'я	117,2	26,6	23,5	35,5	10,6	27,0	240
Ріка – м. Хуст	95,2	26,7	15,4	29,1	7,27	11,7	185
Теребля – с. Колочава	80,9	16,0	8,3	23,6	6,5	6,3	142
Прут – м. Яремче	106,7	30,2	8,2	30,7	6,9	8,8	192
Прут – м. Чернівці	184,0	44,2	34,0	56,1	10,3	25,0	354
Тересва – смт Дубове	79,3	17,5	12,7	23,)	9,3	8,8	151
Боржава – с. Шаланки	73,6	21,7	17,1	24,2	7,8	7,2	152
<i>Басейн Південного Бугу</i>							
Південний Буг – с. Сабарів	310,9	48,9	25,1	83,1	18,2	21,9	50.8
Півд. Буг – с. Олександрівка	298,3	47,1	43,0	71,7	23,5	35,7	519
Інгул – с. Новогорожене	310,6	192,1	126,1	117,6	35,6	104,1	886
<i>Басейн Дону (Сіверський Донець)</i>							
Сів. Донець – с. Огірцеве	379,4	107,1	43,0	106,1	24,2	53,8	714
Сів. Донець – с. Кружилівка	249,1	270,2	275,3	144,1	34,2	186,3	1159
<i>Басейн Вісли (Західного Бугу)</i>							
Західний Буг – м. Сокаль	294,7	67,8	55,1	92,3	15,9	38,5	564
<i>Річки Криму</i>							
Чорна – с. Чорноріченське	213,2	23,6	14,6	68,1	6,3	9,8	336

Закінчення табл. 8.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Кача – с. Баштанівка	228,9	75,0	16,9	73,3	18,5	18,1	431
Дерекойка – м. Ялта	235,3	50,7	21,9	70,6	15,2	20,3	414
Альма – вдсх Партизанське	239,1	50,5	9,3	63,8	13,2	14,6	391
Салгир – с. Дворіччя	239,3	535,4	520,4	215,0	107,1	266,5	1884
Бурульча – с. Міжгір'я	257,5	22,3	10,4	82,7	6,5	7,7	387
Су–Індолі – с. Тополівка	–	77,0	26,8	–	14,2	–	539
Таракташ – м. Судак	–	440,7	170,3	–	63,6	–	1349
<i>Річки Приазов'я</i>							
Молочна – м. Токмак	317,0	1234,0	319,1	325,7	152,3	309,0	2657
Обитчна – м. Приморськ	285,8	2122,8	681,4	500,9	224,2	265,8	4081
Кальчик – м. Маріуполь	206,1	1237,0	540,2	286,3	80,4	510,4	2860

В хімічному складі річкових вод рівнинної частини України спостерігається чітка гідрохімічна зональність з просуванням від західних і північно-західних до східних і південно-східних кордонів країни. В цьому ж напрямку збільшується і мінералізація річкових вод (рис. 8.2).

Гідрохімічна зональність спостерігається незалежно від напрямку течій річок і добре узгоджується з межами фізико-географічних зон. У зоні мішаних лісів поширені прісні води гідрокарбонатні кальцієві, в зоні широколистяних лісів – прісні гідрокарбонатні кальцієві, які у лісостеповій зоні (з просуванням на схід) поступово переходять у гідрокарбонатні кальцієво-магнієво-натрієві. На межі зі степовою зоною в їх складі переважають сульфати, а в степовій зоні – сульфатно-хлоридні води змішаного катіонного складу [12].

8.4. Гідрохімічний режим річок

Основним джерелом живлення річок є атмосферні опади та підземні води. Різке коливання ролі кожного з них протягом року спричинює суттєві зміни мінералізації та хімічного складу річкових вод. Особливо це залежить від погодних умов. Кількість атмосферних опадів та інтенсивність танення снігу впливає на характер живлення річки, що зумовлює рівень мінералізації і склад річкових вод. Тобто проявляється взаємозв'язок між гідрологічним та гідрохімічним режимом.

Снігове живлення створює малу мінералізацію води з перевагою у воді гідрокарбонатних йонів і кальцію. Це пояснюється тим, що ґрунт під сніговим покривом зазвичай промерзлий, і тому талі води не можуть збагачуватися солями, вимиваючи лише ті, які можна з поверхневого шару ґрунту.

Тому мінералізація води під час водопілля залежить від одночасності танення снігового покриву, його потужності та характеру погоди перед випадінням снігу. Остання обставина зумовлює ступінь промитості ґрунтів. Якщо осінь була сухою, то в результаті випаровування і вивітрювання поблизу поверхні накопичуються солі, а при дощовій осені, навпаки, ґрунти бідні на солі.

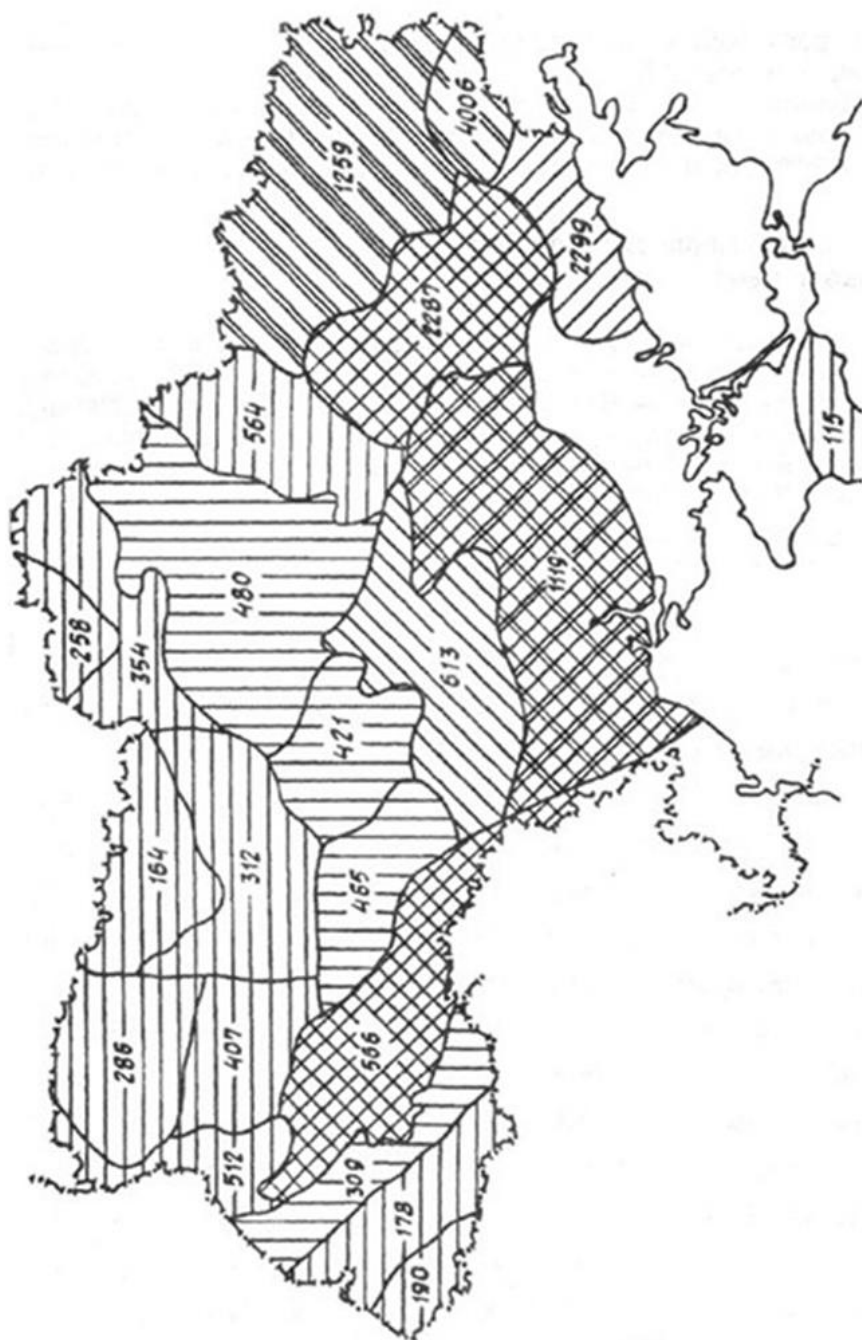


Рис. 8.2. Середньорічний хімічний склад річкових вод України (в центрі полів – середні значення мінералізації, мг/дм³)

Дощове живлення залежно від його інтенсивності й утворення поверхневого стоку теж зумовлює малу мінералізацію річкової води, втім вищу, ніж при сніговому живленні. При цьому виді поверхневого живлення, як і при сніговому, велике значення має характер погоди, який передував випадінню дощу.

Гірсько-снігове і льодовикове живлення також зумовлює малу мінералізацію води. Цей тип живлення характерний для високогірних областей Центральної Азії, які мають сильну зволоженість, і тому ґрунти тут добре промиті, збіднені легкорозчинними солями

.Підземні води зазвичай є основним джерелом живлення річок у межений період, коли створюються найсприятливіші умови для розвантаження водоносних горизонтів у русла річок. Підземні води мають підвищену мінералізацію, їм властивий різноманітний хімічний склад, зумовлений геолого-гідрогеологічними особливостями.

На заболочених територіях створюються особливі умови для поверхневого стоку.

Води, які витікають з боліт, дуже маломінералізовані і містять багато органічних речовин гумусового походження, внаслідок чого вода забарвлена у жовтий, а іноді й коричневий колір.

Коливання мінералізації і складу головних йонів у річкових водах має сезонний характер завдяки змінню протягом року ролі різних видів живлення. При зростанні поверхневого стоку мінералізація річкової води знижується, а при його зменшенні та збільшенні підземного живлення вона зростає. Тому, як правило, під час весняного водопілля і паводків мінералізація виявляється мінімальною, а в меженні періоди досягає найбільших значень (рис. 8.3).

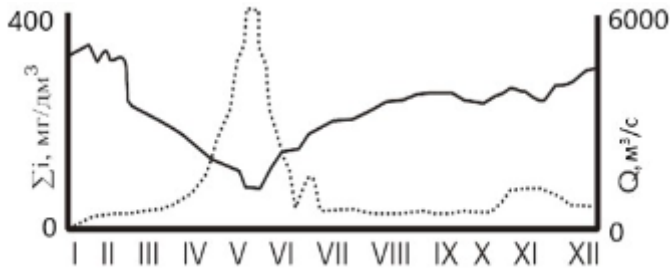


Рис. 8.3. Внутрішньорічні зміни мінералізації (суцільна крива) та витрат води (крива штриховкою) р. Дніпро – м. Київ, 1965 р.

Тісний зв'язок гідрохімічного режиму з водним, який виражається синхронним, але протилежним зміненням кривих Σ_i та Q , дає змогу визначити кількісний зв'язок між цими двома величинами, тобто представити суму йонів як функцію витрати води – Q . Графічно це зображується кривою, гілки якої наближаються до осей координат, тобто гіперболічного типу (рис. 8.4).

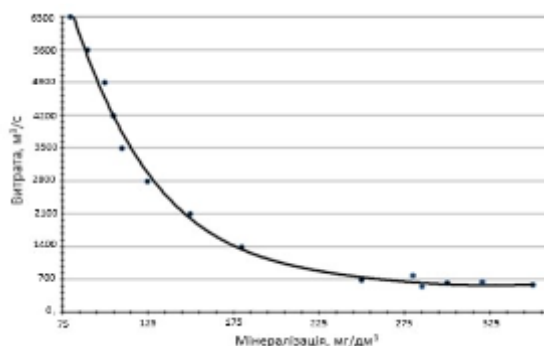


Рис. 8.4. Зв'язок мінералізації та витрат води р. Дніпро - м. Київ

Завдання для самостійної роботи

1. Використовуючи теоретичний матеріал з даної теми письмово проаналізувати до яких груп річок за мінералізацією води відносяться річки світу (табл. 8.2), річки України (табл. 8.4), річки Волинської області (табл. 8.4).

2. Знайти в репозитарії Волинського національного університету імені Лесі Українки та проаналізувати наукові публікації вчених університету, присвячені аналізу хімічного складу води річок Волинської області.

Контрольні питання

1. Назвати основні чинники, від яких залежить хімічний склад річкової води.

2. Які групи хімічних компонентів містяться у річковій воді?

3. Яка мінералізація води характерна для великих річок світу?

4. Які групи річок виділяються за мінералізацією?

5. Яка мінералізація води характерна для великих річок України?

6. Проаналізувати гідрохімічну зональність річок рівнинної частини України.

7. Який хімічний склад річкових вод у гірських регіонах України.

8. Які йони є найважливішою частиною хімічного складу річкових вод ?

9. Що означає поняття «гідрохімічний режим річки»?

10. Як пов'язані між собою гідрохімічний та гідрологічний режими річки?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• Вакульчук О.І., Тарасенко С.О., Жданюк Б.С. Еколого-гідрохімічний моніторинг якості води річки Гапа (Ягодинка). *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2016. № 13. С. 73–77.

• Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра: монографія / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась, В.В. Гребінь, О.В. Чунарьов, І.О. Шевчук / За ред. В.К. Хільчевського. К. Ніка-Центр, 2007. 184 с.

• Горєв Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України : підручник. К. : Вища школа, 1995. 307 с.

- Забокрицька М.Р., Осадчий В.І. Хільчевський В.К. Характеристика гідрохімічного режиму та стоку хімічних речовин річок басейну Західного Бугу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2004. 6. С. 159-172.
- Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. 3 (42). С. 64-76.
- Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К., Манченко А.П. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України: монографія. К.: Ніка-Центр, 2006. 184 с.
- Осадчий В.І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 31 травня 2017 р.). *Вісник НАН України*. 2017. № 8. С. 29–46.
- Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України: довідник. К.: Ніка-центр, 2008. 656 с.
- Поверхневі води Волині: монографія / Я.О. Мольчак, І. Я. Мисковець, А. М. Вох [та ін.] / за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк: Терен, 2019. 344 с.
- Хільчевський В.К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. 1(59). С. 17–27.
- Хільчевський В. К., Винарчук О. О., Гончар О. М., Забокрицька М. Р. та ін. Гідрохімія річок Лівобережного Лісостепу України: навч. посібник / За ред. В. К. Хільчевського та В. А. Сташука. К.: Ніка-Центр, 2014. 230 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 2019. 343 с.
- Цьось О. О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Турія. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2015. № 12. С. 69–74.
- Чернявка С. О., Джам О. А. Гідрохімічні особливості р. Західний Буг. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2016. № 13. С. 60–68.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

ТЕМА: ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ ОЗЕР ТА ВОДОСХОВИЩ

Мета: з'ясувати основні закономірності формування хімічного складу води озер., проаналізувати його залежність від фізико-географічних умов.

Основні терміни і поняття: озеро, прісні озера, солонуваті озера, соляні озера, мінералізація води, головні йони, розчинені гази, трофічний стан, водосховище, цвітіння води.

Аудиторні завдання

1. Проаналізувати лекційний матеріал, теоретичні відомості до практичного заняття (табл. 9.2–9.7), порівняти середні концентрації головних йонів, біогенних елементів, показників мінералізації води у прісних, солонуватих і соляних озерах України. Пояснити письмово причини відмінностей.

2. Використовуючи матеріал з практичної роботи № 5 (про класифікації...) визначити клас, групу і тип води озера Світязь за класифікацією О.О. Алекіна, записати формулою.

3. Використовуючи матеріал з практичної роботи № 5 (про класифікації...), а саме табл. 5.1 (стор. 68), визначити ступінь мінералізації води Шацьких озер за класифікацією В.К. Хільчевського..

4. Підготувати у зошитах для практичних робіт у вигляді короткої доповіді повідомлення про цвітіння води у водосховищах України, навести приклади, пояснити причини.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 9

Зміст

9.1. Проточність озер і мінералізація води. – С. 99.

9.2. Прісні озера. – С. 101.

9.3. Солонуваті і соляні озера. – С. 106.

9.4. Водосховища. – С. 111.

За своїм положенням у рельєфі та в системі материкового стоку озера є акумуляторами мінеральних і органічних речовин, які циркулюють у межах водозбору. Зміни на водозборах впливають на процеси накопичення речовин в озері. На відміну від відкритих систем, до яких належать річки, озера є напівзамкненими або повністю замкненими системами.

9.1. Проточність озер і мінералізація води

Проточність є основним чинником, який зумовлює мінералізацію і хімічний склад води озера. За цією ознакою озера поділяються на три групи: 1) *проточні* – в них здійснюється приплив і відтік води поверхневим і підземним шляхами; 2) *безстічні* – відзначаються лише припливом, відтоку немає або ж він незначний; 3) *проміжного типу* (тимчасово стічні) – відтік відбувається лише в окремі сезони року.

Перший тип озер характерний для зони надлишкового зволоження. Середня мінералізація води невелика і близька до мінералізації їх приток.

Другий тип формується в посушливих кліматичних умовах. Тривале перебування води в озері за наявності сильного випаровування сприяє підвищенню її мінералізації, що спричинює цілу низку процесів, які змінюють склад води. Провідна роль при цьому належить мінералоутворенню.

Третій тип озер, як і попередні, поширений в області недостатнього зволоження. В озері з періодичним стоком частина солей, які вносяться припливом, згодом вноситься. Втім безперервного їх накопичення у такому озері не відбувається, оскільки з підвищенням мінералізації води озера зростає і мінералізація стоку з нього; в результаті в системі «притоки → озеро → стік з озера» встановлюється певна рівновага, що визначає мінералізацію води озера, яка вища, ніж мінералізація води приток.

Проточні озера є прісними, тимчасово стічні – солонуватими, безстічні озера – соляними. Варто додати, що соляні озера як виняток можуть утворюватись і в районах достатнього зволоження, де їх поява зумовлена наявністю в надрах покладів солей.

За мінералізацією води виділяються озера: **прісні** (до 1 ‰), **солонуваті** (1–35 ‰), **соляні** (понад 35 ‰) – табл. 9.1.

Таблиця 9.1. Хімічний склад води деяких великих озер світу

Озеро (країна)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl+Br	Σ _i
<i>Прісні озера, мг/дм³</i>							
Байкал (РФ)	15,2	3,1	5,8	66,5	5,2	0,6	96,4
Ладозьке (РФ)	7,1	1,9	8,6	40,2	2,5	8,7	68,0
Севан (Вірменія)	39,0	56,0	92,8	399,3	19,9	64,0	671
Вікторія (Кенія, Уганда, Танзанія)	5,6	2,6	14,2	56,1	2,3	3,9	88
Мічиган (США)	26,2	8,26	4,74	58,3	7,1	2,72	107,32
Гурон (США)	24,1	7,03	4,43	51,1	6,23	2,61	95,5
Женевське (Швейцарія)	42,3	3,39	4,22	51,4	40,5	0,79	142,6
Балатон (Угорщина)	45,3	65,7	48,2	197	110	15,2	481,4
<i>Солонуваті і соляні озера, г/дм³</i>							
Балхаш (Казахстан), схід	25,7	164	694	492,7	893	574	2,8*
Іссик-Куль (Киргизстан)	0,121	0,278	1,544	0,318	2,102	1,596	5,96
Гокхама (Іран)	1,9	1,9	96,9	–	3,4	154,3	258,4
Мертве море поверхня	9,09	25,52	25,94	–	0,49	131,09	192,13
Мертве море, дно	17,26	43,4	18,7	–	0,52	181,99	261,87
Таменгікасі (Чилі)	0,03	1,73	108,6	6,2	26,5	113,9	286,96
Велике Солоне (США)	0,55	7,15	96,6	–	8,5	152,7	265,50

Примітка. * - в західній частині озера Балхаш мінералізація води – 0,74 г/дм³.

В Україні налічується близько 20 тис. озер, з них приблизно 7 тис. мають площу водної поверхні від 0,1 км² і більше. Розподілені вони по території нерівномірно. Велика група озер розташована на правому березі Західного Бугу, а також у межиріччі Західного Бугу і Прип'яті (Шацькі озера), багато озер у долинах Дунаю і Дністра – в плавнях. Уздовж узбережжя Чорного моря і в межиріччі Дунаю і Південного Бугу розташована велика група озер і лиманів, загальна площа яких перевищує 850 км². У межах Середнього і Нижнього Подніпров'я озера заплавного типу найчастіше трапляються на водозборах Десни і Прип'яті; озера цього типу є і в заплаві Сіверського Дінця. Наявні озера в Карпатах, а солонуваті – в Криму [12].

9.2. Прісні озера

Для прісних озер характерні загальні особливості, хімічного складу води. Як і для річкових, для вод прісних озер типовий такий порядок розподілу головних йонів: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. Проте, зі збільшенням мінералізації озерної води зростає кількість йонів в її складі і вказаний порядок порушується. При мінералізації до 500–1000 мг/дм³ в озерній воді переважають гідрокарбонатні йони, понад 1000 мг/дм³ (1 ‰) – найчастіше сульфатні, а при 3–5 ‰ – сульфатні та хлоридні. Серед катіонів озерних вод домінуюча роль кальцію зберігається лише до 1–2 ‰, при подальшому зростанні мінералізації переважають йони натрію. За хімічним складом більшість прісних озер є гідрокарбонатними кальцієвими.

Йонний склад води озера генетично пов'язаний з річками, які його живлять. Це особливо чітко виявляється на невеликих озерах. У великих озерах зі значними водозборами гідрохімічні особливості приток узагальнюються. Гідрохімічний режим озера зумовлюється групою чинників, з яких провідне значення мають розміри озера, його площа, глибина. Найважливіші компоненти хімічного складу (HCO_3^- і SO_4^{2-}) включаються в озері у біологічний кругообіг у результаті чого утворюються різні форми вуглецю та сірки, змінюється карбонатна і сульфатна рівновага [11].

9.2.1. Основні етапи біологічного кругообігу вуглецю та сірки.

Неорганічний вуглець повітряного і біохімічного походження у формі CO_2 розчиняється у воді озера. Завдяки процесу фотосинтезу неорганічний вуглець перетворюється в органічний. Після відмирання гідробіонтів їх залишки частково піддаються аеробному розпаду у верхніх шарах води з виділенням CO_2 і утворенням водного гумусу. Більша ж частина біогенних залишків осаджується на дні і тут в анаеробних умовах розпадається з виділенням CH_4 і CO_2 . Метан у верхніх шарах води окиснюється за участю мікроорганізмів до CO_2 , який знову включається у кругообіг, утворюючи слабку вугільну кислоту, що дисоціює на йони HCO_3^- і CO_3^{2-} .

Перетворення сірки має певну послідовність. Сульфати, які надходять в озеро, споживаються гідробіонтами. При цьому сірка йде на утворення білкової речовини. Відмерлі організми у донних мулових відкладах розкладаються з утворенням H_2S . Останній утворюється також в результаті реакції відновлення сульфатів сульфатредуючими бактеріями в анаеробних умовах. Частина сірководню залишається в мулах, а певна кількість його надходить у верхні шари води, де H_2S окиснюється за участю

бактерій спочатку до S, а потім до SO_4^{2-} , останній знову включається в кругообіг [11].

Іонний склад озерної води формується не лише під впливом приток, а й у результаті рухливої рівноваги між усіма прибутковими і видатковими складовими сольового балансу водойм, який виражається такими елементами:

$$S_{\text{пр}} + S_{\text{оп}} + S_{\text{гр}} = S_{\text{ст}} + S_{\text{еол}} + S_{\text{ф}} + S_{\text{ос}}, \quad (9.1)$$

де $S_{\text{пр}}$ – солі, привнесені притоками, $S_{\text{оп}}$ – солі, привнесені атмосферними опадами і пилом, $S_{\text{гр}}$ – солі, привнесені ґрунтовими водами, $S_{\text{ст}}$ – солі, винесені стоком, $S_{\text{еол}}$ – солі, винесені з водними бризками, $S_{\text{ф}}$ – солі, втрачені при фільтрації з озера, $S_{\text{ос}}$ – солі, які випали в осад (для прісних і солонуватих це CaCO_3 , MgCO_3 , сполуки кремнію і заліза). У прибутковій частині основне значення для прісних озер має надходження солей з притоками, у видатковій – винесення солей зі стоком річки, що витікає з озера.

У воді озер містяться гази переважно повітряного (O_2 , N_2 , CO_2) і біохімічного походження (H_2S , CH_4 , CO_2). Останні утворюються в результаті розкладання органічних залишків у придонних шарах озера. В озерах найважливішим елементом є розчинений кисень, вміст якого тісно пов'язаний з процесами утворення і деструкції органічної речовини, а його режим відображає динаміку водних мас і умови їх водообміну в озері. Споживання кисню спостерігається на всіх глибинах, а особливо інтенсивно – у донних відкладах. Тому загальною характерною рисою розподілу кисню у вертикальному перерізі є зменшення його відносного вмісту (процент насичення) з глибиною.

9.2.2. Трофічний стан озер. Розподіл озер за величиною і складом органічних і біогенних речовин поширений у лімнології, особливо при гідробіологічній характеристиці озера. Він зумовлений так званою *кормністю (трофністю)* живлення водяних організмів в озерах. У цьому випадку розглянуті гумініфіковані озера зі слабо розвинутими можливостями живлення водяних організмів належать до так званих *дистрофних озер*, з багатшим життям – до *евтрофних*, а озера з малою тропністю і негумініфікованою водою – до *оліготрофних*.

Ступінь трофічності залежить від розміру озера. Зменшення розміру за сприятиме евтрофікації озера (збагачення водойми біогенними елементами, що супроводжується знищенням продуктивності водойми) внаслідок кращого прогрівання і обміну води з муловими товщами, і навпаки, збільшення розміру – посиленню оліготрофності. До крупних оліготрофних озер належать такі великі озера, як Байкал, Онезьке, Ладозьке, Великі Американські озера. Забруднення озера стічними водами призводить до евтрофікації. В озері, як і в інших водоймах, безперервно протікають складні процеси утворення і руйнування (*деструкції*) органічної речовини:

$$\Phi + X + A + M - (D + C + O) = \pm \Delta. \quad (9.2)$$

У цьому схематичному рівнянні кожна складова балансу позначає:

1) надходження органічної речовини за рахунок Φ – фотосинтезу, X – хемосинтезу і засвоєння діоксиду вуглецю гетеротрофними організмами, A –

алохтонного надходження органічної речовини з притоками і ґрунтовими водами, М – з мулової товщі; 2) витрату органічної речовини за рахунок Д – деструкції, С – стоку з озера, О – осадження на дні.

9.2.3. Розчинені гази. В озерах містяться гази переважно повітряного (O_2 , N_2 , CO_2) і біохімічного походження (H_2S , CH_4 , CO_2). Останні утворюються в результаті розкладання органічних залишків у придонних шарах озера.

В озерах найважливішим елементом є розчинений кисень, вміст якого тісно пов'язаний з процесами утворення і деструкції органічної речовини, а режим відображає динаміку водних мас і умови їх водообміну в озері (рис. 9.1).

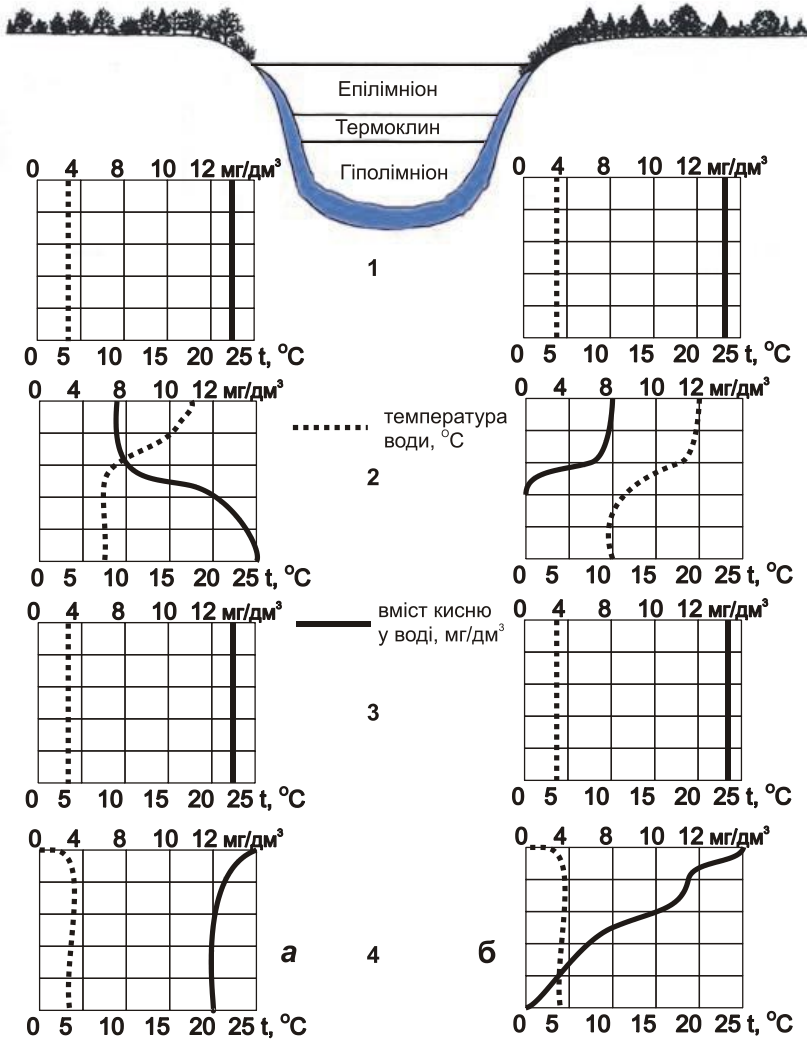


Рис. 9.1. Оптимальний розподіл температури і розчиненого кисню в оліготрофному (а) та евтрофному озерах (б) за Р. Вецелем: 1 – весняний водообмін; 2 – літня стратифікація; 3 – осінній водообмін; 4 - зимова стратифікація

Споживання кисню спостерігається на всіх глибинах, а особливо інтенсивно – у донних відкладах. Тому загальною характерною рисою розподілу кисню у вертикальному перерізі є зменшення його відносного вмісту (процент насичення) з глибиною. Відхилення від значення нормального вмісту залежить від низки умов: трофності озера, термічної стратифікації, морфології озера (особливо глибини), ступеня його проточності, ґрунтового живлення, потужності мулових відкладів і характеру процесів. Отже, газовий режим озер дуже різноманітний. Це добре ілюструється на прикладі двох характерних (граничних) випадків: великого, глибокого оліготрофного озера і невеликого, мілкого евтрофного озера.

Великі та глибокі озера, порівняно з мілкими, мають нижчі температури, набагато коротший період високих літніх температур. Ці особливості негативно впливають на інтенсивність біологічних процесів. Якщо до того ж озеро оліготрофне, то режим розчиненого кисню зумовлюється переважно фізичними чинниками – температурою і тиском. Тому в таких озерах взимку вміст кисню найбільший, а влітку – найменший. Зміни вмісту кисню з глибиною залежать від розподілу температури води (див. рис. 9.1).

У неглибоких озерах з розвинутим органічним життям насамперед спостерігається сезонний вплив біологічних процесів, значення розчинності газів відходить на друге місце, а температура стає лише чинником, який зумовлює переміщення водної маси озера. Втім у неглибоких озерах проходять і добові коливання. Добовий хід найбільш виражений у добре прогрітих евтрофних озерах, особливо влітку. Це явище спостерігають також у прибережних мілководних частинах великих і середніх озер.

9.2.4. Шацькі озера є типовими прісними озерами в Україні, які розташовані у межиріччі Західного Бугу і Прип'яті у широких заболочених низовинах. За деякими винятками це мілководні водойми з плоским дном і глибинами, які не перевищують 7 м. Найглибші озера – Світязь, Пулемецьке, Пісочне – мають у котловинах вузькі западини (глибини 20–50 м). Дно озер піщане, а в глибоких місцях – замулене. Вода крупних озер має високу прозорість (рис. 9.2)



Рис. 9.2. Озеро Пісочне (Шацькі озера, Волинська область) має високу прозорість води – 2–4 м (фото В.К. Хільчевського, 2020 р.)

Береги їхні переважно низькі, заболочені, порослі. Рівень води в озерах залежить від кількості атмосферних опадів і надходження талих вод, меншою мірою – від ґрунтового стоку. Значна кількість опадів у районі Шацьких озер сприяє доброму промиванню ґрунтів і відносному збідненню поверхневих вод, які живлять озера, на мінеральні сполуки. Реакція води Шацьких озер слаболужна (рН 7,7–7,9) – табл. 9.2.

За основними йонами вода озер гідрокарбонатно-кальцієва з мінералізацією в діапазоні від 115 мг/дм³ (Пісочне) до 303 мг/дм³ (Велике Чорне) – табл. 9.3. У воді озера Світязь мінералізація займає проміжне положення – 198,8 мг/дм³. Тобто, досліджувані води є «помірно прісними» за класифікацією В.К. Хільчевського [78]. Мінімальна мінералізація води свідчить про більшу роль атмосферного живлення в озерах, а максимальна – про збільшення ролі підземного живлення.

Таблиця 9.2. Середнє значення рН, а також концентрації кисню, мінеральних сполук азоту та заліза у воді деяких озер Шацької групи, мг/дм³ [93]

Озеро	рН	O ₂	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe ²⁺	Fe ³⁺
Світязь	7,9	10,5	0,1	0,01	1,7	0,0	0,3
Перемут	7,8	11,0	0,1	0,01	1,3	0,0	0,3
Пісочне	7,7	10,9	0,1	0,01	1,3	0,0	0,3

Таблиця 9.3. Середня концентрація основних йонів і мінералізація води озер Шацької групи, мг/дм³ [93]

Озеро	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Σ _i
Світязь	122	10	13	34	4	15	198
Пулемецьке	134	14	14	40	5	11	218
Луки	85	3	12	20	4	12	136
Люцимер	171	14	18	50	4	18	275
Острів'янське	116	10	14	36	2	12	190
Пісочне	61	9	11	20	3	11	115
Перемут	70	2	12	15	2	15	190
Кримно	140	22	18	40	4	22	246
Чорне Велике	159	13	46	58	2	25	303
Велике Піщанське	79	11	21	24	4	14	163

9.2.5. Придунайські заплавні озера. В нижній частині Дунаю в межах Одеської області розташовується значна група озер. Найбільшими серед них є озера Ялпуг, Кагул, Кугурлуй, Катлабух, Китай. Середні глибини в цих озерах становлять 1–7 м. На думку багатьох учених, нижня течія Дунаю в далекому минулому була суцільним лиманом, потім дно його поступово піднімалося й залишки лиману перетворилися в озера. Існує й інша точка зору, за якою ці озера утворилися в долинах гирл річок, які впадали в Дунай. Наноси Дунаю в нижній течії утворили пересипи – коси, які як греблі закрили вихід у Дунай річкам, а в долинах гирл цих річок виникли значні водойми.

У період весняного водопілля води Дунаю заповнюють озера, а в межінь вода з озер надходить у Дунай. Мінералізація придунайських заплавлених озер значною мірою зумовлена водообміном з Дунаєм. В озерах, розміщених нижче за течією ріки і менше зв'язаних з нею, мінералізація вища, ніж в озерах, розташованих вище за течією (табл. 9.4). Під час надходження дунайської води у Кагул, Кугурлуй, Ялпуг, Соф'ян і Катлабух мінералізація води досягає мінімальних величин (225–390 мг/дм³), склад води гідрокарбонатно-кальцієвий.

Таблиця 9.4. Середні концентрації головних іонів і значення мінералізації води придунайських озер, мг/дм³

Озеро	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Σ _i
Ялпуг	224,9	433,9	221,3	62,8	69,8	272,0	1316
Кугурлуй	188,5	351,2	155,3	46,1	39,5	230,8	1012
Катлабух	195,3	388,7	165,5	76,1	67,5	164,5	1056
Китай	150,3	445,7	209,6	65,5	77,0	227,3	1236
Соф'ян	348,6	426,2	252,4	77,7	100,9	215,2	1374
Кагул	191,4	95,0	59,5	46,8	23,4	53,6	460

У зимовий період мінералізація озерних вод збільшується до 0,5–1,5 г/дм³, а в озерах Ялпуг, Соф'ян і Катлабух змінюється склад води на сульфатно-натрієвий. В озері Китай, зв'язок якого з Дунаєм утруднений, мінералізація досягає 2,5 г/дм³, переважають сульфатні, хлоридні йони та йони натрію. У табл. 9.5 наведено дані про вміст біогенних компонентів у воді придунайських озер.

Таблиця 9.5. Середні концентрації біогенних компонентів у воді придунайських озер, мг/дм³

Озеро	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Fe	Si
Ялпуг	0,336	0,185	0,052	0,111	4,1
Кугурлуй	0,338	0,203	0,047	0,121	4,1
Катлабух	0,527	0,118	0,066	0,177	3,6
Китай	0,505	0,472	0,089	0,194	3,1
Соф'ян	0,850	0,070	0,066	0,115	4,2
Кагул	0,384	0,086	0,030	0,111	2,4

9.3. Солонуваті і соляні озера

Як відзначалося вище, межа мінералізації води між солонуватими (1–35 ‰) і соляними (понад 35 ‰) озерами відповідає концентрації солей в океанічній воді. *Соляними* називаються такі озера, вміст солей у водах яких дорівнює або більший вмісту солей в океанічній воді. Верхню межу вказати неможливо, оскільки вона залежить від ступеня розчинності солей, температури води та інших чинників. Трапляються озера, вода (розсоли) яких мають солоність 300 ‰ і більше.

Термін «соляні», а не «солоні» озера використовується тому, що у воді (розсоли) містяться різноманітні солі, а смак води може бути і гіркуватим.

солоним, і гірким. Соляні озера називають ще мінеральними, оскільки їх розсоли використовуються для лікувальних цілей.

9.3.1. Солонуваті озера, як і соляні, поширені в області недостатнього зволоження – сухих степах, напівпустелях і пустелях. Солонуваті озера поділяються на напівпроточні і безстічні. Хімічний склад озерної води суттєво відрізняється від складу води річок, які живлять озеро. У солонуватому озері вода піддається випаровувальному концентруванню, що призводить до змін у співвідношенні головних йонів і, відповідно, до змін її хімічного складу. В процесі концентрування солей у воді вони частково випадають в осад.

Великими солонуватими озерами, наприклад, є Балхаш з мінералізацією 1,5–5,1 ‰, Іссик-Куль (5,0–8,0 ‰), Аральське море (10,3 ‰). За домінуючими йонами вода озер є хлоридно-сульфатною чи сульфатно-хлоридною, а за катіонним складом повсюди магнієво-натрієвою.

Варто детальніше зупинитися на такому складному і оригінальному водному об'єкті, як озеро Балхаш (Казахстан). Як будь-яке безстічне озеро в пустелі, Балхаш мав би бути соляним, тому сучасна досить низька мінералізація його вод є, на перший погляд, парадоксальною.

Озеро Балхаш – це приклад добре вираженої неоднорідності йонного складу, яка формується під впливом чинників, серед яких провідне значення має клімат. Головне джерело водного живлення озера – р. Ілі впадає в його західну частину, яка містить прісну і слабосолонувату воду. Починаючи з гирла р. Ілі та далі на північний схід під дією випаровування мінералізація озерної води безперервно зростає і протягом 600 км підвищується у сім разів. Це зумовлюється збільшенням концентрації хлоридів і сульфатів, а відносний вміст гідрокарбонатів кальцію при цьому зменшується. Отже, в результаті перенасичення водного розчину $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ з нього випадають карбонати, ймовірно, у формі мінералу кальциту CaCO_3 .

9.3.2. Соляні озера (або мінеральні) мають вміст солей часто настільки близький до насичення, що подальше його зростання спричиняє кристалізацію, або так звану садку солей (рис. 9.3).

Озеро, вода якого досягла концентрації, достатньої для випадіння легкорозчинних солей, називається *самосадним*. При кристалізації виділяються насамперед найменш розчинні солі, причому, як правило кристалізується одночасно кілька солей у певних співвідношеннях. Вода озера, яка є насиченим розчином солей (при дуже високій концентрації), називається розсолом або ропою. Якщо озеро протягом року зберігає поверхневу ропу, воно називається *ропним*. Озеро, в якого поверхнева ропа зберігається лише протягом вологого періоду року, а влітку частково або повністю пересихає, оголюючи відклади, називається *сухим озером*.

Температурний режим мінеральних озер своєрідний, і ропи багатьох змінює температуру протягом року в межах від -20 до +20 °С, а в окремих випадках до +50 °С. Більшість мінеральних озер замерзає і при температурах від -15 до -20 °С і нижче.

Сольовий склад ропи у мінеральних озерах безперервно змінюється під впливом гідрометеорологічних умов. Змінення складу за тривалістю поділяють на постійні (метаморфізуючі), циклічні (при зміні метеорологічних умов щосезону) і періодичні (спричинені тимчасовими коливаннями клімату).



Рис. 9.3. Соляні відклади на березі Мертвого моря-озера

При циклічних змінах найменшої концентрації ропа досягає на початку весни, а максимальної – наприкінці літа. Восени ропа, розведена опадами, розчиняє значну частину солей, які випали за літо. Характерно, що при цьому ропа не досягає межі насичення, в той час як влітку при випадінні солей вона навіть стає перенасиченою.

Хоча мінеральний склад ропи складається з порівняно невеликої кількості головних іонів, у різних фізичних умовах можуть виділятися солі, які відрізняються між собою, по-перше, наявністю молекул кристалізаційної води, по-друге, утворенням подвійних і змішаних солей з кількома катіонами чи аніонами, найголовніші з них:

Галіт	NaCl	Гексагідрит	$\text{MgSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$
Гідрогаліт	$\text{NaCl} \times 2\text{H}_2\text{O}$	Епсоміт	$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$
Карналіт	$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	Астраханіт	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \times \text{MgSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$
Каїніт	$\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$	Гіпс	$\text{Ca}_2\text{SO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
Бішофіт	$\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	Моногідрат	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}$
Тахгідрит	$\text{CaCl}_2 \times 2\text{MgCl}_2 \times 12\text{H}_2\text{O}$	Сода	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}$
Тенардит	Na_2SO_4	Бікарбонат натрію	NaHCO_3
Мірабіліт	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$	Трона	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \times \text{NaHCO}_3 \times 2\text{H}_2\text{O}$
Кізерит	$\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$		

Мінерали, які випали з ропи, за генезисом поділяються на новосадку, старосадку і кореневу сіль. *Новосадка* – сіль, яка виділилась протягом даного року, тобто свіжоосаджена. Вона осідає ще не-закріпленим пухлим шаром на дні або частково викидається хвилями, утворюючи вздовж узбережжя вали солі. Новосадка, яка осіла на дні, при змінненні фізичних умов може знову перейти у розчин. Якщо осолонення озера прогресує, або

після посушливого літа, частина новосадки ущільнюється і переходить у *старосадку*, яка утворює окремі лінзи чи шари на дні озера. При дальшій перекристалізації мінералів, які випали спочатку, старосадка переходить у пласти *кореневої солі*.

Залежність мінералізації води озер від фізико-географічних умов, особливо від клімату, зумовлює фізико-географічну зональність поширення соляних озер на земній поверхні. Так, зона мінеральних озер охоплює південну зону степів, напівпустель і пустель і тягнеться на величезному просторі – від нижнього Дунаю на заході до Тихого океану на Далекому Сході. Від гирла Дунаю вона проходить вузькою смугою вздовж Азово-Чорноморського узбережжя, розширюючись на схід від нижньої течії Дону до Маничу, північнокавказьких степів, нижнього Поволжя та прикаспійських степів. В Азії до неї належать степи Казахстану, пустелі Середньої Азії та Західно-Сибірської низовини. Особливо багато озер у центральноазіатських пустелях, до яких належать Каспій і Арал.

На півночі зона мінеральних озер обмежена чорноземною степовою смугою, а на півдні – гірськими областями і поширенням материкових ґрунтів азійських субтропіків. Ця озерна зона характеризується солонцюватими і солончаково-каштановими ґрунтами і перевагою середніх річних величин випаровування над кількістю атмосферних опадів.

Мінеральні озера як джерело добування цінної сировини для хімічної, фармацевтичної, електрометалургійної та будівельної промисловості мають велике прикладне значення. Кухонна й глауберова солі, сода, бром, йод, бор, калій, магній – це неповний перелік продуктів, які можна вилучити з соляних озер. Крім того, слід зазначити лікувальні властивості мінеральних озер.

9.3.3. Озера-лимани Причорномор'я. В межиріччі Дунай–Дністер–Дніпро вздовж морського узбережжя розташовані мілководні озера-лимани, деякі з них – Сасик, Шагани, Алібей, Хаджибейський, Куяльницький, Тилігульський, Березанський. Утворення лиманів пов'язане з коливаннями рівнів води моря, а також процесами піднімання та опускання прибережної ділянки суходолу.

Гідрохімічний режим більшості лиманів тісно пов'язаний з водним режимом. Тому в верхніх частинах лиманів, на які постійно впливає прісний стік річок, відзначається наявність стійких опріснених водних мас з мінералізацією 2–5 г/дм³. Основна ж маса має мінералізацію 20–30 г/дм³. Склад вод хлоридно-натрієвий. В табл. 9.6 показано динаміку хімічного складу вод Хаджибейського лиману за сезонами.

Солонуваті озера-лимани Причорномор'я завжди використовувались для видобування солі (Куяльницький, Тузловська група лиманів).

З першої половини ХІХ ст. лимани Куяльник і Хаджибей почали використовуватися у бальнеології завдяки цілющим властивостям лиманних пелоїдів (грязей) і ропи. В 1843 р. на Хаджибейському лимані була відкрита перша лікувальна установа, в 1859 р. – на Сухому лимані, в 1883 р. – на Куяльницькому лимані. Наприкінці ХІХ ст. для лікування почали використовувати пелоїди Шаболотського лиману.

Найбільш цінними видами ресурсів лиманів є пелоїди і ропа лиманів, яка містить хлористий натрій, хлористий і сірчанистий кальцій, сірчаноокислий магній, йодисті речовини.

Таблиця 9.6. Сезонна динаміка показників хімічного складу води Хаджибейського лиману, мг/дм³

Показник	Зима	Весна	Літо	Осінь
Ca ²⁺	112,1	118,3	120,1	109,6
Mg ²⁺	721,3	655,2	717,6	728,5
Na ⁺ + K ⁺	4982,6	4762,1	3994,6	5327,0
CO ₃ ²⁻	225,4	226,7	281,2	228,7
SO ₄ ²⁻	1582,3	1360,6	1362	1580,4
Cl ⁻	9186,4	9021,5	8981,0	9221,2
Мінералізація	16866,6	15294,3	15851,6	17195,5
NH ₄ ⁺	0,1	0,1	0,2	0,3
NO ₂ ⁻	0,01	0,02	0,03	0,03
Fe _{заг.}	0,02	0,13	0,14	0,04
P _{мін.}	0,36	0,32	0,42	0,41
БСК ₅	2,3	6,56	5,03	2,8
O ₂	8,6	11,4	8,2	10,2
pH	8,6	7,9	8,2	8,9

Мулові грязі, що мають лікувальні властивості, є у всіх лиманах.

9.3.4. Солонуваті та соляні озера Криму. У Криму налічується понад 50 солонуватих і соляних озер, які є крупними джерелами солей і бальнеологічних грязей. Висока температура повітря і ропи, знижена вологість повітря призводять до інтенсивного випаровування і підвищення концентрацій розсолів у соляних озерах. Найінтенсивніше випаровування спостерігається в період з травня до жовтня. Встановлено, що щороку випаровується вод в 1,2–1,3 рази більше, ніж об'єми соляних водойм.

Серед соляних озер Криму виділяють такі основні групи, як Перекопська, Тарханкутська, Євпаторійська і Керченська (табл. 9.7). Багато з соляних озер Криму використовується у бальнеологічних цілях.

Таблиця 9.7. Хімічний склад солонуватих і соляних озер Криму, ‰

Озеро	NaCl	MgSO ₄	MgCl ₂	CaSO ₄	Ca(HCO ₃) ₂	Σ _i
1	2	3	4	5	6	7
<i>Перекопська група</i>						
Айгульське	146,4	–	76,0	1,1	0,12	253,4
Кирлеутське	190,2	7,6	36,3	2,1	0,20	246,6
Киятське	138,6	–	68,4	4,6	0,12	215,6
Червоне	176,3	–	45,6	2,1	0,84	239,6
Старе	146,4	–	92,4	1,0	0,05	256,0
<i>Тарханкутська група</i>						
Бакальське	41,4	3,8	6,1	3,8	0,16	56,5
Джарилгач	63,8	5,7	7,4	3,2	0,14	91,7
Панське	87,4	8,0	10,5	3,9	0,18	110,8
Донузлав	55,6	4,2	7,9	3,4	0,23	70,6

Закінчення табл. 9.7

1	2	3	4	5	6	7
<i>Євпаторійська група</i>						
Ойбурське	117,0	9,6	12,8	4,3	0,28	144,0
Сасик	96,4	8,8	14,7	4,2	0,56	124,0
Сакське	166,8	17,4	23,8	2,4	0,31	212,1
Кизил-Яр	46,5	–	10,4	5,2	0,49	64,1
<i>Керченська група</i>						
Узунларське	20,8	10,9	43,3	1,8	0,31	264,4
Чурбаське	13,5	0,3	4,5	2,2	–	20,8
Актаське	84,2	2,1	17,6	6,8	0,3	11,2

9.4. Водосховища

Згідно Водного Кодексу України, водосховище – це штучна водойма місткістю понад 1 млн м³, збудована для створення запасу води та регулювання її стоку. Штучна водойма місткістю менше 1 млн м³ називається ставом.

Одним з перших водосховищ на Землі було водосховище, створене в Стародавньому Єгипті в 2950–2750 рр. до н.е. з греблею Садд-ель-Кафара на р. Ніл. На земній кулі нараховується понад 60 тис. водосховищ і щорічно вводиться в експлуатацію декілька сотень нових.

Загальна площа всіх водосховищ світу перевищує 400 тис.км², а з урахуванням підпертих озер – 600 тис. км². Деякі річки – Волга, Дніпро, Ангара, Міссурі, Колорадо, Парана перетворені в каскади водосховищ.

У гідрології водосховищ ці штучні водойми розглядаються як такі, що поєднують ознаки озера і річки. Поділ водосховищ на окремі типи може виконуватися за географічними положенням, за способом утворення (генетичні ознаки), за морфологічними ознаками (будова ложа), за місцем у річковому басейні, за характером регулювання стоку та іншими ознаками.

9.4.1. Гідрохімічний режим визначає обіг хімічних елементів у водному середовищі штучних водойм. Особливості цього режиму залежать від географічного положення, типів водосховищ та еволюційних процесів в них. У перші роки після заповнення водосховища хімічний склад річкових вод трансформується в озерний. Ця трансформація буде виражена тим більше, чим повільніший водообмін.

Розклад решток затопленої рослинності та підвищення каламутності за рахунок донних наносів у перші роки експлуатації водосховищ погіршує якість води. У водосховищах, на відміну від річок, з'являються мілководні, інколи застійні зони, в яких може погіршуватися кисневий режим, накопичуватися органічні речовини.

Період первинного формування хімічного складу води водосховищ визначають часом, протягом якого в основному розпадається органічна речовина, яка залишилася на дні водойми. Водосховища мають різний період формування (до кількох років), причому інтенсивність розглядуваних процесів поступово зменшується і режим водосховища стабілізується.

Найчастіше водосховища створюються на річках при їх зарегулюванні, тому практично необхідно знати спрямованість змін у складі води і

гідрохімічному режимі водосховища після їх стабілізації, порівняно з річкою, на якій збудовано водосховище.

При переході від річкового режиму до озерного спостерігаються такі зміни: встановлення термічної стратифікації, підвищення температури води на поверхні, інтенсифікація розвитку планктону і вищої водної рослинності, зменшення кількості завислих речовин. Це стосується всього комплексу розчинених речовин. Величина змін залежить від характеру водойми і навколишніх умов, серед яких найважливішою є клімат.

9.4.2. Мінералізація води. В умовах надлишкового зволоження середня мінералізація води у водосховищі змінюється незначно. Розглянемо схему напряму змін середньорічної величини мінералізації водосховища порівняно з річкою. Позначимо $C_{\text{пр}}$ і $C_{\text{ст}}$ величини концентрації води відповідно припливу у водосховище і стоку з нього; $W_{\text{ГР}}$, $W_{\text{О}}$, $W_{\text{В}}$ – об'єми припливу, опадів і води, яка випаровується з поверхні озера. Прийmemo, що рівень у водосховищі постійний. Virшення формули балансу розчинених солей справедливе для середньої багаторічної зміни мінералізації води:

$$C_{\text{пр}} W_{\text{ГР}} = C_{\text{ст}} (W_{\text{ГР}} + W_{\text{О}} - W_{\text{В}}), \quad (9.3)$$

звідки мінералізація води, яка витікає з водосховища або перебуває у пригреблевій частині його, дорівнюватиме:

$$C_{\text{ст}} = C_{\text{пр}} W_{\text{ГР}} / (W_{\text{ГР}} + W_{\text{О}} - W_{\text{В}}) \quad (9.4)$$

Зрозуміло, що в умовах надлишкового зволоження $W_{\text{О}} > W_{\text{В}}$, тому $C_{\text{ст}} < C_{\text{пр}}$, тобто мінералізація може навіть знижуватися на деяку величину, яка залежить від співвідношення об'єму водосховища і величини $W_{\text{О}} - W_{\text{В}}$.

Якщо $W_{\text{О}} = W_{\text{В}}$, то середня мінералізація річки при проходженні її через водосховище взагалі не зміниться.

Проте як у першому, так і в другому випадку змінюється розподіл величин мінералізації протягом року залежно від сезону. В результаті акумуляції у водосховищі великого об'єму паводкових вод сезонні зміни йонного складу води відбуватимуться у вузьких межах, ніж вони були в річці до створення водосховищ.

У перший період створення водосховища, особливо при незначній величині річкового стоку, мінералізація води може зростати за рахунок вимивання солей і забруднювальних речовин, які містяться в ґрунті. Втім, це може бути непомітно внаслідок значних змін в режимі мінералізації при зарегулюванні стоку.

У місцевостях з посушливим кліматом у водосховищах спостерігаються найбільші зміни мінералізації води. Великого значення тут набуває випаровування, оскільки площа водосховища значно збільшується порівняно з річкою. В цьому випадку в наведеному рівнянні $W_{\text{О}} < W_{\text{В}}$ і, відповідно, $C_{\text{ст}} > C_{\text{пр}}$, тобто мінералізація річкової води зростає у міру проходження крізь водосховище на величину відношення об'ємів води, яка надходить і витікає з нього. Спочатку важливим може бути вимивання з ґрунтів солей, на які вони багаті в посушливих областях.

В цілому ж, для водосховищ спостерігаються наступні закономірності:

1) чим більше відношення об'ємів водної маси та припливу, тим більший вплив на мінералізацію матиме випаровування в умовах недостатнього зволоження;

2) при однакових об'ємах води у водосховищах і однакових припливах мінералізація води буде підвищуватися менше у водосховищі з більшою середньою глибиною, оскільки поверхня, а відповідно і випаровування у нього менше;

3) мінералізація води водосховища при однакових величинах припливу і розмірах водосховища сильніше підвищується у більш посушливих областях.

Найменш сприятливі умови для утворення малої мінералізації в посушливих областях спостерігаються у великих за площею, але мілких водоймах з порівняно невеликим відношенням припливу води до об'єму водосховища. Такі водосховища при досягненні $W_{\text{пр}} + W_{\text{о}} \leq W_{\text{в}}$ не мають поверхневого стоку, в них при слабкій фільтрації накопичуються солі і вода засолюється.

9.4.3. Газовий склад води водосховищ формується під дією багатьох чинників. На основі спостережень за газовим режимом водосховищ Дніпра О.І. Денисовою встановлено, що на початку існування водосховищ у період їх становлення найбільший вплив на газовий режим має дно внаслідок бурхливих процесів розкладання рослинного і ґрунтового покриву затопленого ложа. При цьому велика кількість кисню (до 30 %) витрачається на окиснення органічних речовин, змитих із затоплених територій. Це часто призводить до дефіциту кисню в придонних шарах води. На вміст у воді розчиненого CO_2 впливають в основному фотосинтез та інші біохімічні процеси.

Збіднення води на CO_2 відбувається також при виділенні її в атмосферу – при підвищенні температури води в літній час і в денні години, це зумовлює сезонні і добові коливання CO_2 . Максимальні концентрації CO_2 у воді (до 60 мг/дм³) спостерігаються взимку. Відповідно до змін вмісту CO_2 змінюється і рН води, яке залежить від стану карбонатної рівноваги. Максимальні значення рН, які досягають 9,7, характерні для літнього періоду, мінімальні (7,0) – для зими.

Влітку дуже сильно змінюється газовий режим водосховищ. У цей період на склад розчиненого газу (здебільшого O_2 і CO_2) впливають не лише добові коливання температур і змінення структури водних мас, а й зміни біомаси ціанобактерій.

9.4.4. Цвітіння води – масовий розвиток фітопланктону, який викликає зміну кольору води і погіршує кисневу забезпеченість води у водоймах (озерах і водосховищах). Одна з причин цвітіння води – надходження у водойми мінеральних, особливо фосфоромістких добрив, синтетичних мийних засобів, органічних забруднювальних речовин.

Цвітіння води – це природне явище, що проявляється в зміні забарвлення води внаслідок масового розмноження мікроскопічних водоростей у водоймах. Відоме здавна. Шкідливим є надмірне цвітіння, яке погіршує якість води та умови життєдіяльності організмів, порушує гідрохімічний режим, створюючи дефіцит кисню. Шар води, що цвіте, може сягати 10–15 см завтовшки. При цьому виникає придуха риби і вона гине.

Одноклітинні, мікроскопічні, планктоноподібні організми природним чином живуть у добре освітленому сонцем верхньому шарі води у будь-якого типу водоймі. Ці організми (фітопланктон або мікрowodорості) утворюють основу харчової мережі від якої залежать майже всі інші водяні організми. Зафіксовано понад 5000 видів морського фітопланктону по всьому світу, з них близько 2 % є шкідливими чи токсичними. Цвітіння шкідливих водоростей може мати різноманітний і потужний вплив на морські екосистеми, в залежності від того з якими видами це відбувається, середовища в якому вони перебувають, і від механізму яким вони здійснюють свій негативний вплив.

Яскраво-зелене цвітіння є результатом розмноження *ціанобактерій*, які до недавнього часу називали синьо-зеленими водоростями (рис. 9.4).

Цвітіння також можуть викликати макроводорості, які не належать до планктону. Його можна впізнати за великими обсягами водоростей, що їх прибиває до берега і які роблять воду темною. Вперше «чорні води» були описані у Флоридській затоці в 2002 р.



а



б



в



г

Рис. 9.4. Цвітіння води у водних об'єктах: а) канал; б) Канівське водосховище на Дніпрі; в) став; г) Азовське море

Сприятливими цвітінню води умовами є: 1) нестійкість екосистеми чи наявність чинників, які спричиняють порушення рівноваги в екосистемі водойми; 2) підвищені концентрації біогенних речовин, переважно азоту і фосфору, які є поживою; 3) слабкий водообмін; 4) посилене прогрівання води.

Створення водосховищ на річках, в результаті чого утворюється значна частина мілководь, які добре прогриваються в літню пору і мають уповільнений водообмін, сприяє цвітінню води. Зокрема, це явище спостерігається на каскаді водосховищ на Дніпрі: Київському, Канівському, Кременчуцькому, Кам'янському, Дніпровському (Запорізькому).

Цвітіння води завдає великих збитків рибному господарству. Якщо вживати воду з ознаками цвітіння (зеленуватий колір, неприємний запах) у людини можуть розвинутих отруєння та алергічні реакції.

Цвітіння водоростей іноді відбувається у водних об'єктах, які є джерелами водопостачання питної води. У таких випадках необхідно звертати особливу увагу на дотримання необхідних технологічних методів очищення води, взятої з джерела водопостачання.

Найефективніший засіб боротьби з цвітінням води – збирання мікроскопічних організмів спеціальними невеликими суднами. Зібрану масу використовують як добриво, на виготовлення паперу, картону, лаків, фарб тощо.

9.4.5. Водосховища в Україні. За дослідженнями В.К. Хільчевського та В.В. Гребеня в Україні станом на 2020 р. налічувалося 1054 водосховища [9]. Вони мали повний об'єм 55,13 км³ та сумарну площу водного дзеркала 9362 км². В Україні місцевий стік річок становить 50,1 км³/рік, а разом з транзитним стоком з території РФ, Білорусі та Румунії – 170,3 км³/рік. Таким чином, водосховищами зарегульовано 32% загального стоку річок країни.

Цими ж вченими виконана класифікація водосховищ України за об'ємом води. До «дуже великих» (10–50 км³) належить Кременчуцьке та належало Каховське водосховища (на р.Дніпро); до «великих» (1,0–10 км³) – Київське, Канівське, Кам'янське, Дніпровське (на р. Дніпро) та Дністровське (на р. Дністер). Тобто, сім «дуже великих» і «великих» водосховищ становили лише 0,7 % від кількості. А інші 1047 водосховищ (99,3 %) – це ті, що віднесені до категорій середніх (0,1–1,0 км³), невеликих (0,01–0,1 км³) і малих (менше 0,1 км³). Для зручності назовемо цю групу з аббревіатурою СНМ-водосховища. Причому, в групі СНМ-водосховищ найбільшою є частка малих водосховищ (89,9%).

Якщо розглядати значення повних об'ємів водосховищ, то виявляється, що в шести водосховищах Дніпровського каскаду (43,71 км³) та Дністровському водосховищі (3,0 км³) знаходиться 85 % об'єму води всіх водосховищ країни. На СНМ-водосховища припадає лише 15 % (8,42 км³).

Водосховища дніпровського каскаду розміщені в трьох природних зонах: мішаних лісів (Київське), лісостепу (Канівське і частково Кременчуцьке), степу (Кременчуцьке, Дніпродзержинське, Запорізьке або Дніпровське). Вони мають певні гідроморфометричні характеристики (табл. 9.8). Роль поверхневого стоку в формуванні режиму особливо відчутна у верхньому водосховищі (Київському), де акумулюється стік майже всіх значних приток дніпровського басейну – річок Березини, Сожу, Прип'яті, який

формується в умовах вологого гумідного клімату, густої гідрографічної мережі, лісистості та заболоченості водозбору.

Вниз по каскаду роль цього чинника поступово зменшується. Якщо в Київському водосховищі річковий стік становить 28,9 км³, то в Канівському - 11 (р. Десна), в Кременчуцькому – 2,5 (сумарний стік всіх приток), а в останніх – менш ніж 6,1 км³. З просуванням по каскаду зростає роль внутрішніх процесів у формуванні гідрохімічного режиму водосховищ.

Таблиця 9.8. Основні характеристики водосховищ Дніпровського каскаду

Показник	Водосховище					
	Київське	Канівське	Кременчуцьке	Кам'янське	Дніпровське	Каховське
Роки заповнення	1965–1966	1975–1976	1960–1961	1963–1964	1931–1934, 1947*	1955–1956, 2023**
Напір води, м	11,5	10,5	17,0	12,6	35,4	16,5
Довжина, км	110	125	149	114	129	230
НПР, м БС	103,0	91,5	81,0	64,0	51,4	16,0
РНС, м БС	102,0	91,5	79,0	63,8	51,4	14,0
РМО, м БС	101,5	91,0	75,7	63,5	48,5	12,7
РПС, м БС	102,0	91,5	77,5	64,0	51,4	15,7
ФПР, м БС	104,0	92,7	82,4	66,0	51,4	18,0
Площа при НПР, тис.га	92,2	64,2	225,0	56,7	41,0	215,0
Площа мілководь (до 2 м), %	40	24	18	31	36	5
Повний об'єм при НПР, км ³	3,7	2,5	13,5	2,5	3,3	18,2
Робочий об'єм між НПР та РМО, км ³	1,2	0,3	9,1	0,5	0,8	6,8
Корисний (літній) об'єм між НПР та РНС, км ³	0,8	0,0	4,1	0,1	0,0	4,2
Глибина при НПР, м:						
максимальна	15	12	24	14	45	32
середня	4,0	3,9	6,0	4,3	8,0	8,4
Спрацювання рівнів, м	0,5-1,0	0,5	4,0-6,0	0,5	0,5-1,0	3,0-4,0
Довжина берегової лінії, км	520,0	411,0	800,0	360,0	470,0	896,0
Дамби і берегоукріплення, км	100,1	136,2	145,3	108,3	61,8	206,7
Характер регулювання стоку	сезонний	добовий	сезонний і річний	добовий	добовий	сезонний і річний

Примітки * - Дніпровське водосховище заповнювалося двічі; ** - гребля Каховського водосховища була зруйнована агресором влітку 2023 р. під час російсько-української війни, що розпочалася 24 лютого 2022 р..

Як відзначалося, суттєвих змін у мінералізації води і концентрації головних йонів при експлуатації водосховищ не спостерігається (табл. 9.9).

Як видно, верхня межа мінералізації вниз по каскаду зростає від 380 мг/дм³ у Київському водосховищі, до 460 мг/дм³ у Дніпровському. В сучасних умовах порівняно з першими роками існування водосховищ нижня межа мінералізації води зросла в результаті впливу каскаду.

Домінуючим катіоном у воді Дніпра і його водосховищ є Ca²⁺, аніоном – HCO₃⁻. Абсолютний і відносний вміст інших іонів значно менший. Змішування у водосховищах річкових вод різної мінералізації призвело до осереднення хімічного складу води. Після спорудження каскаду водосховищ амплітуда коливання головних іонів зменшилась, нижня межа їх концентрації зросла, верхня – знизилась.

Незважаючи на сезонні зміни концентрацій іонів у воді водосховищ, їх співвідношення для кожного водосховища залишається постійним і лише іноді змінюється при зміщенні карбонатної рівноваги та в місцях впадіння більш мінералізованих приток, які підвищують вміст Mg²⁺, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻.

Іонний стік р. Дніпро підвищився на 5 % порівняно з таким до зарегулювання, оскільки на вказану величину в середньому збільшилась мінералізація води. До зарегулювання максимум йонного стоку припадав на весняний період (45 %), коли і водний стік був максимальним.

Після побудови каскаду водосховищ йонний стік розподіляється за сезонами рівномірніше, причому, незважаючи на різке скорочення водного стоку у весняний період, йонний стік зменшився незначно.

Таблиця 9.9. Граничні концентрації головних іонів і мінералізації води дніпровських водосховищ, мг/дм³

Водосховище	Роки	Ca ²⁺	Mg ²⁺ +	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _i
Київське	1965-1967	23-68	2-24	8-26	60-235	7-32	4-25	122-380
	1981-1985	17-32	5-19	5-25	106-246	11-47	1-34	196-374
Канівське	1981-1985	31-77	5-20	9-59	106-217	19-43	11-59	198-396
Кремечуцьке	1961-1964	24-75	2-23	0-29	45-255	8-32	5-20	116-399
	1981-1985	29-67	5-28	3-40	109-220	17-54	11-31	220-420
Кам'янське	1963-1965	27-74	1-12	0-27	92-231	8-30	5-13	132-358
	1981-1985	29-59	5-17	9-35	88-219	20-48	17-31	171-393
Дніпровське	1956-1960	20-74	1-32	1-34	73-210	8-61	15-30	109-450
	1981-1985	33-59	5-22	1-43	131-219	26-44	21-36	207-453

Завдання для самостійної роботи

1. Підготувати у зошитах для практичних робіт у вигляді короткої доповіді повідомлення про водосховища Волинської області (у т. ч. їх основні морфометричні характеристики та мінералізацію води).

2. Знайти в репозитарії Волинського національного університету імені Лесі Українки та проаналізувати наукові публікації вчених університету, присвячені аналізу хімічного складу води озер та водосховищ Волинської області.

Контрольні питання

1. Які чинники визначають мінералізацію і хімічний склад води озер?
2. На які групи поділяють озера за проточністю?
3. На які групи поділяються озера за мінералізацією води?

4. Який розподіл головних йонів типовий для прісних озер України?
5. Перелічити складники сольового балансу озерної води.
6. Яка мінералізація води водосховищ?
7. Під дією яких чинників формується газовий склад водосховищ?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Водний і сольовий режимі озера Китай: монографія. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с.

• Морозова А.О. Гідрохімічний стан та оцінка якості водойм Шацького національного природного парку. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. № 1. С.47–51.

• Нетробчук І.М. Аналіз якісного стану води Шацьких озер. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. № 1. С.51–56.

• Пасічник М.П., Ільїн Л.В., Хільчевський В.К. Сапропелеві рекреаційно-туристичні ресурси озер Волинської області: монографія Луцьк: Волиньполіграф, 2021. 172 с.

• Поверхневі води Волині : колект. моногр. / Я.О. Мольчак, І.Я. Мисковець, А.М. Вох [та ін.] / за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк : Терен, 2019. 344 с.

• Ситник Ю.М., Ільїн Л.В., Шевченко П.Г., Осадча Н.М., Хомак Н.В. Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку : озеро Люцимер (1977–2009). *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. № 1. С.99–107.

• Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Великі і малі водосховища України: регіональні та басейнові особливості поширення. *Гідрологія, гідрохімія і ідроекологія*, 2021. № 2(60). С. 6-17.

• Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер. *Гідрологія, гідрохімія і ідроекологія*. 2020. № 3(58). С. 92-100.

• Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.

10. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 2019. 343 с.

• Хомак Н.В. Водні ресурси Шацького національного природного парку: сучасний стан, охорона, управління. К.: Аграрна наука, 2013. 239 с.

• Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О. Водний і сольовий режимі озера Катлабух: монографія. Одеса: Одеський держ. еколог. ун-т, 2021. 336 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10

ТЕМА: ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД

Мета: з'ясувати поширення підземних вод України; хімічний склад та гідрохімічний режим ґрунтових вод, проаналізувати їх залежність від фізико-географічних і геолого-структурних умов.

Основні терміни і поняття: підземні води, ґрунтові води, верховодка, гідрохімічне поле, тип води, мінералізація води, твердість води, реакція рН.

Аудиторні завдання

1. Використовуючи лекційний матеріал, теоретичні відомості до даної роботи проаналізувати гідрогеологічне районування території України. В зошиті для практичних робіт записати перелік гідрогеологічних структур першого порядку та обґрунтування їх виділення.

2. Використовуючи рис. 10.4 «Картосхема гідрогеологічного районування території України», табл. 10.2-10.8 «Хімічний склад підземних вод основних водоносних горизонтів і комплексів гідрогеологічних провінцій» з теоретичних відомостей до даної роботи проаналізувати особливості хімічного складу води у четвертинних відкладах гідрогеологічних структур першого порядку (за мінералізацією та твердістю води, переважаючими йонами). Відповідь оформити у вигляді табл. 10.1.

Таблиця 10.1. Для оформлення відповіді. Хімічний склад підземних вод основних гідрогеологічних регіонів України

Показник	Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн	Волино-Подільський артезіанський басейн	Причорноморський артезіанський басейн	Гідрогеологічна провінція Донецької складчастої області	Область тріщинних вод Українського щита	Гідрогеологічна провінція складчастої області Гірського Криму	Гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат
Мінералізація, мг/дм ³							
Твердість, мг-моль/дм ³							
Середні значення рН							
Переважаючі йони							

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 10

Зміст

- 10.1. Умови формування хімічного складу підземних вод. – С. 120.
- 10.2. Води зони аерації та ґрунтові води. – С. 121.
- 10.3. Міжпластові (напірні) води. – С. 125.
- 10.4. Гідрогеологічне районування території України. – С. 127.

Підземні води – це природні води, які залягають у земній товщі нижче поверхні землі. Підземна гідросфера зв'язана з поверхневою: чим ближче до поверхні землі водоносні горизонти, тим тісніше проходить водообмін. Він досить активний і є елементом загального кругообігу води в природі. Серед всіх типів підземних вод більшість дослідників виділяють два основних типи: ґрунтові і міжпластові (напірні, артезіанські) води. Особливу групу становлять мінеральні води.

10.1. Умови формування хімічного складу підземних вод

Стан води у гірських породах має різноманітні форми і залежить від сил взаємодії, які виникають на межі системи порода-вода і зумовлюються складом порід, ступенем їх дрібнення і фізичних умов. Вода міститься у породі у вигляді надтонкої плівки, сорбованої на породі (гігроскопічна волога), тонких плівок, які огортають частинки твердих речовин (плівкова волога), рідини, яка заповнює капіляри у проміжках між окремими частинками породи, а також при досить великій кількості вологи – у крапельно-струменевому стані, утворюючи підземні водойми значної потужності у вигляді водоносних шарів і тріщинних зон.

Основні особливості, які визначають формування хімічного складу підземних вод:

1. Тісний контакт підземних вод з різноманітними породами і мінералами земної кори, який полегшує перехід елементів та їх сполук у розчин.
2. Наявність водотривких важкопроникних шарів порід, які відокремлюють певні горизонти підземних вод, що утруднює, а часто й порушує водообмін між водоносними горизонтами. Це сприяє утворенню індивідуальності складу підземних вод.
3. Утрудненість зв'язку підземних вод з атмосферою і земною поверхнею.
4. Ослаблення біологічних процесів, які в підземних водах, на відміну від інших видів природних вод, обмежуються життєдіяльністю мікроорганізмів за винятком карстових районів.
5. Різка зміна фізичних умов (температури й тиску) з глибиною. На великих глибинах вода взаємодіє з породами при тиску в кілька сотень і тисяч атмосфер і часто при високих температурах (понад 100 °С).
6. Зниження з глибиною вмісту кисню і встановлення з деякої глибини відновних умов, низького окиснювально-відновного потенціалу, створення середовища, яке сприяє розвитку анаеробних процесів.

Названі особливості визначають основні риси хімічного складу підземних вод, які наведено нижче.

1) Надзвичайна різноманітність хімічного складу вод. Підземні води можуть мати дуже своєрідний склад, до якого входять всі природні хімічні елементи. Наприклад, підвищені концентрації Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_2^- , NO_3^- , Ra^{2+} , H^+ , величезний вміст CO_2 , H_2S , CH_4 та ін. Співвідношення між головними йонами різноманітні, а склад води буває всіх класів, груп, типів.

2) Мінералізація підземних вод змінюється: від прісних до розсолів, сума йонів – від кількох десятків мг/дм^3 до 600-650 г/дм^3 . Такий широкий діапазон зміни мінералізації (за винятком озер) не спостерігається серед інших видів природних вод.

3) Відсутність у більшості глибинних підземних вод чітко вираженого режиму хімічного складу за сезонами.

Різнманітність хімічного складу підземних вод і характер його розподілу в земній корі зумовлені історичним розвитком процесів виникнення вод у товщі гірських порід, їх динамікою, перетворенням їх складу при взаємодії з породами і під впливом життєдіяльності організмів.

Часто важко виявити генезис хімічного складу підземних вод. Насамперед це стосується походження води. Води поділяються за походженням на фільтраційні, конденсаційні, ювенільні (з парів, що надходять з надр). Залежно від походження води її склад формується відповідно до циклу змін, які спостерігались протягом часу її існування під землею.

Роль порід як чинника мінералізації підземних вод залежить насамперед від складу порід.

При вивченні гідрохімічних особливостей підземних вод доцільно дотримуватися розподілу їх за вертикальними зонами, тобто враховувати відстань до атмосфери і поверхневих вод, а також умови фільтрування та промивання.

За глибиною залягання підземні води поділяються на три зони:

1) зона активного водообміну (верхня), води якої знаходяться вище місцевого базису ерозії, дренуються річками і відчувають вплив поверхневих вод, які фільтруються зверху; зони сприйнятливі до впливу кисню (ґрунтові води);

2) зона утрудненого водообміну (середня), яка є проміжною і, залежно від місцевих умов, відображає частково властивості верхньої і нижньої зон;

3) зона відносно застійних вод (нижня), ізольована від впливу поверхневих: склад вод змінюється лише протягом геологічного часу.

Води 2-ї та 3-ї зон ще називають міжпластовими водами.

10.2. Води зони аерації та ґрунтові води

У верхній частині земної кори найбільше розповсюдження мають дві гідрофізичні зони, які вирізняються станом, умовами формування та циркуляції в них води. Це – зона аерації та зона повного насичення водою (ґрунтовими водами).

10.2.1. Води зони аерації. Зона аерації знаходиться в самій верхній частині земної кори, від поверхні землі до рівня ґрунтових вод. У цій зоні значна частина пор заповнена повітрям із парами води. Деякий об'єм пор зайнятий фізично зв'язаною та капілярною водою. Під час атмосферних опадів та сніготанення через цю зону фільтруються гравітаційні води зверху вниз у вигляді окремих крапель і струминок.

За ступенем насиченості водою в розрізі зони аерації виділяються: рослинний шар, шар капілярної кайми, проміжний шар (рис. 10.1).

Рослинний шар знаходиться у верхній частині зони аерації. Води, які тут знаходяться, переважно капілярні (капілярно-підвішений тип). Вони тісно пов'язані з атмосферою, містять велику кількість органічної речовини та є джерелом живлення кореневої системи рослин. Шар капілярної кайми розміщується над горизонтом ґрунтових вод. Утворюється шар внаслідок підйому вільної води з насиченої зони капілярними порами. Потужність капілярної кайми залежить від розмірів пор і визначається висотою капілярного підняття для порід. Положення капілярної кайми змінюється в часі залежно від коливання рівня ґрунтових вод. Проміжний шар знаходиться між шаром капілярної кайми та рослинним шаром. Тут значний об'єм пор і тріщин гірських порід заповнений повітрям із водяною парою.

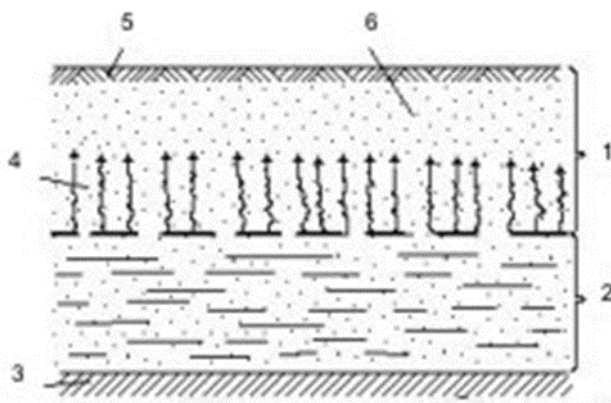


Рис. 10.1. Схема зони аерації: 1 – зона аерації; 2 – зона повного насичення; 3 – водотривкі породи; 4 – шар капілярної кайми; 5 – рослинний шар; 6 – проміжний шар

У проміжному шарі можуть існувати ділянки, де гірські породи повністю насичені водою. Це специфічне гідрогеологічне утворення називається *верховодкою*. Вона являє собою перший від поверхні тимчасово існуючий горизонт безнапірних вод, який має вільну поверхню. Найчастіше вона утворюється на лінзах водотривких порід, що мають у плані обмежене розповсюдження.

Іноді верховодка може утворюватися на шарах порід із меншою водопроникністю, ніж породи, які її оточують. Параметри верховодки залежать від розмірів та потужності водотривких порід, які її підстеляють.

Основним джерелом живлення верховодки є атмосферні опади, а в районах інтенсивної діяльності людини – води антропогенного походження. Витрачається вона на випарування та транспірацію рослинами, частково – на розтікання до країв слабопроникних лінз. Якщо породи, які підстеляють верховодку, відносно водотривкі, деяка кількість води може просочуватися крізь них і йти на живлення ґрунтових вод.

Через слабку водозбагаченість та нестабільність, а також невисоку якість води верховодка здебільшого не може бути надійним джерелом водопостачання. Лише у виняткових випадках, якщо немає інших джерел

водопостачання, верховодка може використовуватися для цілей питного водопостачання.

10.2.2. Ґрунтові води. Ґрунтовими називаються підземні води, які залягають на першому від поверхні землі досить витриманому за площею водотривкому шарі і утворюють постійно існуючий водоносний горизонт (рис. 10.2).

Містяться ґрунтові води, головним чином, у четвертинних відкладах і значно рідше в дочетвертинних. Породи, що їх вміщують, можуть бути найрізноманітнішого літологічного складу (гравій, пісок, суглинок, тріщинуваті скельні породи, закарстовані вапняки тощо), але всіх їх об'єднує те, що вони залягають на першому від поверхні водонепроникному шарі і не мають у покрівлі водотривких шарів. Останній факт визначає характерну особливість ґрунтових вод, яка полягає в тому, що живлення ґрунтових вод за рахунок інфільтраційних (а частково, можливо, і конденсаційних) процесів здійснюється на всій площі їх поширення.

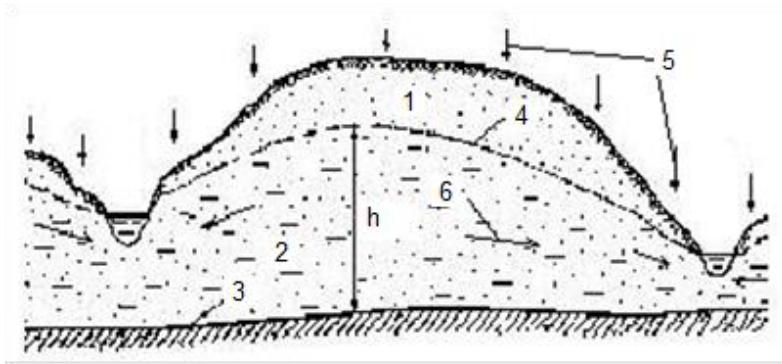


Рис. 10.2. Схема водоносного горизонту ґрунтових вод:

h – потужність ґрунтового водоносного горизонту; 1 – пісок сухий; 2 – пісок водоносний; 3 – нижній водотрив; 4 – дзеркало ґрунтових вод; 5 – атмосферні опади; 6 – напрямок руху ґрунтових вод

Відносно однорідні за літологічним складом і фільтраційними властивостями пласти гірських порід, які містять у собі ґрунтові води, називаються ґрунтовими водоносними горизонтами.

Пласт, який вміщує ґрунтові води, насичений не на всю потужність і не перекривається водотривкими шарами. Рівнева поверхня такого водоносного горизонту називається дзеркалом ґрунтових вод. Водонепроникний шар, який підстеляє водоносний горизонт, називається нижнім водотривом. Відстань між дзеркалом ґрунтових вод і нижнім водотривом називається потужністю горизонту (див. рис.10.2).

Ґрунтові водоносні горизонти є безнапірними, з відкритою, вільною поверхнею. Виділяють дві зони ґрунтових вод за генетичними ознаками: вилуговування і континентального засолення.

10.2.3. Ґрунтові води вилуговування формуються в областях надлишкового зволоження чи помірно вологих, але за наявності добре проникливих порід, високої динамічності вод і активного дренажу. Загальна

мінералізація ґрунтових вод цієї зони не перевищує 1 г/дм³, склад: HCO₃⁻ – Na⁺, HCO₃⁻ – Ca²⁺. У південних районах зони надлишкового зволоження спостерігаються ґрунтові води складу SO₄²⁻ – Cl⁻ – Na⁺, SO₄²⁻ – Cl⁻ – Ca²⁺ з мінералізацією понад 1 г/дм³. Для цієї зони характерний підвищений вміст органічних речовин.

10.2.4. Ґрунтові води континентального засолення формуються в умовах аридного клімату на територіях пустель, напівпустель та сухих степів. У цих районах спостерігається значно більша різноманітність хімічних типів вод. Трапляються прісні, солонуваті і солоні води гідрокарбонатно-сульфатні, сульфатні, сульфатно-хлоридні і хлоридні води. В умовах континентального засолення інтенсивно випаровуються поверхневі води, які в цих районах також відносно більш мінералізовані. Склад органічної речовини збіднений, у водах відбувається повніше розкладання органічних залишків.

Для ґрунтових вод характерна різноманітна мікрофлора. Поживним середовищем для неї є органічна речовина, розчинена у воді. Найінтенсивніше в цих водах розвиваються сапрофіти і бактерії гниття. Наявність бактерій у ґрунтових водах є головною причиною появи в них специфічних газових компонентів (H₂S, H₂, CH₄, CO₂ та ін.). Можуть навіть виникати невеликі скупчення газів, наприклад H₂S і CH₄.

10.2.5 Ґрунтові води на території України. Зона мішаних лісів. Основною рисою цих вод є поширення гідрокарбонатного кальцієвого, гідрокарбонатного кальцієво-магнієвого і гідрокарбонатного кальцієво-натрієвого типів. За величиною мінералізації води в четвертинних відкладах зони мішаних лісів є ультрапрісними та прісними (189–507 мг/дм³), за твердістю – переважно помірно тверді. В межах Турійсько-Костопільської денудаційної рівнини на крейдовій основі у флювіогляціальних утвореннях води мають мінералізацію 723 мг/дм³ і твердість – 8 ммоль/ мг/дм³.

Лісостепова зона. В четвертинних відкладах територіально поширені води в еолово-делювіальних, рідше – флювіогляціальних і алювіальних утвореннях. На значній території лісостепової зони в четвертинних відкладах поширені води чотирьох типів: гідрокарбонатні кальцієві, гідрокарбонатні кальцієво-магнієві, гідрокарбонатні змішанокатіонні і гідрокарбонатні кальцієво-натрієві. Переважають перші два типи. За величиною мінералізації води четвертинних відкладів у межах лісостепової зони прісні. Мінералізація у них коливається незначно – від 529 до 790 мг/дм³. Лише на території Подільської височини переважають слабосолонуваті води (1201 мг/дм³) зі значною твердістю.

Степова зона. На відміну від вод у четвертинних відкладах двох північних зон, води степової зони характеризуються підвищеним вмістом головних іонів. В степовій зоні спостерігається зміна складу вод з просуванням у південних напрямках. В північній частині зони переважають гідрокарбонатно-сульфатні типові кальцієві чи натрієво-кальцієві води; трапляються тут також води гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридні кальцієвого складу. В південній частині зони в четвертинних відкладах поширені води, в складі яких перше місце посідають сульфати, а в південних широтах – також хлориди. Серед катіонів переважають Na⁺, K⁺ чи Ca²⁺. В цій частині зони поширені води сульфатні натрієво-кальцієві чи кальцієво-

натрієві, сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатні змішаного катіонного складу, хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатні кальцієві і хлоридно-сульфатні змішаного катіонного складу. За мінералізацією води четвертинних відкладів степової зони – солонуваті (1234–2565 мг/дм³), а в деяких випадках – солоні (3128–3317 мг/дм³), дуже тверді (9–30 ммоль/дм³).

Кримська гірська країна. Ґрунтові води північної частини Кримських гір мають дуже різноманітний склад: сульфатно-хлоридний кальцієво-натрієвий; південні схили - гідрокарбонатний натрієво-кальцієвий; фонові мінералізація вод регіону змінюється від 150 до 20300 мг/дм³ (середня 604–6200 мг/дм³).

Карпатська гірська країна. Закарпатська рівнина характеризується сульфатно-хлоридним змішано-катіонним складом; Вулканічні Карпати – гідрокарбонатно-хлоридним натрієвим; Передкарпаття - гідрокарбонатним кальцієвим. Мінералізація змінюється від 50 до 4250 мг/дм³ (середня дорівнює 494–769 мг/дм³).

10.3. Міжпластові (напірні) води

10.3.1. Умови формування водонапірних (артезіанських) басейнів.

Міжпластовими водами називаються підземні води, що знаходяться у водоносних горизонтах (комплексах), які перекриті водотривкими пластами та мають гідростатичний напір. Цей напір проявляється в підйомі рівня води над покрівлею пласта при розкритті його свердловинами чи іншими видами виробок. При сприятливих геоструктурних та гідрогеологічних умовах свердловини можуть фонтанувати

Основна форма залягання напірних вод - водонапірні (артезіанські) басейни. У водонапірних басейнах виділяють три характерні області: живлення; утворення напору; розвантаження (рис. 10.3).

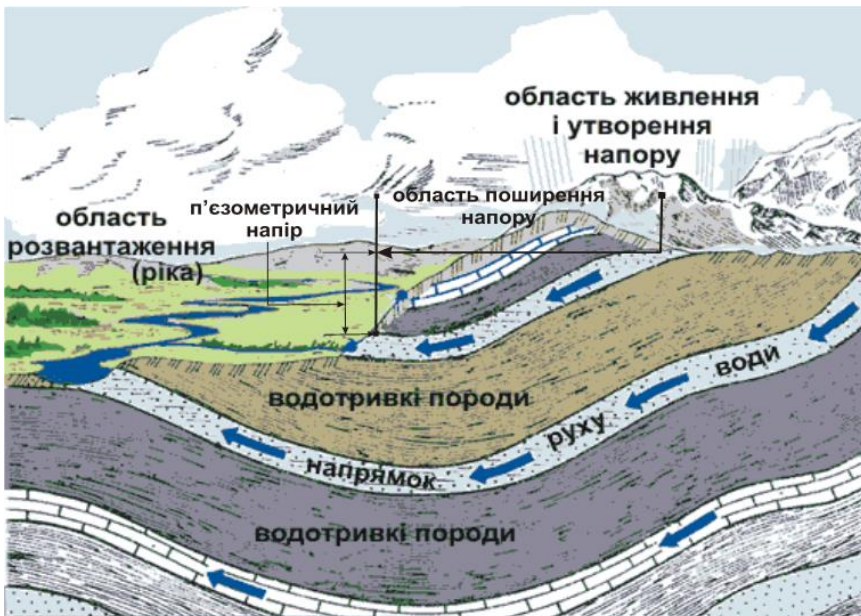


Рис. 10.3. Схема будови артезіанського басейну

Область живлення становить частину водонапірного басейну, в межах якої проходить інфільтрація поверхневих і атмосферних вод у пласт. У водонапірних басейнах з активною динамікою підземних вод область живлення розташовується на найвищих гіпсометричних позначках.

Область утворення напору – це частина водонапірного басейну, де підземні води набувають напору. Тут на них діє тиск маси води, яка фільтрується в пласт в області живлення, або тиск, створюваний іншими, зазначеними вище, причинами. З області утворення напору води рухаються до зон розвантаження, де, як правило, тиск найменший.

Область розвантаження – місце виходу пласта на поверхню землі на нижчих позначках, ніж область живлення, або ділянки пласта, де води перетікають в інші водоносні горизонти

Особливо відзначають штучні джерела розвантаження підземних вод, якими є водозабори.

Напірні води, як і ґрунтові, характеризуються різноманітністю хімічного складу. Звичайно розрізняють води прісні (з мінералізацією до 1 ‰), солонуваті (до 10 ‰), солоні (до 35 ‰), розсільні (понад 35 ‰). Мінералізація вод напірних горизонтів коливається від часток до 650 ‰.

10.3.2. Прісні води спостерігаються в області живлення (інфільтрації вод поверхневого стоку в пласти), а також у зоні утворення напору, якщо для цієї зони характерний активний водообмін, тобто рух вод від області живлення до області розвантаження.

За складом ці води становлять системи $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$, $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ і близькі до складу поверхневих. Часто вони містять мікроелементи з низькими концентраціями (Sr, Li, Mn, Fe, Si, Al, Ni та інші), а також іноді радіоактивні елементи. Органічна речовина прісних напірних вод за видовим складом близька до ґрунтових. Видів бактерій менше, ніж у ґрунтових водах, вміст органічного вуглецю коливається в межах 15-30 мг/дм³. У прісних напірних водах розчиняються гази повітряного походження (O_2 , N_2 , CO_2 , H_2 , благородні гази), значно менше – інші (H_2S , CH_4).

10.3.3. Солонуваті води різноманітніші за своїм хімічним складом. Вони утворюють всі основні класи – гідрокарбонатний, сульфатний, рідше хлоридний. Різноманітний і катіонний склад: переважають катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . У водонапірних басейнах солонуваті води залягають у зоні уповільненого водообміну, трапляються на різних глибинах залежно від геологічної будови регіону. В газовому складі цих вод порівняно з прісними зменшується частка компонентів атмосферного походження і збільшується вміст газів глибинного і мікробіологічного генезису (H_2S , CO_2). Поблизу нафтових і газових покладів солонуваті води містять підвищені кількості CH_4 , C_2H_6 та інші вуглеводневі компоненти.

10.3.4. Солоні та розсільні води займають основний об'єм підземної гідросфери. За генезисом це води високої мінералізації переважно седиментаційні і змішані, рідше – інфільтраційні розсоли вилуговування легкорозчинних солей (NaCl , KCl , CaCl_2 тощо). При формуванні розсолів початковою може бути як морська похована вода, так і інфільтраційна чи змішана. Солоним та розсільним водам відповідає у підземній гідросфері зона найбільш утрудненого водообміну, який має цикл майже мільйони років.

Підземний стік у цій зоні виявляється лише в масштабах геологічного часу. Води високої і надвисокої мінералізації (іноді до 500–600 г/дм³) характерні для закритих гідрогеологічних структур. Серед аніонів тут переважає Cl⁻, серед катіонів – Na⁺ і Ca²⁺, в цілому домінують хлориди натрію. Винятком є розсоли з високою солоністю (понад 300 г/дм³), в яких переважає кальцій і магній. Найчастіше підземні розсоли спостерігаються у найбільш занурених частинах водонапірних басейнів (глибини 3–5 тис. м).

10.4. Гідрогеологічне районування території України

Розподіл і поширення підземних вод територією України обумовлені геологічною будовою та історією розвитку різних її частин (рис. 10.4).

Ці частини являють собою відокремлені гідрогеологічні регіони, що відрізняються один від одного за віком, складом та умовами залягання геологічних порід, хімічним складом підземних вод.



Рис. 10.4. Картохсхема гідрогеологічного районування території України: А – Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн; Б – Волино-Подільський артезіанський басейн; В – Причорноморський артезіанський басейн; Г – гідрогеологічна провінція Донецької складчастої області; Д – область тріщинних вод Українського щита; Е – гідрогеологічна провінція складчастої області Гірського Криму; Ж – гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат [36]

Наразі в основу гідрогеологічного районування території України покладено принцип супідрядності таксономічних одиниць і геолого-структурно-гідродинамічний принцип, що дозволяють розглядати на різних рівнях кожен одиницю районування як гідродинамічну ємність, в якій підземні

води рухаються від області живлення до області розвантаження. У межах України виділено сім гідрогеологічних структур першого порядку: Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн; Волино-Подільський артезіанський басейн; Причорноморський артезіанський басейн; гідрогеологічна провінція Донецької складчастої області; область тріщинних вод Українського щита; гідрогеологічна провінція складчастої області Гірського Криму; гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат (див. рис. 10.4).

10.4.1. Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн. Басейн знаходиться у північно-східній частині України у межах Дніпровсько-Донецької западини і охоплює території Чернігівської, Сумської, Полтавської, Харківської (без південно-східної частини) і північні частини Київської, Черкаської і Луганської областей (табл. 10.2).

Таблиця 10.2. Характеристика хімічного складу підземних вод основних водоносних горизонтів і комплексів Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну [36]

Система	Мінералізація води, мг/дм ³	Твердість, мг-моль/дм ³	Переважаючі йони
<i>Кайнозой</i>			
Четвертинна	100–5300	3,0–10,0	C ^{ca} , S ^{Na} , S ^{ca}
Неогенова	300–13000	4,0–30,0	C ^{ca} , C ^{Na} , S ^{ca} , S ^{Na}
Палеогенова	500–3000	1,0–10,0	C ^{ca} , S ^{Na} , S ^{ca}
<i>Мезозой</i>			
Крейдова	100–3000	1,0–20,0	C ^{ca} , S ^{Na} , S ^{ca}
Юрська	300–19000	3,0–12,0	C ^{ca} , S ^{Na}
Тріасова	400–50000	4,0–20,0	C ^{ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Пермська	до 275000	>15,0	Cl ^{Na}
Карбон	10000–260000	>15,0	Cl ^{Na}
Девонська	до 80000	>15,0	Cl ^{Na}

Він є класичним типом артезіанського басейну, для якого притаманна витриманість поширення водоносних горизонтів і слабопроникних порід на значних площах, що визначає поверховий характер залягання водоносних горизонтів. Товща осадових порід насичена підземними водами і є єдиною водоносною системою горизонтів, у різній мірі взаємопов'язаних між собою і поверхневими водами через слабопроникні шари порід. На більшій частині території існують сприятливі умови формування прогнозних ресурсів і живлення підземних вод. Зона інтенсивного водообміну коливається від 300 до 700 м. Значна частина басейну має гідрокарбонатні змішанокатіонні води (див. табл. 10.2).

10.4.2. Волино-Подільський артезіанський басейн. Басейн розташований на заході України в межах Волино-Подільської плити, і охоплює Волинську, Рівненську, Тернопільську, західну половину

Хмельницької, північний схід Львівської, Івано-Франківської і Чернівецької областей та незначну частину Вінницької області.

Басейн характеризується сприятливими умовами формування прогнозних ресурсів підземних вод і наявністю в ньому водозбагачених прісних водоносних горизонтів (табл. 10.3), які складають потужну зону (на півночі і сході до 1 км і більше).

Особливою рисою басейну є наявність широко розвинутої системи водоносних горизонтів, які практично не відокремлені один від одного потужними водотривами і утворюють єдиний водоносний комплекс.

Таблиця 10.3. Хімічний склад підземних вод основних водоносних горизонтів і комплексів Волино-Подільського артезіанського басейну [36]

Система	Мінералізація води, мг/дм ³	Твердість, мг-моль/дм ³	Переважаючі йони
<i>Кайнозой</i>			
Четвертинна	190–700	3,0–8,0	C ^{ca}
Неогенова	300–6000	1,0–20,0	C ^{ca} , S ^{ca}
Палеогенова	100–7000	3,0–20,0	C ^{ca} , S ^{ca}
<i>Мезозой</i>			
Крейдова	переважно < 500, рідше 3000–10000	4,0–17,0	C ^{ca}
Юрська	700–5000	4,0–12,0	C ^{ca} , Cl ^{Na}
Карбон	1000–10000	5,0–15,0	Cl ^{ca} , Cl ^{Na}
Девонська	200–150000	3,0–20,0	C ^{ca} , Cl ^{ca} , Cl ^{Na}
Силурійсько-Ордовицька	Переважно 500–1000, інколи до 3000–10000	4,0–15,0	C ^{ca} , C ^{Na} , Cl ^{Na}
Кембрійська	800–4000	8,0–11,0	C ^{ca} , S ^{ca}
<i>Неопротерозой</i>			
Едіакарій	100–700	4,0–8,0	C ^{ca} , C ^{Na}

Зона інтенсивного водообміну в регіоні обмежується глибиною розвитку тріщинуватості порід, яка складає 100–110 м у західній та центральній частинах басейну і 300–350 м – у північно-східній частині.

10.4.3. Причорноморський артезіанський басейн. Басейн розташований у південній частині України і охоплює території Одеської, Миколаївської, Херсонської областей, західної половини Запорізької області та частину Рівнинного Криму. Більша частина басейну приурочена до Причорноморської западини, степової частини Кримського півострова, яка розташована на північ від Гірського Криму – до Скіфської платформи.

Гідрогеологічні умови в регіоні складні, внаслідок різноманітності та невитриманості поширення водоносних горизонтів і слабопроникних порід, фаціальної мінливості літологічного складу водовмісних відкладів, строкатості якісного складу підземних вод.

Регіон належить до зони недостатньої зволоженості і живлення підземних вод. Зона активного водообміну збільшується з півночі на південь

від 50 до 300 м. Води басейну характеризуються підвищеними значеннями головних йонів (табл. 10.4).

Спостерігається зміна складу вод із просуванням у південних напрямках. У межах північної частини переважають гідрокарбонатно-сульфатно типові кальцієві чи натрієво-кальцієві води; зустрічаються також води гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридного кальцієвого складу. У південній частині поширені води, у складі яких перше місце займають сульфати, а в самих південних широтах – також хлориди.

Таблиця 10.4. Хімічний склад підземних вод основних водоносних горизонтіві комплексів Причорноморського артезіанського басейну [36]

Система	Мінералізація води, мг/дм ³	Твердість, мг-моль/дм ³	Переважаючі йони
<i>Кайнозой</i>			
Четвертинна	190–1000 (заплави річок); 3000–850000	8,0–30,0	C ^{Na} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Неогенова	500–20000; до 100000 (куяльницькі відклади)	3,0–80,0	C ^{Na} , S ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Палеогенова	700–45000	5,0–30,0	C ^M , S ^{Mg} , Cl ^{Na}
<i>Мезозой</i>			
Крейдова	переважно 700–5000; рідко до 70000	6,0–20,0	C ^{Na} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Юрська	400–700; рідко до 70000	4,0–7,0	C ^{Ca} , C ^{Na}
Карбон	10000–70000	15,0–30,0	Cl ^{Ca} , Cl ^{Na}
Силурійська	50000–53000	25,0–30,0	Cl ^{Na}
Кембрійська	65000	30,0	Cl ^{Na}

10.4.4. Гідрогеологічна провінція Донецької складчастої області.

Провінція розташована у південно-східній частині України і приурочена до центральної зони Донецької складчастої споруди (Донбасу). Вона охоплює більшу частину Донецької, південну частину Луганської та південно-східну частину Харківської областей. Зона зчленування Донбасу і Дніпровсько-Донецької западини відзначається складними гідрогеологічними умовами формування підземних вод (невитриманість по площі і в розрізі водоносних пластів) – табл. 10.5. Регіон характеризується посушливим кліматом та інтенсивним освоєнням підземних вод, а також суттєвим впливом відливу шахтних вод, який посилює перетікання між різними водоносними горизонтами, активізує дренаж підземних вод. Зона активного водообміну у різних частинах регіону змінюється від 100 м до 300 м і більше.

10.4.5. Область тріщинних вод Українського щита. Область розташована в центральній частині України у межах великого підняття кристалічного фундаменту і охоплює територію Житомирської, Вінницької, Кіровоградської, східну частину Хмельницької, південні частини Київської і Дніпропетровської, південно-західну частину Черкаської, північні окраїни Одеської і Миколаївської, а також північно-східну частину Запорізької областей.

Гідрогеологічні умови накопичення і циркуляції підземних вод у басейні несприятливі для формування значних об'ємів водних ресурсів, обводнення водоносних порід по площі і на глибину вкрай нерівномірне. Підземні води містяться, як у тріщинуватій зоні кристалічних порід докембрію, так і у осадових відкладах, що виповнюють заглиблення у кристалічному фундаменті (табл. 10.6).

Таблиця 10.5. Хімічний склад підземних вод основних водоносних горизонтів і комплексів гідрогеологічної провінції Донецької складчастої області [36]

Система	Мінералізація води, мг/дм ³	Твердість, мг-моль/дм ³	Переважаючі йони
<i>Кайнозой</i>			
Четвертинна	100–15000	5,0–30,0	C ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Неогенова	500–5500	4,0–30,0	C ^{Ca} , C ^{Na} , S ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Палеогенова	500–3500	2,0–13,0	C ^{Ca} , S ^{Na} , S ^{Ca}
<i>Мезозой</i>			
Крейдова	400–2000; рідко до 50000	2,0–15,0	C ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Ca}
Юрська	500–3000	3,0–15,0	C ^{Ca} , S ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Ca}
Триасова	600–5000; рідко до 50000	4,0–20,0	C ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Пермська	1200–7000; до 300000 у сольових відкладах	>15,0	S ^{Ca} , Cl ^{Na}
Карбон	1200–7000	>10,0	S ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Ca} , Cl ^{Na}
Девонська	900–7000	7,0–15,0	S ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
<i>Архей-протерозой</i>			
Докембрій	1000–6000	6,0–12,0	S ^{Ca} , S ^{Na}

Таблиця 10.6. Хімічний склад підземних вод основних водоносних горизонтів і комплексів гідрогеологічної області Українського щита [36]

Система	Мінералізація води, мг/дм ³	Твердість, мг-моль/дм ³	Переважаючі йони
<i>Кайнозой</i>			
Четвертинна	190–3300	3,0–8,0	C ^{Ca} , S ^{Na}
Неогенова	500–8000	4,0–9,0	C ^{Ca} , S ^{Ca} , S ^{Cl}
Палеогенова	100–13000	3,0–20,0	C ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
<i>Мезозой</i>			
Крейдова	300–1400	4,0–17,0	C ^{Ca}
Юрська	300–2000	4,0–12,0	C ^{Ca} , S ^{Na}
<i>Протерозой – архей</i>			
Докембрій	400–5000	4,0–10,0	C ^{Ca} , S ^{Ca} , S ^{Na} , S ^{Cl} , Cl ^{Na}

Зона активного водообміну підземних вод становить 100–150 м. Тріщинуваті породи розвинуті повсюдно, але вони відзначаються різним ступенем тріщинуватості, що обумовлює нерівномірне обводнення. Водоносність осадових відкладів, які розвинуті переважно на вододільних територіях, має локальний характер. Ці породи характеризуються неглибоким заляганням, що нерідко призводить до погіршення якості підземних вод.

Прісні гідрокарбонатно-кальцієві води з мінералізацією 190–350 мг/дм³ поширені північно-західною частиною території.

10.4.6. Гідрогеологічна провінція складчастої області Гірського Криму. Провінція розташована в південній частині Кримського півострова і приурочена до мегантиклінорю Гірського Криму, охоплюючи гірську частину Автономної Республіки Крим.

Гідрогеологічні умови регіону досить складні, що обумовлено складчастим характером геологічного розрізу та й широким розвитком карстових зон, які активно дренують верхню товщу порід та посилюють підземний стік, що впливає й на хімічний склад вод (табл. 10.7).

Таблиця 10.7. Хімічний склад підземних вод основних водоносних горизонтів і комплексів гідрогеологічної провінції складчастої області Гірського Криму [36]

Система	Мінералізація води, мг/дм ³	Твердість, мг-моль/дм ³	Переважаючі йони
Кайнозой			
Четвертинна	300–900	3,0–5,0	C ^{Ca} , Cl ^{Ca}
Неогенова	1000–1500; до 46000 (прибережні райони морів)	4,0–7,0	C ^{Ca} , S ^{Na} , Cl ^{Na}
Палеогенова	400–500	2,0–5,0	C ^{Na} , S ^{Na}
Мезозой			
Крейдова	400–40000	3,0–20,0	C ^{Ca} , Cl ^{Naa}
Юрська	300–1000; 5000–40000 (термальні води сланцевих відкладів)	3,0–8,0	C ^{Ca} , S ^{Ca} , Cl ^{Na}

Значна дренажність, слабка тріщинуватість, малі площі розвитку водоносних порід при невеликій кількості опадів та значному випаровуванні, не сприяють накопиченню значних ресурсів підземних вод.

Води водоносного горизонту у четвертинних відкладах гідрокарбонатно-кальцієві та сульфатно-кальцієві із мінералізацією 300–700 мг/дм³. У долинах річок Бельбек, Кача, Альма, Булганак склад води змінюється на хлоридно-кальцієвий, а мінералізація зростає до 800–900 мг/дм³ (див. табл. 10.7).

10.4.7. Гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат. Провінція розташована на південному заході України в межах молоді складчастої споруди Карпат, Закарпатського прогину та

Прикарпатського прогину і охоплює Закарпатську область, центральні і південні частини Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей.

Територія провінції характеризується складними гідрогеологічними умовами, що обумовлено значною різноманітністю особливостей геоморфологічної та геолого-структурної будови. Для водоносних горизонтів характерна невитриманість поширення, складність співвідношень у розрізі та нерівномірність обводнення у плані. Наявність соленосних і глинистих утворень у Прикарпатському прогині, розчленування рельєфу, структурна порушеність і низькі фільтраційні та ємнісні властивості порід не сприяють накопиченню в даній провінції значної кількості підземних вод.

Потужність зони прісних вод непостійна. Мінімальне її значення (близько 100 м) спостерігається на межі Зовнішніх Карпат (Скибової зони) із Внутрішньою зоною Передкарпатського прогину. На південь вона помітно збільшується й сягає 500 м у центральній вододільній частині Карпат, що є основною областю живлення підземних вод регіону. Таким чином, на ділянці насуву Зовнішніх Карпат на південно-західне крило Передкарпатського прогину наявне найбільш стрімке зростання мінералізації вод із глибиною. Тут уже на глибині 300 м мінералізація вод становить 140–170 г/дм³, а на глибині 500 м досягає 250–270 г/дм³ (табл. 10.8). За хімічним складом води хлоридні натрієві із високим вмістом бромю та йоду.

Таблиця 10.8. Хімічний склад підземних вод основних водоносних горизонтів і комплексів гідрогеологічної провінції складчастої області Українських Карпат [36]

Система	Мінералізація води, мг/дм ³	Твердість, мг-моль/дм ³	Переважаючі йони
<i>Кайнозой</i>			
Четвертинна	50,0–1000,0	3,0–5,0	C ^{Ca}
Неогенова	500,0–1200,0; до 300000,0 (Солотвинська западина)	4,0–7,0	C ^{Ca} , C ^{Na} , Cl ^{Na}
Палеогенова	200,0–1500,0; до 40000 (Передкарпатський прогин)	2,0–10,0	C ^{Ca} , S ^{Ca}
<i>Мезозой</i>			
Юрська	500,0–3000,0; до 270000,0 (Передкарпатський прогин)	3,0–12,0	C ^{Ca} , S ^{Ca} , Cl ^{Na}

Хімічний склад підземних вод змінюється від гідрокарбонатного кальцієвого та кальцієво-магнієвого в зоні інтенсивного водообміну через гідрокарбонатно-хлоридний і хлоридно-гідрокарбонатний натрієвий у зоні утрудненого водообміну до хлоридного натрієвого й натрієво-кальцієвого у зоні дуже утрудненого водообміну.

Завдання для самостійної роботи

Користуючись Інтернет-ресурсами, науковими статтями, картографічними джерелами: гідрогеологічними картами Волинської області «Карта водоносних горизонтів» (М 1 : 1 500 000), «Карта поширення перших від поверхні водоносних горизонтів» (М 1 : 1 500 000), «Карта глибин залягання перших від поверхні водоносних горизонтів» (М 1 : 1 500 000) (Атлас Волинської області, 1991), підготувати коротке повідомлення про поширення ґрунтових вод Волинської області та їхній хімічний склад.

Контрольні питання

1. Що таке підземні води?
2. Назвати основні особливості, що визначають формування хімічного складу підземних вод.
3. В чому полягають основні риси хімічного складу підземних вод?
4. Які зони виділяють за глибиною залягання підземних вод?
5. Що таке води зони аерації?
6. Що таке ґрунтові води?
7. Що таке міжпластові (напірні, артезіанські) води?
8. Назвати принципи гідрогеологічного районування території України.
9. Назвати основні гідрогеологічні структури першого порядку гідрогеологічного районування території України.
10. Які особливості хімічного складу води у четвертинних відкладах гідрогеологічних структур першого порядку за мінералізацією?
11. Які особливості хімічного складу води у четвертинних відкладах гідрогеологічних структур першого порядку за твердістю води?
12. Які особливості хімічного складу води у четвертинних відкладах гідрогеологічних структур першого порядку за переважаючими йонами?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- Атлас Волинської області / За ред. Ф.В. Зузука. Комітет геодезії і картографії, 1991. 42 с.
- Вовк О., Горбач В., Горбач Л., Недбайло Д. Підземні води Волинської області: умови залягання, особливості використання, шляхи збереження й поліпшення: *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2023. 37. С.110-125. (Англ. мовою, резюме – укр. мовою).
- Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України: навчальний посібник. К.: Інкос, 2009. 614 с.
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 2019. 343 с.
- Шацьке поозер'я. Т. 1 : Геологічна будова та гідрогеологічні умови : монографія / І.І. Залеський, Ф.В. Зузук, В.Г. Мельничук, В. В. Матеюк, Г.І. Бровко. Луцьк : Східноєвропейський нац. ун-т імені Лесі Українки, 2014. 190 с.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ № 11-12.

ТЕМА: ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ВОД. ПРОМИСЛОВІ ВОДИ

Мета: з'ясувати хімічний склад мінеральних вод, критерії оцінювання лікувальних властивостей, поширення та використання.

Основні терміни і поняття: мінеральні води, специфічні компоненти, води: вуглекислі, сульфідні, залізисті, миш'яковисті, йодо-бромні, кременисті, радонові, термальні.

Аудиторні завдання

1. Користуючись картосхемами підручників, атласами та довідковою літературою, охарактеризувати ресурси мінеральних вод території України.

2. На картосхемі України (додаток Б), проаналізувавши додаток В «Ареали поширення мінеральних вод України» та додаток Г «Найвідоміші бальнеологічні курорти України», позначити основні райони поширення мінеральних вод (крім Карпатської і Кримської гірських країн) та найвідоміші санаторно-курортні установи України, що функціонують на їх базі. Дати їх коротку характеристику у вигляді таблиці за планом: а) назва курорту або місцевості; б) основні типи мінеральних вод, що використовуються.

3. Зобразити на вміщених у додатках картосхемах (додаток Д «Картосхема території Українських Карпат» та додаток Е «Кримського півострова») зони поширення мінеральних вод у вказаних регіонах України. Позначити найвідоміші санаторно-курортні установи Карпат і Криму. Надати їх коротку характеристику у вигляді таблиці за планом: а) назва курорту або місцевості; б) основні типи мінеральних вод, що використовуються; в) медичні показання для застосування.

4. Підготувати письмове повідомлення про термальні води, їх класифікацію, хімічний та газовий склад, поширення в Україні.

5. Підготувати письмове повідомлення про промислові води в Україні.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 11-12

11. ПІДЗЕМНІ МІНЕРАЛЬНІ ВОДИ

Зміст

11.1. Поняття про мінеральні води. – С. 135.

11.2. Йонний склад мінеральних вод. – С. 137.

11.3. Бальнеологічні групи мінеральних вод. – С. 138.

11.4. Мінеральні води України. – С. 142.

11.5. Класифікації мінеральних вод України (2003 р.). – С. 145.

11.6. Термальні води. – С. 146.

• 12. ПРОМИСЛОВІ ВОДИ. – С. 147.

11.1. Поняття про мінеральні води

Мінеральними називаються *природні води*, які внаслідок специфічних особливостей складу (фізичних і хімічних) сприятливі для організму людини, мають лікувальні властивості (табл. 11.1).

Таблиця 11.1. Критерії оцінювання мінеральних лікувальних вод

Критерій	Назва вод	Значення показника
Загальна мінералізація, г/дм ³	Слабкої мінералізації	2,0–5,0
	Середньої мінералізації	5,0–15
	Високої мінералізації	15–35
	Розсольні	35–150
	Міцнорозсольні	> 150
Вміст CO ₂ (H ₂ CO ₃ + CO ₂), г/дм ³	Слабковуглекислі	0,5–1,4
	Вуглекислі середньої концентрації	1,4–2,5
	Сильновуглекислі	> 2,5
Вміст H ₂ S _{заг} (H ₂ S + HS), 10 ⁻³ г/дм ³ • при рН 6,5 • при рН 6,5-7,5 • при рН >7,5	Слабкосульфідні	10–50
	Сульфідні середньої концентрації	50–100
	Міцні сульфідні	100–250
	Дуже міцні сульфідні	>250
	• сірководневі	
	• сірководневі сульфідні • гідросульфідні	
Вміст As, 10 ⁻³ г/дм ³	Миш'яковисті	0,7–5,0
	Міцні миш'яковисті	5,0–10,0
	Дуже міцні миш'яковисті	>10,0
Вміст Fe (Fe ²⁺ + Fe ³⁺), 10 ⁻³ г/дм ³	Залізисті	20–40
	Міцні залізисті	40–100
	Дуже міцні залізисті	> 100
Вміст Br ⁺ , 10 ⁻³ г/дм ³	Бромні	25
Вміст J, 10 ⁻³ г/дм ³	Йодні	5
Вміст H ₂ SiO ₃ + SiO ₃ , 10 ⁻³ г/дм ³	Кременисті	50
Вміст Ra, 10 ⁻³ г/дм ³	Слаборадієва	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻¹⁰
	Середньорадієва	10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻⁹
	Сильнорадієва	>10 ⁻⁹
Вміст Rn, мКі/дм ³	Слаборадієві	5–40
	Радонові	40–200
	Високорадонові	>200
Реакція води, рН	Сильнокислі	3–3,5
	Кислі	3,5–5,5
	Слабокислі	5,5–6,8
	Нейтральні	6,8–7,2
	Слабколужні	7,2–8,5
	Лужні	> 8,5
Температура, °С	Холодні	< 20
	Теплі (слабкотермальні)	20–35
	Гарячі (термальні)	35–42
	Дуже гарячі (високотермальні)	> 42

Мінеральні вод одними з перших серед природних вод почали вивчати на хімічний склад. Термін «мінеральні води» досить умовний, оскільки всі природні води містять мінеральну (звичайно найбільшу) та органічну частини. Цей термін увійшов у практику і вживається стосовно лікувальних вод. Втім його не треба ототожнювати з поняттям високомінералізованих

вод. Величина мінералізації є важливим критерієм у понятті «мінеральні води», проте мінеральні води бувають і з малою мінералізацією (наприклад, марціалні залізисті води).

Характеристиками лікувальних мінеральних вод, крім мінералізації, є наявність у складі характерних компонентів, а також специфічні фізичні властивості (див. табл. 11.1).

Найважливіші в бальнеологічному відношенні ознаки води: 1) величина мінералізації; 2) особливості йонного складу; 3) газовий склад (розчинені та спонтанні гази); 4) вміст деяких (фармакологічно важливих) мікроелементів; 5) радіоактивність; 6) величина pH; 7) температура.

Підземні мінеральні води часто представлені мінеральними джерелами, які самовиливаються під гідростатичним тиском або напором газів. У наш час мінеральні води часто виводять на поверхню штучно, за допомогою бурових свердловин. Мінеральні джерела належать як до глибинних вод, так і до вод, які сформувались у порівняно неглибоких шарах землі.

Умови формування хімічного складу води мінерального джерела важко з'ясувати. Проте незалежно від походження води, вона, перш ніж вийти на денну поверхню, має пройти складний шлях пустотами і тріщинами у земній корі, взаємодіючи з різноманітними породами. Нечасто трапляються випадки, коли хімічний склад джерела формується цілком за рахунок глибинного походження; більшою мірою він або стосується порід осадового походження або частково комбінується з ними. Отже, вони в процесі міграції збагачуються різноманітними компонентами, які часто не мають нічого спільного з початковим складом.

11.2. Йонний склад мінеральних вод

11.2.1. Головні йони. Мінеральні води надзвичайно різноманітні як за величиною мінералізації, так і за концентраціями та співвідношенням між йонами. Мінеральні води терапевтичного значення мають помірну мінералізацію (у межах концентрацій питного сприйняття). Навпаки, мінеральні води для ванн мають підвищену мінералізацію, але таку, яка не перевищує 120–150 г/дм³.

З наведених показників видно (див. табл. 11.1), що різниця температур між холодними і гарячими водами становить 20 °С. Межі температурних норм встановлено згідно зі сприйняттям людського організму. Теплими називають води з температурою, нижчою температури тіла людини, гарячими – води, які досягають можливих меж температури організму, і дуже гарячими – води, які мають температуру, вищу від граничної для організму.

Взаємозв'язок між хімічним складом води і складом порід та гідрогеологічними умовами дає змогу зробити деякі узагальнення щодо територіального розташування мінеральних вод. О.І. Дзенс-Литовський і Н.І. Толстихін розробили картосхему мінеральних вод, на якій виділено три групи (провінції) мінеральних вод.

I. Група гідрокарбонатно-кальцієвих і магнієвих (рідше карбонатно-натрієвих) холодних і теплих вод.

II. Група натрієвих вод змішаного аніонного складу, термальних, часто - слабомінералізованих, які газують азотом.

III. Група солоних вод, сильно мінералізованих, часто холодних, практично без газів або газуючих азотом у поверхневих шарах чи метаном у глибших.

Кожна провінція, виокремлена за складом води і геологічними умовами, подрібнена на гідрохімічні області, райони, зони, поля чи фації.

11.2.2 Мікроелементи. Концентрації мікроелементів у мінеральних водах, як правило, підвищені порівняно з іншими природними водами. Для багатьох з них визначено біологічну роль, але для значної частини мікроелементів їх фізіологічне значення для організму людини ще не повністю вивчене. Мікроелементи за бальнеологічними властивостями поділяють на чотири групи:

1) елементи з вираженою фармакологічною дією (Fe, Co, As, I, Br, B), бальнеологічний вплив яких безумовний; елементи з точно визначеним значенням в обмінних, переважно гормональних і ферментативних процесах в організмі (I, Fe, Cu, Mo, Zn, Co, Mn, можливо, Na, Ba і Cd), для яких немає точних кількісних оцінок при використанні їх у мінеральних водах;

2) елементи, токсичні для людини (As, Pb, Se, Hg), вміст яких повинен нормуватися при вживанні людиною згідно з нормами питної води;

3) елементи, виявлені в тканинах і рідинах організму, біологічну роль яких до цього часу точно не визначено (Ti, Zn, Cs, Ge та ін.).

11.3. Бальнеологічні групи мінеральних вод

В.В. Іванов та Г.О. Невраєв виділили вісім основних бальнеологічних груп мінеральних вод:

- 1) без специфічних компонентів і властивостей;
- 2) вуглекислі;
- 3) сульфідні (сірководневі);
- 4) залістисті, миш'яковисті та з високим вмістом Mn, Cu, Al.;
- 5) бромисті, йодисті;
- 6) з високим вмістом органічних речовин;
- 7) радонові;
- 8) кременисті.

При загальнішому підході групи 2–8 об'єднують в єдину групу – води специфічного складу.

Мінеральні води без специфічних компонентів і властивостей мають бальнеологічний вплив на організм людини за рахунок загального сольового складу і мінералізації. Газовий склад в основному азотний і метановий. За хімічним складом ці води переважно хлоридні і сульфатні з мінералізацією води від 2 до 150 г/дм³.

Вуглекислі води є найціннішими і найпоширенішими. Лікувальний ефект забезпечується високою концентрацією CO₂ (понад 500 мг/дм³ для пиття і понад 1400 мг/дм³ для ванн). Склад різноманітний, часто домінує йон HCO₃⁻. Мінералізація вод – від сотень мг/дм³ до 90 г/дм³.

Сульфідні (сірководневі) води. Виділяються за наявністю вільного сірководню та гідросульфідного йона. Використовуються переважно для ванн. Згідно з нормами вміст загального сірководню в них має перевищувати 10 мг/дм³. У кислому середовищі присутній переважно H₂S, у лужному – HS⁻. Сірководень у повітрі дуже нестійкий і окиснюється з утворенням H₂O і SO₂.

Діоксид сірки є джерелом формування сульфатних йонів в атмосфері.

Сульфідні мінеральні води характеризуються великою різноманітністю хімічного складу, мінералізації та концентрації загального сірководню. Серед них трапляються гідрокарбонаті, сульфідні, хлоридні води. Мінералізація сульфідних вод може досягати гранично високих значень – понад 500 г/дм³.

Залізисті, миш'яковисті води та води з високим вмістом Mn, Al, Cu, Zn та інших металів. Лікувальна дія цих вод зумовлюється вмістом наведених мікроелементів та деяких інших. Норма для залізистих вод становить 20 мг/дм³ щодо Fe, *миш'яковистих* - 0,7 мг/дм³ щодо As.

Миш'яковисті води містять As у формі миш'яквистої кислоти H₂AsO₃, та її йонів HAsO₃²⁻ і H₂AsO₃⁻, арсенатні у формі арсенатної кислоти H₃AsO₄ та її йонів HAsO₄⁻ і H₂AsO₄²⁻. Найпоширеніші дві бальнеологічні групи вод – вуглекислі миш'яковисті та кислі арсенатні, які спостерігаються на Кавказі, Закарпатті.

Характерною особливістю групи миш'яковистих вод є їх висока газонасиченість (3,5–9,0 г/дм³). У газовому складі переважає CO₂ (95–100%), містяться азот і благородні гази. В аніонному складі домінують гідрокарбонати і хлориди, в катіонному – натрій. Максимальний вміст As виявлено у синьогірських водах 60–70 мг/дм³.

Бромисті та йодисті води вважаються кондиційними при концентрації брому не менш ніж 25 мг/дм³ та йоду не менш ніж 5 мг/дм³. Використовуються як для пиття, так і для ванних процедур. Це переважно хлоридні натрієві, натрієво-кальцієві та кальцієво-натрієві солоні та розсолні води глибоких водоносних горизонтів, де в газовому складі домінує метан і азот.

Мінеральні води з високим вмістом органічних речовин. Найбільш типовою є вода Нафтуса (м. Трускавець), яка відома вже понад сто років (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Бювет мінеральних вод № 1 у м. Трускавець Львівської області, в якому подаються різні типи мінеральних вод

Основний бальнеологічний ефект, який створюють ці води, пов'язаний, імовірно, з впливом на організм людини комплексу розчинених у воді

органічних речовин переважно нафтового походження. У межах курорту Трускавець виявлено 7 типів вод, які розрізняються за мінералізацією і сольовим складом. Серед них є ультрапрісні, солоні та розсолні води.

Радонові води. До них належать мінеральні води, вміст радону в яких перевищує 5 мКі/дм³. Виділяють дві групи радонових вод за загальним складом: прісні та солонуваті киснево-азотні гідрокарбонатного і сульфатного складу і води ускладненого складу, які містять інші бальнеологічні компоненти. До останньої групи належать широковідомі п'ятигорські, цхалтубські радонові води.

Кременисті терми – гарячі води з температурою понад 35 °С, які містять не менш ніж 50 мг/дм³ H₂SiO₃. Часто в цих водах підвищені концентрації й інших лікувальних компонентів. Виділяють азотні, азотно-метанові, метанові та вуглекислі кременисті терми.

Гази. Розчинені у воді в підвищених концентраціях гази є однією з важливих особливостей мінеральних вод. Вони характеризують не лише їх лікувальні властивості, а й геохімічні та геологічні умови формування їх складу залежно від умов залягання.

В.І. Вернадський вважав наявність газів однією з важливих характеристик природних вод, поділяв їх на води кисневі, вуглекислі, азотні, метанові, сірководневі та водневі.

В.В. Іванов виділяє для лікувальних мінеральних вод приблизно такі самі групи газів: 1) сірководнево-вуглекислі; 2) вуглекислі; 3) азотно-вуглекислі; 4) азотні; 5) метанові; в тому числі азотно-метанові та сірководнево-метанові.

Крім газів, які перебувають у розчиненому стані, у воді мінеральних джерел одночасно містяться гази у спонтанному стані, тобто у вигляді найдрібніших дисперсних часточок (емульсій, бульбашок) та у вигляді невеликих струменів, які безперервно або через паузи виділяються з води. Спонтанні гази свідчать про насиченість ними води. За походженням вони або виділились із води внаслідок зниження їх парціального тиску при наближенні до поверхні, і в цьому випадку вони за генезисом пов'язані з йонним складом, або приєднались у вигляді самостійних газових струменів до води на шляху її пересування.

Кисень присутній лише у незначних кількостях у водах, безпосередньо пов'язаних з поверхнею землі. Азот міститься як у поверхневих, так і в глибинних водах. Води, які містять СН₄ (та деякі вуглеводні), майже завжди перебувають у спонтанному стані.

Найбільше значення у мінеральних лікувальних водах мають СО₂ і Н₂С. Вміст СО₂ для води більшості мінеральних джерел часто досягає великих кількостей. Це пов'язано зі значною розчинністю СО₂ у воді, а також поширеністю вуглецю в земній корі. Наприклад, у джерелі Святого Маделена (Уелс) міститься 4,0 г/дм³ вільного СО₂. При виході на поверхню вода джерел з таким великим вмістом СО₂ «кипить» від газу, що бурхливо виділяється і значна кількість якого перебуває у спонтанному стані. Виділення мінеральними джерелами газу часто стає настільки значним, що його уловлюють і зріджують у балонах.

Іншим важливим газом у мінеральних водах є сірководень. Втім концентрація його значно нижча, ніж СО₂, тому вміст Н₂С становить близько

50–100 мг/дм³ і вважається вже досить значним. Пояснюється це тим, що у більшості випадків походження сірководню пов'язане не з вулканізмом, а з процесом відновлення сульфатів; крім того, H₂S має меншу хімічну стійкість, ніж CO₂, легко зв'язується з металами – окиснюється.

У табл. 11.2 наведено характеристику деяких відомих лікувальних мінеральних вод Європи та України.

Таблиця 11.2. Хімічний склад деяких лікувальних мінеральних вод Європи та України [11]

Курорт, джерело-вода, країна	Мінералізація, г/дм ³	Тип води	Специфічні компоненти, г/дм ³	pH	T, °C
1	2	3	4	5	6
Вуглекислі					
Луги (Лужанська), Закарпатська обл., Україна	4,3	HCO ₃ -Na	1,2 CO ₂ , F	6,2	
Поляна Квасова, Закарпатська обл., Україна	10,5	HCO ₃ -Na	2,1 CO ₂ , F, B	6,4	
Свалява, Закарпатська обл., Україна	4,0	HCO ₃ -Na	2,1 CO ₂ , F,	8,0	
Криниця (Польща), дж. Зубер	29	HCO ₃ -Na	3,39 CO ₂	7,3	5,0
Карлові вари (Чехія), дж. Вржидло	6,0	HCO ₃ -SO ₄ -Na		-	71,4
Маріанські Лазні (Чехія), дж. Фердинанд	11,4	SO ₄ -HCO ₃ -Na	1,2 CO ₂ ; 0,034 Fe	6,7	6
Віши (Франція), дж. Гран-Гріль	7,0	HCO ₃ -Na	0,91 CO ₂ ; 0,09 H ₂ SiO ₃	-	41,5
Вісбаден (Німеччина), дж. Трьох Лілей	8,5	Cl-Na	0,45 CO ₂ ; 0,008H ₂ SiO ₃	-	59
Боржомі (Грузія)	6,4	HCO ₃ -Cl-Na	0,97 CO ₂	6,8	33
Сульфідні					
Немирів, Львівська обл., Україна	2,7	SO ₄ -Ca- Na	0,167 H ₂ S	7,3	
Трускавець (Нафтуся), Львівська обл., Україна	0,7	HCO ₃ -Ca-Mg	бітуми, гуміни	7,2	6,5
Синяк, Закарпатська обл., Україна	1,4	SO ₄ -Ca	0,06 H ₂ S	6,8	
Черче, Івано-Франківська обл., Україна	2,2	SO ₄ -HCO ₃ -Ca	0,08 H ₂ S	7,1	
Кемері (Латвія)	2,4	SO ₄ -Ca-	0,014 H ₂ S	7,1	7,0
Радонові					
Хмільник, Вінницька обл., Україна	0,7	HCO ₃ -Ca	1,85 Rn	7,3	
Миронівка, Київська обл., Україна	2,2	HCO ₃ - Ca-Mg	0,6 Rn	7,0	
Цхалтубо (Грузія)	0,8	SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Ca	2,5 Rn	-	34,8
Брамбах (Німеччина),	1,8	HCO ₃ -SO ₄ -Na-Ca	2,58 CO ₂ , Rn	5,9	7,5

11.4. Мінеральні води України

На території України спостерігаються провінції:

- 1) вуглекислих вод областей молодого магматичного діяльності у внутрішніх Карпатах;
- 2) азотних, азотно-метанових і метанових вод артезіанських басейнів, крайових прогинів та складчастих областей. Ця найбільш поширена провінція включає зону сірководневих вод, розвинутих уздовж західної країни Руської платформи;
- 3) радонових киснево-азотних вод масивів кристалічних порід у межах Українського кристалічного масиву.

Води без специфічних компонентів і властивостей. Лікувальні властивості цієї групи вод зумовлюються йонним складом та мінералізацією. Родовища в Україні наведено на рис. 11.2.



Рис. 11.2. Родовища мінеральних вод без специфічних компонентів із затвердженими запасами

Переважають сульфатні та хлоридні, натрієві та кальцієво-натрієві води дуже широкого діапазону мінералізації від 1–3 до 250–300 г/дм³ і більше.

Газовий склад їх азотний (киснево-азотний) іноді метановий, температура від 1–6 °С до 60–70 °С, реакція середовища від слабкислої до лужної.

Ці води мають дуже широке лікувальне призначення і використовуються як питні лікувальні, лікувально-столові води, а також для зовнішнього застосування.

Вуглекислі води. Це один з найбільш цінних різновидів мінеральних вод, який використовують у лікувальній практиці, дуже поширений у

Закарпатській області, переважно у межах внутрішніх Карпат і зони Вигорлат-Гутинського вулканічного хребта (рис.11.3).



Рис. 11.3. Родовища мінеральних вод із вмістом специфічних компонентів із затвердженими запасами

Води типу «Нарзан» найбільш поширені, серед українських вуглекислих вод. Значні резерви вод цього типу є поблизу Ужгорода, у Рахівському районі. Вони мають невелику мінералізацію ($1\text{--}3 \text{ г/дм}^3$), вміст вуглекислого газу коливається від $0,8$ до $2,9 \text{ г/дм}^3$. Джерела типу «Боржомі» зосереджені переважно у Мукачівському районі Закарпатської області. Найбільш значні родовища експлуатуються курортами і заводами розливу мінеральних вод «Поляна Квасова», «Лужанський», «Плосківський». Мінеральний склад вод даного різновиду майже цілком представлений содою ($4,3\text{--}11 \text{ г/дм}^3$). У мінеральному складі цих вод виявлено підвищений вміст таких біологічно активних йонів, як фтор і бор.

Найкрупніші родовища мінеральних вод типу «Єсентуки» зосереджені в Хустському районі ($5,9\text{--}10,5 \text{ мг/дм}^3$). За хімічним складом води гідрокарбонаті натрієві (сода).

Води типу «Арзні» відрізняються від інших типів вуглекислих вод хлоридним, натрієвим складом і високою мінералізацією. У Закарпатті вони відомі в долинах р. Уж і її притоків. Мінералізація води досягає 16 г/дм^3 , у сольовому складі переважає хлорид натрію.

Вуглекислі води наведених типів містять підвищену кількість (порівняно з прісними водами) йоду, фтору, бору, а місцями - також органічної речовини та сірководню. Розчинені в цих водах гази на $90\text{--}99 \%$ представлені вуглекислою.

Сульфідні води. Районом скупчення основних родовищ сульфідних мінеральних вод на території України є південно-західна частина Волино-Подільського артезіанського басейну в межах приграничної зони південно-західного краю Руської платформи і Передкарпатського прогину від кордону з Польщею до м. Чернівці.

У південній частині зони поблизу смт Немирів Львівської області розташовується найбільше джерело міцних сульфідних вод з вмістом сірководню 60–156 мг/дм³. За хімічним складом вода є сульфатного, кальцієво-натрієвого типу з мінералізацією близько 2,7 г/дм³. Відомі також джерела в цьому регіоні поблизу с. Шкло Львівської області.

У південній частині зони розвитку сульфідних вод біля с. Щербинці Чернівецької області розташоване також родовище сульфідних мінеральних вод, з вмістом сірководню 35–52 мг/дм³, за складом сульфатно-натрієвих вод з мінералізацією 3,1 г/дм³.

Води залізисті та миш'яковисті. Залізисті лікувальні мінеральні води на території України трапляються не часто. Вони відомі переважно в межах гірськоскладчастої області Карпат, у зоні розвитку вуглекислих мінеральних вод (селища Келечин і Кобилецька Поляна Закарпатської області).

Миш'яковисті води обмежено поширені (біля с. Кваси Рахівського району).

Води з високим вмістом органічних речовин. До цієї групи мінеральних вод належить вода відомого джерела «Нафтуса» на курорті Трускавець Львівської області, а також джерела березівських мінеральних вод у районі Харкова. Вище вже було розглянуто основні компоненти складу цього типу вод (див. рис. 11.3).

Радонні води поширені в районі Українського кристалічного масиву (міста Полонне, Житомир, Коростишів, Біла Церква, Умань, Звенигородка, Знам'янка) (див. рис. 11.3). Вміст радону у водах коливається в межах 10⁻⁹–10⁻⁸ г/дм³, за складом води гідрокарбонатно-кальцієво-магнієві з мінералізацією 1–3 г/дм³. Високі концентрації радону спостерігаються в районі міст Біла Церква, Миронівка, Хмільник.

Отже, лікувальні мінеральні води (з урахуванням вод без специфічних компонентів) є майже в усіх областях України. Найбільшу кількість джерел виявлено в Передкарпатті, Закарпатті й Криму.

Природні столові води. Деякі мінеральні води використовують як освіжаючий столовий напій, який сприяє підвищенню апетиту і вживається замість прісної води, без будь-яких медичних показань. Але при цьому треба пам'ятати, що використовувати як столовий напій мінеральні води можна при хлоридно-натрієвому типі з мінералізацією не вище ніж 4–4,5 г/дм³, для гідрокарбонатних вод – з мінералізацією близько 6 г/дм³. Інші типи мінеральних вод, а також названі, але з вищою мінералізацією, обов'язково вживаються під контролем лікаря, оскільки вони фізіологічно дуже активні.

На етикетках розливої мінеральної води для споживачів позначають її призначення: лікувальна, лікувально-столова, столова. Води типу «Оболонська», «Житомирська», «Черкаська» та інші, що розливають в основному у великих містах, є питними газованими прісними водами, так званими природними

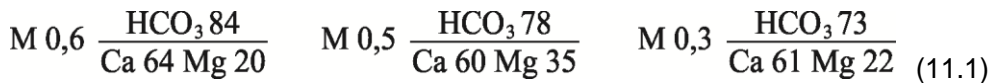
столовими водами, які можна вживати без обмежень (мінералізація менше 1,0 дМ³).

Згідно з державним стандартом України ДСТУ-878-93 «Води мінеральні питні» [135], залежно від мінералізації, наявності біологічно активних компонентів і застосування, мінеральні питні води поділяються на:

- 1) лікувально-столові;
- 2) лікувально-столові змішаного складу;
- 3) природні столові води.

У зв'язку з дефіцитом чистих прісних вод в Україні спостерігається зростання випуску природних столових вод.

Приклади складу природних столових вод, за визначальними йонами, що використовуються без обмежень:



11.5. Класифікації мінеральних вод України (2003 р.)

Нова класифікація мінеральних вод України була розроблена в 2003 р. колективом авторів за редакцією В.М. Шестопалова (Інститут геологічних наук НАН України) [74]. Класифікація враховує способи застосування мінеральних вод – внутрішнє і зовнішнє.

Категорії. На вищому рівні класифікації мінеральні води поділяються на три категорії:

- *без специфічних компонентів* – лікувальне значення яких зумовлюється, в основному, йонним складом і загальною мінералізацією;
- *із специфічними компонентами* – особливості лікувальної дії і використання яких зумовлено наявністю підвищених концентрацій біологічно активних компонентів (вуглекислі, сульфідні, радонові води, води з високим вмістом бром, йоду та органічних речовин).
- *із специфічними фізичними властивостями.*

Види. На наступному рівні класифікації мінеральні води поділяються на 13 видів за складом основних компонентів: вуглекислі, сульфідні, води з органічними речовинами, борні, кременисті, миш'яковисті, бромні та йодні, поліметалеві, залізисті, радонові, води, лікувальна дія яких пов'язана з особливостями структури, що проявляються в значеннях рН, Eh та інших фізичних показників, термальні води. На цьому рівні використано наскрізний принцип нумерації видів – від I категорії через II до III категорії, тобто від вод за складом основних компонентів з поступовим додаванням специфічності.

Підвиди. У свою чергу, види вод поділяються на підвиди – моно-, бі- та полікомпонентні.

Класи та підкласи. Наступний ступінь класифікації – *класи і підкласи* за складом основних йонів: 15 класів за аніонами і 15 підкласів за катіонами. Вони перш за все використовуються для поділу мінеральних вод I категорії, а також для додаткового класифікаційного поділу вод II і III категорій.

Групи. Подальший поділ вод відбувається на *групи* за мінералізацією та кількісним вмістом специфічних компонентів або за фізичними властивостями (рН, Eh, температура тощо).

За однією з основних класифікаційних ознак – мінералізацією води (інтегральний критерій), яка дає змогу для формального розділення звичайних питних і мінеральних вод, їх поділяють на (г/дм³): низькомінералізовані – менше 1; маломінералізовані – 1–5; середньомінералізовані – 5–15; високмінералізовані – 15–35; розсольні – понад 35.

Типи, підтипи. На найнижчому рівні класифікації мінеральні води поділяють за типами їх унікальних назв і бальнеологічних характеристик. Деякі типи вод поділяються на підтипи за уточненими бальнеологічними призначеннями. Всі води позначаються літерно-цифровим кодом із застосуванням римських та арабських цифр, а також літер латинського і грецького алфавітів. Кодуються категорія, номер виду, підвид, номер класу аніонів, підклас катіонів і група вод за мінералізацією. За новою класифікацією мінеральних вод України здійснено класифікацію вод 323 родовищ.

11.6. Термальні води

Умови формування підземних термальних вод варто розглядати з погляду теорій формування підземних вод взагалі. У цьому плані більшість вчених вважає що основні запаси, підземних термальних вод формуються в результаті інфільтрації атмосферних опадів або за рахунок вод морського генезису, тобто основними теоріями їх формування є інфільтраційна та седиментаційна. Частка ювенільних вод незначна, її врахування можливе лише в окремих випадках, зумовлених тектонічними чинниками.

Джерелом тепла для всіх термальних вод є регіональне теплове поле. Джерелами розчинених речовин є в основному породи, які містять воду, а також речовини, перенесені інфільтраційними та морськими водами.

Процеси формування складу термальних вод мають деякі специфічні риси, пов'язані з чинниками температури й тиску. Ученими доведено, що вода у формі пари на великих глибинах не існує. Кипіння високотемпературних вод, що супроводжується пароутворенням і дегазацією, виникає тільки в приповерхневих умовах при різкому зниженні тиску й збереженні високої температури. При цьому компоненти речовинного складу парогідротерм розподіляються між паровою і рідкою фазами. Конденсат пари має низьку мінералізацію.

Існують декілька класифікацій термальних вод за їх хімічним та газовим складом, зокрема, класифікація В.В. Іванова та класифікація В.І. Кононова;

1) сірководнево-вуглекислі гідротерми (парогідротерми), приурочені до активних вулканічних структур, вміщують крім H₂S і CO₂, також HCl, HF, SO₂ та інші гази. Температура парогазових струменів у кратерах активних вулканів досягає 700 °С; мінералізація – 35 г/дм³, склад SO₄²⁻, Cl⁻ – SO₄²⁻, рідше Cl⁻; рН низький. У катіонному складі переважають Fe, Al, NH₄⁺. Трапляються унікальні води з рН = 0,2–0,5 та мінералізацією понад 500 г/дм³, Cl⁻ – Na⁺ складу (Донакільська западина на кордоні Ефіопії та Еритреї, виконана товщею евапоритів).

2) вуглекисло-водневі парогідротерми зустрічаються в океанічних рифтах і в зонах їх прилягання до континентальних структур. Крім H₂, що

міститься в значних, а іноді переважаючих кількостях, у парогідротермах, присутні CO_2 , H_2S , N_2 та ін. Вуглекеисло-водневї парогідротерми, що знаходяться в базальтах океанічної кори, у підводних умовах є в основному морськими водами. На континенті – це маломінералізовані ($< 1,0 \text{ г/дм}^3$), слаболужні води з підвищеним вмістом SiO_2 і перевагою SO_2 , HCO_3^- і Na .

3) вуглекислі парогідротерми у сфері впливу активних вулканічних осередків мають температуру від $180 \text{ }^\circ\text{C}$ до $350 \text{ }^\circ\text{C}$ та мінералізацію нижче $1,0 \text{ г/дм}^3$; HCO_3^- або SO_4^{2-} -- HCO_3^- склад. У родовищах з перевищенням у гідротермах не пари, а води вони мають, Cl^- -- Na^+ склад і мінералізацію до $5,0 \text{ г/дм}^3$. Там, де розвинуто евапоритові товщі (Солтон-Сі в Каліфорнії), мінералізація високотермальних вуглекислих вод досягає 305 г/дм^3 .

4) унікальні розсоли сульфатного калієво-натрієвого складу виявлено в кальдері Бачано поблизу Рима. Вони приурочені до вулканогенних товщ та евапоритових формацій, що вміщують сульфідні мінерали, їх мінералізація досягає 356 г/дм^3 , а температура на глибині 1400 м становить $210 \text{ }^\circ\text{C}$.

5) азотно-вуглекислі парогідротерми й гідротерми -- це в основному лужні води з Eh від 0 до 250 мВ . Парагідротерми з температурою $180\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$ формуються в зонах глибоких тектонічних порушень, мають HCO_3^- -- Na або SO_2 -- Na склад з мінералізацією до $1,5 \text{ г/дм}^3$ і $\text{pH} = 9$. У районах сучасного вулканізму островних дуг вони мають здебільшого Cl^- -- Na^+ склад з мінералізацією $1,0\text{--}6,0 \text{ г/дм}^3$ (Долина Гейзерів і Паужетка на Камчатці).

6) азотні терми, також в основному лужні ($\text{pH} = 8\text{--}10$), на глибині близько 2 км мають температуру до $150 \text{ }^\circ\text{C}$, а на виході -- нижче точки кипіння. За хімічним складом -- строкаті (HCO_3^- , SO_4 або Cl). Типовим представником, азотних HCO_3^- -- Na вод є маломінералізовані ($< 1,0 \text{ г/дм}^3$), лужні ($\text{pH} = 8$) гідротерми Рейк'явіка.

7) метанові та азотно-метанові термальні води широко розвинуті в молодих крайових та внутрішніх прогинах, неотектонічних западинах.

8) у периферичних і верхніх частинах артезіанських басейнів термальні води, як правило, прісні або солонуваті (до $10,0 \text{ г/дм}^3$), азотні (іноді з домішкою CO_2 і H_2S), SO_4 -- HCO_3^- -- Cl і HCO_3^- -- Na складу;

9) у глибоких частинах артезіанських басейнів зустрічаються азотно-метанові та метанові води Cl^- -- Na -- Ca типу з підвищеним вмістом I , Br та інших цінних мікрокомпонентів. Температура цих вод змінюється від 50 до $200 \text{ }^\circ\text{C}$: і більше, $\text{pH} = 5\text{--}9$, $Eh = 0\text{--}250 \text{ мВ}$.

На території України термальні води поширені в Дніпровсько-Донецькому, Причорноморському, Волино-Подільському артезіанських басейнах і гідрогеологічних провінціях Донецької складчастої області та складчастої області Українських Карпат (рис. 11.4).

Український щит являє собою область поширення холодних вод, оскільки води з температурою $20 \text{ }^\circ\text{C}$ залягають на глибинах 1400 м і більше, де дебїти свердловин дуже малі.

12. ПРОМИСЛОВІ ВОДИ

Промислові підземні води – це окрема категорія вод з високою мінералізацією, яка не належить до мінеральних вод.

Промисловими називаються природні підземні води, які містять у розчині корисні хімічні компоненти або їхні сполуки в кількостях, які

забезпечують їх рентабельний видобуток і переробку. З промислових вод добувають йод, бром, кухонну та глауберову солі, соду тощо. Промисловий інтерес викликають води, які мають підвищену концентрацію бору, літію, рубідію, германію, урану, вольфраму та інших речовин.



Рис. 11.4. Басейн термальної води в м. Берегове Закарпатської області

У багатьох державах світу промислові підземні води є основним джерелом отримання йоду. Понад 70 % виробництва бору забезпечується за рахунок промислових вод.

Промислові води приурочені найчастіше до глибоких частин великих гідрогеологічних структур, переважно до зон уповільненого та дуже уповільненого водообміну. У структурно-тектонічному відношенні такі системи відповідають синеклізам і западинам древніх платформ, а також передгірним прогинам і міжгірним западинам. Промислові води зустрічаються в породах найрізноманітнішого геологічного віку, складу та походження.

Характеризуються вони дуже великими напорами. На окремих ділянках п'єзометричні рівні їх у свердловинах встановлюються близько поверхні землі і навіть виливаються на денну поверхню.

Особливості розподілу і накопичення промислово цінних компонентів у підземних водах визначаються насамперед величиною їх мінералізації та хімічним складом.

За мінералізацією промислові води належать переважно до солоних вод і розсолів із концентрацією солей 250 г/дм³ і більше.

За хімічним складом вони найчастіше хлоридні натрієві, хлоридні натрієво-кальцієві. Найбільш поширені у природі бромні та йодо-бромні

води. Вміст йоду в них змінюється від слідів до 80 г/дм³ і більше, бром – від декількох мг до 10 г/дм³, калію – до 20 г/дм³ і більше.

Вміст бору у промислових водах підвищується зі збільшенням їх загальної мінералізації, а вміст йоду, як правило, не залежить від ступеня мінералізації води. Високі концентрації йоду, бром, літій, рубідій, вольфрам та інших елементів зустрічаються і в менш мінералізованих водах.

Із розчинених газів у промислових водах зустрічається метан, значно менше – вуглекислота, сірководень тощо.

На сьогодні загальноприйнятої класифікації промислових вод немає, а оцінку підземних вод для промислових цілей прийнято визначати з урахуванням мінімально допустимих концентрацій елементів і відповідно давати назви водам: бромна, йодна, літєва тощо.

Серед численних мінералізованих вод і розсолів вирізняються три основні їх типи із промисловими концентраціями елементів: 1) пластово-порові та пластово-тріщинні розсоли артезіанських басейнів платформ, передових прогинів і міжгірних западин; 2) тріщинно-жильні та пластово-жильні вуглекислі води альпійських гірсько-складчастих областей; 3) термальні води областей сучасного вулканізму.

Аналіз матеріалів з геології та гідрогеології окремих артезіанських басейнів України дає змогу вважати їх територію досить перспективною для пошуків і видобутку підземних промислових вод. Такі перспективи є у Дніпровсько-Донецькому артезіанському басейні, у Передкарпатті, у Запоріжжі. Протягом декількох століть використовуються підземні розсоли кухонної солі в межах Бахмутської котловини – Артемівське, Слов'янське та інші родовища на Донбасі.

Завдання для самостійної роботи

1. Користуючись Інтернет-ресурсами, науковими публікаціями, , підготувати коротке повідомлення про родовища мінеральних вод Волинської області, відзначивши їх хімічний склад.

2. Скласти таблицю «Санаторно-курортні установи Волинської області» (повна назва закладу, місцезнаходження, роки заснування, місткість установи, спеціалізація). Виділити шрифтом ті установи, що використовують з лікувальною метою мінеральні води.

Контрольні питання

1. Які води називаються мінеральними?
2. Чим мінеральна вода відрізняється від води з дуже високою мінералізацією?
3. Які характеристики мінеральних вод визначають їхній лікувальний вплив?
4. Проаналізувати відомі вам класифікації мінеральних вод.
5. Які типи мінеральних вод найпоширеніші в Україні?
6. Які найвідоміші курорти мінеральних вод функціонують в Україні?
7. Які санаторно-курортні заклади Волинської області використовують з лікувальною метою мінеральні води?

8. Чим природні столові води відрізняються від лікувальних мінеральних ?

9. Яким ДСТУ регулюється розлив мінеральних вод?

10. Що таке термальні води?

11. Що таке промислові води і чи належать вони до мінеральних вод?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• ДСТУ 878-93 Води мінеральні фасовані. Технічні умови. Зміна № 33 (ІПС № 3-2019)/ URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82547

• Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України: навчальний посібник. К.: Інкос, 2009. 614 с.

• Стафійчук В. І. Рекреологія : навч. посібник. К.: Альтерпрес, 2008. 264 с.

• Фоменко Н. В. Рекреаційні ресурси та курортологія : навч. посіб. К.: Центр навчальної літератури, 2007. 311 с.

• Формування мінеральних вод України: монографія / В.М. Шестопалов, Г. М. Негода, Н.П. Моїсеєва, М.О. Дружина та ін. / За ред. В.М. Шестопалова. К.: Наукова думка, 2009. 312 с.

• Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії : підручник. Київ : Ніка-Центр, 2012. 312 с.

• Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 2019. 343 с.

• Шестопалов В.М., Негода Г.М., Набока М.В., Овчиннікова Н.Б. Проблеми класифікації мінеральних вод України і перспективи виявлення їх різноманітності. *Проблеми мінеральних вод*. К., 2002. С. 13-32.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ № 13-14

ТЕМА: ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ МОРСЬКИХ ВОД

Мета: з'ясувати особливості закономірностей формування хімічного складу морських вод, зокрема Чорного і Азовського морів.

Основні терміни і поняття: океани, моря, солоність, сольовий баланс, головні йони, біогенні елементи, мікроелементи, біорізноманіття, донні осади.

Аудиторні завдання

1. Підготувати у зошитах для практичних робіт у вигляді короткої доповіді повідомлення про один з гідрохімічних показників Чорного моря (проілюструвати повідомлення картами, графіками, таблицями, діаграмами) за варіантами: 1) водний і сольовий баланс моря; 2) головні йони та солоність води; 3) вміст розчинених газів (O_2 , CO_2 , H_2S); 4) вміст біогенних елементів та їх режим.

2. Проаналізувавши лекційний матеріал, теоретичні відомості до практичного заняття, табличні дані, пояснити письмово причини наявності сірководневої зони у Чорному морі, шкідливої для живих організмів.

3. Пояснити письмово причини зростання солоності Азовського моря та наслідки зміни хімічного складу води.

4. За даними табл. 14.1 «Вміст кисню, солоність і температура води у верхній частині Чорного моря залежно від глибини» показати у вигляді графіка характер зміни солоності, температури, вмісту кисню залежно від глибини моря. Пояснити виявлені закономірності розподілу показників.

Графік будується в прямокутній системі координат на міліметровому папері формату А 4. На вертикальній осі графіка відкладаються глибини в м (масштаб – в 1 см 25 м), на горизонтальній верхній осі графіка відкладаються показники солоності води в ‰ (в 1 см – 2 ‰), температури води в °С (в 1 см – 2 °С). Для позначення вмісту кисню в мг/дм³ (в 1 см – 1 мг/дм³) провести горизонтальну лінію внизу графіка. Точки з відповідними значеннями солоності, температури, вмісту кисню сполучити лініями різних кольорів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 13-14

13. ПОХОДЖЕННЯ СОЛЕЙ, ГОЛОВНІ ЙОНИ ТА СОЛОНІСТЬ МОРСЬКОЇ ВОДИ

Зміст

13.1. Походження сольової маси океану та її склад. – С. 152.

13.2. Баланс йонного складу води океану. – С. 153.

13.3. Головні йони морської води. – С. 155.

13.4. Солоність води. – С. 156.

- 14. РОЗЧИНЕНІ ГАЗИ, БІОГЕННІ ЕЛЕМЕНТИ, ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА, МІКРОЕЛЕМЕНТИ У МОРСЬКІЙ ВОДІ. – С. 160.

Вода Світового океану є складною багатокомпонентною хімічною системою, в якій є багато хімічних сполук у розчиненому стані, в складі колоїдів, завислих речовин. Хімічні речовини надають океанічній воді особливих фізичних властивостей, які суттєво впливають на циркуляцію водних мас. В океан безперервно надходять хімічні речовини з материків, атмосфери, надр Землі і океан стає джерелом солей, які повертаються в атмосферу і на материки.

13.1. Походження сольової маси океану та її склад

Походження сольової маси та її склад зумовлені такими чинниками: 1) надзвичайно різноманітним складом океанічної води, оскільки Світовий океан, збираючи різні за складом води земної поверхні і дренуючи горизонти підземних вод, акумулює всі відомі в природі хімічні елементи; 2) вмістом в океанічній воді надзвичайно великої кількості солей, яка оцінюється в $56,3 \times 10^{15}$ т при об'ємі Світового океану $1,37 \times 10^9$ км³; 3) досить постійний у часі та однорідний у різних частинах океану і за глибиною основний склад океанічної води, що зумовлюється безперервним водообміном між окремими частинами океану.

Аніонний склад океанічної води за походженням пов'язаний переважно з речовинами, які виділялися з надр Землі (при дегазації мантиї), в той час як катіонний склад в основному – з процесом хімічного вилугування водою вивержених порід. Проте в історії формування хімічного складу вод океану (протягом мільярдів років) ще багато невстановлених рис.

Найбільші припущення містяться в гіпотезах щодо першого періоду існування океану: про кислу природу води первинного океану завдяки кислотному характеру деяких газів, що виділялись з надр Землі. Втім доречно припустити, що протягом раннього періоду історії Землі, коли не було кори вивітрювання, первинна кірка базальтів, піддаючись вилугуванню водою і кислими газами, нейтралізувала останні. Утворені при вилугуванні гідросилікати кальцію і магнію, які потрапляли в океан, внаслідок гідролізу утворювали слаболужну реакцію. Цьому ж сприяла і наявність у первинній атмосфері аміаку.

Не зовсім зрозуміло походження солоності первинного океану, оскільки загальна кількість води в ньому протягом історії Землі змінювалась. Вчений-геохімік О.П. Виноградов вважав, що суміш пари і води з газами при дегазації мантиї, ймовірно була вже у початковий період порівняно схожою з сучасною, через це океанічна вода завжди була не прісною, а мала певну солоність. У подальшому на склад вод океану впливало багато атмосферних і континентальних процесів.

З установленням на Землі окиснювальної атмосфери, тобто стійкої присутності в ній кисню, настав дуже важливий етап у формуванні хімічного складу води океану. В його водах з'явилися йони, які містять кисень (сульфатні, нітратні, нітритні та ін.).

Подальший розвиток хімічного складу води океану проходив шляхом накопичення в ньому розчинних продуктів, які утворювалися при хімічному вивітрюванні алюмосилікатів і надходили з надр Землі. З головних йонів у розчині накопичувались хлоридні, сульфатні йони та йони натрію, магнію і калію. Йони кальцію утворюють з гідрокарбонатними і карбонатними йонами

порівняно малорозчинні сполуки, тому величезні маси карбонату кальцію, особливо після періоду кембрію (близько 500 млн років тому), осаджувались на дно океанів і морів у вигляді вапняків. На дні внутрішніх морів в умовах сухого клімату накопичувалась також велика кількість кальцію у вигляді гіпсу. Тому кальцій, незважаючи на поширеність у породах, після появи сульфатних і гідрокарбонатних йонів мав к океані другорядне значення.

Крім продуктів хімічного вивітрювання алюмосилікатів, у міру утворення морських осадових порід з материковим стоком в океан, почали надходити солі осадових порід у вигляді йонів, які повторно повертались Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- (циклічні солі).

Близько 200 млн років тому, наприкінці палеозою (за даними щодо складу солей висохлих давніх морів) хімічний склад води океану в основному сформувався і став досить близьким до сучасного.

13.2. Баланс йонного складу води океану

Сучасний склад головних йонів океанічної води відносно стабільний. Між прибутком і видатком солей в океані існує динамічна рівновага, яка залежить від взаємодії океану та низки зовнішніх чинників (материки, надра Землі, атмосфера), а також від багатьох процесів в океані.

Баланс йонного складу води океану складається з двох частин.

Прибутова частина:

1) материковий стік; 2) продукти дегазації мантиї на дні океану; 3) вітровий привнос (еоловим шляхом); 4) розчинення осадів на глибинах та дні океану; 5) десорбція із завислих речовин.

Видаткова частина:

1) випадіння в осад; 2) відокремлення морів і окремих заток; 3) вітровий винос з бризками води і а випаровування з водної поверхні; 4) просочування морською водою мулів і порід дна; 5) адсорбція завислими речовинами й опадами.

З океану постійно вилучаються і одночасно надходять до нього розчинені речовини в результаті перерозподілу їх у водах океану. Наприклад, вилучення з води низки елементів при асиміляції їх організмами й одночасне виділення при біохімічному розпаді відмерлих організмів. Суттєво впливає також на перерозподіл розчинених речовин в океані надходження солей з льоду при його таненні і втрачання їх при замерзанні.

Хімічний баланс океану свідчить, що склад океанічної води мінливий. Проте визначити загальну тенденцію цих змін для величезної маси розчинених речовин в океані неможливо.

Сольова маса океану, яка становить 56×10^{15} т, настільки велика порівняно з окремими елементами балансу, що необхідно сотні тисяч років, щоб були помітні її зміни.

Так, порівнюючи загальну кількість хлоридних йонів в океані 3097×10^{12} т (табл. 13.1) з кількістю їх, яка виноситься щорічно річками 228×10^6 , можна розрахувати, що для зміни під впливом існуючого материкового стоку вмісту хлоридних йонів в океанічній воді хоча б на 0,2 ‰, тобто на величину граничної точності аналітичного визначення концентрації цих іонів, необхідно близько 200 тис. років.

Таблиця 13.1. Сольова маса океанічної води стосовно води масою 1600×10^{15} т

Йон	Маса, 10^{12} т	Йон	Маса, 10^{12} т
Cl ⁻	30976	HCO ₃ ⁻	205
Na ⁺	17232	Br ⁻	106
SO ₄ ²⁻	4321	H ₃ BO ₃ ⁻	43
Mg ²⁺	2077	Sr ²⁺	22
Ca ²⁺	653	F ⁻	2
K ⁺	619		
Всього 56256			

Для окремих морів, як правило, складають баланси хімічних компонентів за тими складниками, які можна обчислити (табл.13.2, за А.П. Цуриковою, 1971 і табл. 13.3 за Б.О. Скопинцевим, 1979).

Таблиця 13.2. Сольовий баланс Азовського моря, 10^3 т/рік

Надходження, витрачання	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _i
Надходження							
Річковий стік	1944	660	1595	6088	3504	1482	15372
Атмосферні опади	80	24	104	281	214	62	765
Приплив із Сиваша	93	231	1878	63	495	3399	6099
Приплив з Чорного моря	7488	20904	173160	5928	43056	305760	556296
Всього	6905	21819	176737	12360	47269	310643	578433
Витрата							
Стік у Чорне море	8058	20382	173484	8058	44556	300042	554580
Стік у Сиваш	238	588	4942	224	1274	8568	15834
Випаровування	–	–	–	–	–	–	–
Всього	8296	20970	178426	8282	45830	308610	570414
Різниця	1309	849	1689	4078	1439	2033	8019

Таблиця 13.3. Баланс деяких компонентів хімічного складу води Чорного моря, 10^6 т/рік

Надходження, витрачання	Cl ⁻ + Br ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Надходження					
Річковий стік	5,6	11,6	54,9	17,5	3,4
Атмосферні опади	–	–	–	–	–
Приплив з Босфору	3435	480,9	25,1	73,2	229,5
Приплив з Азовського моря	338	50	8,90	9,0	22,9
Всього	3779	543	89	100	256
Всього	3779	543	89	100	256
Витрата					
Стік у Босфор	3433	483,6	66,4	84,1	233,8
Стік в Азовське море	322	45,4	6,3	7,9	21,9
Випаровування	–	–	–	–	–
Всього	3755	529	73	92	256

13.3. Головні йони морської води

Ще на початку XIX ст. було помічено, що кількість розчинених у водах океану солей може значно відрізнятись, але сольовий склад, співвідношення різних солей, які визначають солоність вод, у всіх районах Світового океану однакові. Така закономірність формується як властивість сталості сольового складу морських вод, яку для вод Світового океану було виявлено в результаті вивчення хімічних аналізів проб води, отриманих ще під час кругосвітньої експедиції «Челенджера» (1884) В. Дітмаром (закон Дітмара).

До головних йонів океанічної води, крім Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} і K^+ , на відміну від прісних вод, належать також йони Br^- , F^- , H_3BO_3^- і Sr^{2+} , кількість яких в океані перевищує 0,001 ‰ (табл. 13.4).

Таблиця 13.4. Склад головних йонів океанічної води

Йони	На 1 кг океанічної води (S = 35 ‰)		Йони	На 1 кг океанічної води (S = 35 ‰)	
	г	%-екв		г	%-екв
Хлоридні	19,35	45,09	Натрій	10,76	38,66
Сульфатні	2,70	4,64	Магній	1,30	8,81
Гідрокарбонатні	0,14	0,19	Кальцій	0,41	1,68
Бромідні	0,07	0,07	Калій	0,39	0,82
Борна кислота	0,03	0,01	Стронцій	0,01	0,03
Сума аніонів	22,29	50,0	Сума катіонів	12,87	50
			Сума йонів	35,16	100

Перераховані 11 йонів у сумі становлять 99,99 % всіх розчинених в океані речовин. Найбільше міститься хлоридів та йонів натрію. Ці два йони становлять 83,6 % суми всіх йонів, у результаті чого океанічна вода має хлоридно-натрієвий характер. Співвідношення концентрацій аніонів становлять $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$, а для катіонів $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$.

В табл. 13.5 наведено дані про вміст головних йонів Чорного й Азовського морів.

Важливою характеристикою складу океанічної води є загальна лужність $Alk_{\text{заг}}$, яка залежить в основному від вмісту аніонів вугільної кислоти та інших йонів слабких кислот H_3BO_3^- , HSiO_3^- , HPO_4^- .

Сталість співвідношень концентрацій між головними йонами дає змогу знаходити значення будь-якого з них, не вдаючись кожного разу до аналітичного визначення.

Таблиця 13.5. Середні значення вмісту головних йонів та солоність воли Чорного й Азовського морів у порівнянні з океаном, ‰

Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Солоність
Чорне море							
5,795	-	0,697	0,253	10,23	1,441	0,198	18,614
Азовське море							
5,795	0,132	0,428	0,172	6,538	0,929	0,169	11,885
Сиваш							
6,26	-	0,77	0,31	11,13	1,65	0,21	20,33
Океан							
10,76	0,39	1,30	0,41	19,35	2,70	0,14	35,06

13.4. Солоність води

В океанічній практиці прийнято користуватися для характеристики мінералізації води солоністю, величина якої близька до суми всіх головних йонів.

Солоність морської води – це вміст у грамах усіх мінеральних речовин, які розчинені в 1 кг морської води, за умови, що бром та йод заміщені еквівалентною кількістю хлору, всі вуглекислі солі переведені в оксиди, а всі органічні речовини спалені при температурі 480 °С. Виражається вона в г/кг, тобто у тисячних частках – *промїле*, і позначається S , ‰.

13.4.1. Формули для визначення солоності води. Для визначення солоності води досить знати концентрацію хлоридного йона (точніше хлорність), який міститься в океанічній воді у найбільшій кількості і до того ж легко визначається в експедиційних умовах. *Хлорність* називають сумарний вміст у грамах на 1 кг морської води галогенів - хлору, броду, фтору та йоду при перерахуванні на еквівалентний вміст хлору. Цей спосіб при оптимальних можливостях дає змогу визначити солоність з точністю до 0,01 ‰. М. Кнудсен у 1902 р. отримав формулу

$$S = 0,030 + 1,805 Cl, \quad (13.1)$$

де Cl – хлорність води, ‰.

У 1967 р. міжнародною угодою замість формули Кнудсена була прийнята простіша:

$$S = 1,80655Cl. \quad (13.2)$$

Формула дістала назву «міжнародної», вона збігається з попередньою формулою для солоності в межах 30–40 ‰ з точністю $\pm 0,004$ ‰.

Величина солоності відрізняється від суми всіх головних йонів Σ_i , приблизно на 0,45 ‰. За Лайменом і Флемінгом, *істинна солоність* дорівнює

$$\Sigma_i = 0,069 + 1,8112Cl. \quad (13.3)$$

Оскільки сольовий склад окраїнних і середземних морів відрізняється від середнього сольового складу океанічних вод, то існують і спеціальні формули аналогічних структур для окремих морів. Так, для Чорного моря використовують формулу

$$S = 1,1856 + 1,7950 Cl; \quad (13.4)$$

для Азовського моря

$$S = 0,21 + 1,794 Cl. \quad (13.5)$$

Солоність визначається також за електропровідністю води, оскільки морська вода – це електроліт: чим більше солей у воді, тим більша електропровідність, тобто менший опір. Вимірюючи останній, можна за таблицями визначити солоність. *Солоність визначається також вимірюванням кута заломлення світла у воді*, оскільки він залежить від солоності. *Можна визначити солоність і за вимірюванням густини води.*

Дуже простий спосіб прямого вимірювання густини води за допомогою ареометра. Прилад дає змогу легко визначити густину води, а потім за допомогою таблиць отримати значення солоності. Втім, такий спосіб грубий, його точність становить до 0,05 %.

13.4.2. Неоднорідність поширення солоності у Світовому океані.

На відміну від постійного співвідношення між головними йонами, солоність океанічної води неоднакова в різних частинах океанів, морів і на різних глибинах. Тому дослідження режиму солоності океанів і окремих морів дає змогу робити висновки про походження водних мас, їх динаміку

Неоднорідність солоності в океані зумовлюється процесами, які зменшують або збільшують концентрацію йонів.

До чинників, що знижують солоність, належать: 1) випадіння атмосферних опадів на поверхню океану; 2) материковий стік; 3) вода, яка утворюється при таненні льоду; 4) випадіння солей в осад.

Серед наведених чинників найбільше значення при зміні солоності на поверхні океану має випадіння атмосферних опадів. Загальний об'єм опадів становить 411 тис. км³/рік, тобто 1200 мм шару всієї поверхні океану. Неоднакова кількість опадів у різних частинах океану зумовлює неоднорідність солоності. Стік прісних вод з материка (35,5 тис. км³/рік) також впливає на солоність морів, особливо внутрішніх, а також пригирлових ділянок океану. Так, відомий значний вплив на опріснення пригирлових районів великих річок Ганг, Нігер, Конго (Заїр) і Амазонка, який поширюється і в океан на відстань 500–1000 км. Суттєво опріснюють арктичні моря річки Об, Єнісей, Лена. Під час танення льоду біля поверхні утворюються великі маси прісної води, які сприяють зниженню солоності. Цей чинник діє лише у високих широтах і в певні періоди року. Випадіння солей в осад спостерігається переважно у низьких широтах – у тропічній та екваторіальній зонах (щорічно близько 1 361 млн т).

До процесів, що підвищують солоність, належать випаровування з водної поверхні океану й утворення льоду. Найбільше значення має випаровування, яке щорічно для всієї поверхні океану становить 447 тис. км³. Дія цього чинника, так само як і атмосферних опадів, зональна і виявляється в низьких широтах, особливо поблизу тропіків. Виділення солей при замерзанні води набуває значення лише для полярних районів морів і океанів.

На поверхні океану величина солоності, якщо не беруть до уваги арктичний басейн, коливається в порівняно вузькому діапазоні, рідко виходячи за межі 32–37,5 ‰ (рис.13.1). Середня солоність поверхні Світового океану – 35,16 ‰ (у географічній літературі часто заокруглюють до 35 ‰), а морів – ширший діапазон від 8 до 42 ‰, крім сильно опріснених заток. Лінії з однаковою солоністю на карті називаються *ізохаліни*.

Із загальної схеми розподілу солоності води на поверхні океану, представленої на картах, випадають внутрішні моря, де опріснювальний вплив річок часто дуже великий. Так, солоність води Балтійського моря (10–12 ‰, у затоках 2–6 ‰), Білого (24–30 ‰), Чорного (16–18 ‰), Азовського (10–12 ‰) помітно менша, ніж солоність вод океану (табл. 13.6). Проте буває і навпаки – суттєве збільшення солоності у деяких внутрішніх морях. Наприклад, якщо прісна складова водного балансу невелика, а

випаровування води значне, солоність вод може досягати 38–39 ‰ (Середземне море, Перська затока) і навіть 40–42‰ (Червоне море) – див. табл. 13.6.

До більш солоних належать поверхневі води Атлантичного океану (35,4 ‰). Менш солоні води в Тихому (34,9 ‰) та Індійському (34,8 ‰) океанах. Значно опріснена вода верхніх шарів у Північному Льодовитому океані (29–32 ‰, біля берегів 1–10 ‰).

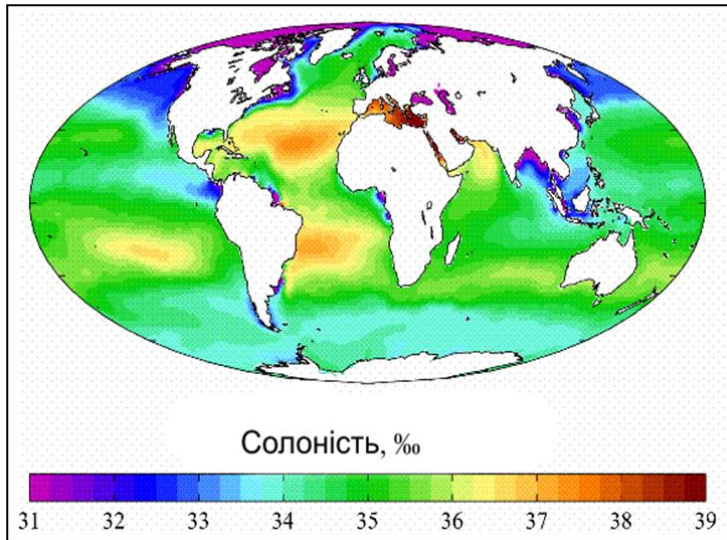


Рис. 13.1. Розподіл солоності на поверхні Світового океану

В цілому зона низьких широт порівняно з полярним відрізняється вищими величинами солоності. Особливо сильно опріснений Арктичний басейн, оскільки він більш ізольований від інших океанів материками, і до нього, на відміну від Антарктичного басейну, впадає багато великих річок.

Найбільша величина солоності відзначається в тропічних зонах, причому в екваторіальній зоні вона менша. Це пояснюється характером переважаючої погоди у цих зонах. У тропіках завдяки систематичному впливу пасатів сильна вітрова діяльність і мала хмарність сприяють сильнішому випаровуванню. Навпаки, для екваторіальної зони характерна перевага штильової погоди зі значною хмарністю і великою кількістю опадів. Подібні два тропічних максимуми солоності, розташовані з обох боків екватору, виражені найчіткіше в Атлантичному океані.

Течії порушують зональний розподіл величин солоності океанічної води. Тому можна спостерігати на поверхні величини солоності води, які не відповідають клімату даної частини океану. Така ситуація наочно виявляється для течії Гольфстрім, відгалуження якої, проникаючи далеко в Арктику, несуть води з солоністю до 35 ‰. Зворотне явище спостерігається під дією арктичних течій, наприклад Лабрадорської, яка знижує солоність поблизу східних берегів Північної Америки.

За глибинами солоність води змінюється значно складніше, ніж на поверхні, що пов'язано з розподілом шарів води за їх густиною. Густина води дуже залежить від солоності і температури. Зі збільшенням солоності густина океанічної води завжди зростає, а з підвищенням температури води – знижується. Це зумовлює існування води з однаковою густиною, але з різними температурами і солоностями.

Таблиця 13.6. Солоність води та інші характеристики деяких морів світу

Море	Солоність, ‰	Площа тис.км ²	Найбільша глибина, м	Море	Солоність, ‰	Площа тис.км ²	Найбільша глибина, м
Моря Тихого океану				Балтійське	8,0-12,0	386	459
Коралове	34,5-35,5	4791	9140	Азовське	10,0-12,0	38	14
Південно-Китайське	31,0-34,0	3447	5245	Моря Індійського океану			
Берингове	30,0-33,3	2304	4191	Аравійське	35,8-36,5	3683	5203
Охотське	32,8-34,5	1583	3372	Арафурське	34,0-35,0	1037	3680
Японське	28,0-35,0	978	3669	Червоне	38,0-42,0	450	2811
Східно-Китайське	30,0-34,5	752	2717	Тиморське	34,0-35,0	615	3310
Банда	33,0-34,5	695	7440	Моря Північного Льодовитого океану			
Яванське	29,5-33,5	480	54	Баренцове	34,7-35,0	1405	600
Сулавесі	34,5	435	5842	Норвезьке	34,0-35,2	1383	3921
Сулу	33,0-34,5	348	5094	Гренландське	34,5-35,0	1205	4846
Моря Атлантичного океану				Східно-Сибірське	20,0-30,0		115
Карибське	36,0	2754	7680	Карське	20,0-30,0	880	620
Середземне	38,4-38,7	2500	5121	Баффіна	30,0-34,0	689	2136
Мексиканська затока	36,0-36,9	1543	5203	Лаптевих	20,0-32,0	700	3385
Північне	29,0-35,3	544	238	Чукотське	30,0-32,0	582	160
Чорне	16,0-18,0	420	2211	Бофорта	28,0-32,0	476	4683
				Біле	24,0-30,0	90	330

Зміна солоності з глибиною залежно від температури і густини має різний характер. При опрісненні та відносно близьких температурах солоність найчастіше зростає з глибиною (*катахалінність*). При сильному прогріванні зменшення густини поверхневих шарів компенсується

підвищенням солоності під впливом випаровування; у цьому випадку солоність з глибиною знижується (*анахалінність*, грецьке *kata* - вниз, *ana* - вгору). Прикладом зменшення солоності і температури води з глибиною може бути розподіл їх в одній з найглибших западин Світового океану – Тонга (10 882 м), яку було відкрито разом з Маріанською западиною в 1957 р. (рис. 13.2).

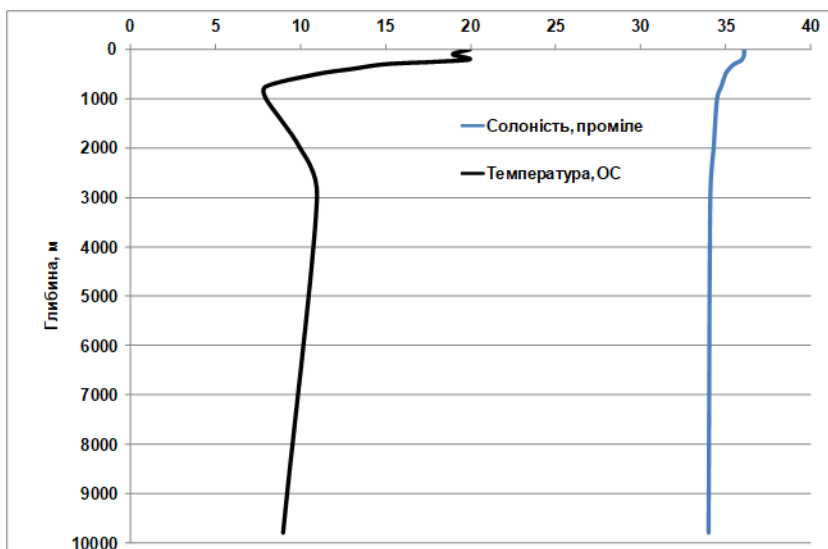


Рис. 13.2. Зміна солоності і температури води за глибинами у западині Тонга (Тихий океан)

Бувають складніші розподіли солоності на глибинах океану. Окремі шари води з різною солоністю можуть чергуватись, розподіляючись за її густиною залежно від температури. Солоність основної глибинної частини океану відрізняється порівняною стабільністю у часі, з коливанням 0,02–0,04 ‰. Глибина проникнення сезонних коливань солоності залежить від термогалінної і динамічної конвекції (досягає глибини 300 м).

14. РОЗЧИНЕНІ ГАЗИ, БІОГЕННІ ЕЛЕМЕНТИ, ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА, МІКРОЕЛЕМЕНТИ У МОРСЬКІЙ ВОДІ

Зміст

- 14.1. Розчинені гази. – С. 160.
- 14.2. Біогенні елементи. – С. 165.
- 14.3. Органічна речовина. – С. 167.
- 14.4. Мікроелементи. – С. 168.

14.1. Розчинені гази

Для океанічної води, як і для інших водойм, найбільшого значення набувають кисень і діоксид вуглецю, а найменшого – сірководень і азот.

14.1.1. Кисень (O₂). Дві групи процесів зумовлюють концентрацію кисню в океанічній воді: ті, що підвищують вміст кисню (фотосинтез,

адсорбція), і ті, що знижують його (дихання тваринних і рослинних організмів, бактерій, окиснювальні процеси тощо). Змінна інтенсивність цих процесів у різних пунктах і на різних глибинах океану створює неоднорідність концентрації кисню.

Загальною закономірністю для розподілу абсолютних величин кисню на поверхні океану є змінення його вмісту відповідно до температури води. У високих широтах вміст кисню в поверхневих шарах становить 8–9 мг/дм³, а у тропічній зоні знижується до 4,3–5 мг/дм³.

Внаслідок постійного обміну з атмосферою вода на поверхні океану майже повністю насичена киснем (близько 100 % насичення). В умовах полярної ночі за відсутності фотосинтезу, а також під льодом іноді спостерігається певне недонасичення (до 95 %). При інтенсивному фотосинтезі насичення може перевищувати 100 % (перенасичення). Такі перенасичення невеликі, концентрація кисню наближається до рівноваги з киснем в атмосфері. Розподіл кисню в середніх широтах океану показано на рис. 14.1.

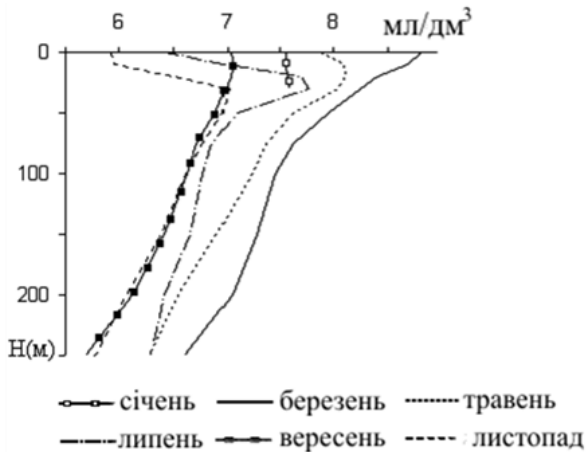


Рис. 14.1. Вертикальний розподіл кисню у у різні періоди року у воді Японського моря

Верхня зона, яка добре вентильовується завдяки обміну з атмосферою, найбільш насичена киснем. Глибина, на яку вона поширюється, становить 100–300 м і зумовлюється сезонним конвективним переміщенням. Найменша глибина цієї зони спостерігається у тропіках, де сильне прогрівання поверхні океану створює у шарі стрибку різку стратифікацію густини води. Верхня зона поділяється на підзони: 1) поверхневого шару; 2) найбільшого фотосинтезу; 3) нижню.

У поверхневому шарі концентрація кисню переважно близька до нормальної при даних температурі і солоності. В підзоні фотосинтезу, де перебуває багато фітопланктону, багато світла і температура води висока, спостерігається не тільки насичення, а й часто перенасичення води киснем. Нижня підзона верхньої зони починається глибше точки компенсації (тобто глибше того шару, де відтворення кисню при фотосинтезі дорівнює його

споживанню при окиснювальних процесах) і характеризується падінням концентрації кисню. Цьому сприяє зменшення, а потім припинення фотосинтезу і зростаюча з глибиною різниця густин води, яка утруднює переміщення нижніх шарів води з поверхневими.

Проміжна зона характеризується значно меншим вмістом кисню і змінює своє положення в різних частинах океану на глибинах приблизно від 200 до 1400 м. Тут різко спадає температура і зростає густина. В Атлантичному океані вміст кисню у цій зоні падає до 1 мг/дм³ (менше ніж 30 % насичення), в Тихому океані – до 0,4–0,5 мг/дм³, такий самий кисневий мінімум і в Індійському океані.

Кисневий мінімум у проміжній зоні залежить від співвідношення між споживанням кисню при біологічних і біохімічних процесах, які відбуваються на глибинах при розпаді органічних залишків, що потрапляють з верхньої продуктивної зони, і надходженням в неї кисню з верхньої і нижньої зони. Велика частина цих продуктів розпадається у верхній зоні, частково – у проміжній і ще менше – в глибинній. Температура проміжної зони значно вища (12–5 °С), ніж глибинної, тому процес мінералізації органічного детриту проходить інтенсивніше. Оскільки органічних продуктів у проміжній зоні більше, ніж у глибинній, то навіть за однакових умов постачання киснем через глибинні течії у проміжній зоні створюються менш сприятливі умови для кисневого балансу. Тому в проміжному шарі спостерігається менша концентрація кисню, ніж у глибинному.

Глибинною зоною вважається основна частина океану нижче 1400–1600 м. У ній вміст кисню становить близько 5 мг/дм³, що відповідає 70–80 % насичення. Єдине надходження кисню в цю зону – глибинні течії арктичного і антарктичного походження.

Порушення водообміну в окремих частинах океану і морів знижує вміст кисню, який надходив шляхом переміщення чи адвекції, і, крім того, може спричинити повне його зникнення. Наприклад, немає кисню у западині Кар'яко в Карибському морі, у придонних шарах норвезьких фіордів, западинах Балтійського і Чорного морів (табл.14.1).

У той же час у глибоководних западинах Тихого океану (понад 8 км) кисню міститься досить багато, що свідчить про хороший водообмін у цих районах. Так, у западинах Тонга і Кермадек було виявлено вміст кисню в межах 4,25–4,65 мг/дм³, у Філіппінській западині – 3,70–3,5 мг/дм³, Маріанській западині – 3,7–4,0 мг/дм³.

Таблиця 14.1. Вміст кисню, солоність і температура води у відкритій частині Чорного моря залежно від глибини (за Б.О. Скопинцевим)

Глибина, м	Вміст O ₂		Температура, °С	Солоність, ‰
	мг/дм ³	% насичення		
0	5,6	100	21,93	18,21
15-20	7,76	111	9,51	18,37
50	5,38	71	7,63	18,77
75	1,89	27	7,76	19,56
100	0,81	11	8,05	20,09
150	0,19	3	8,49	20,84
200	0,07	0,3	8,64	21,31
300	0,0	0,0	8,79	21,70

Зміни вмісту кисню за сезонами характерні лише для верхньої зони океану, у тих широтах, в яких помітна різка зміна гідрометеорологічних умов протягом року. Взимку на поверхні океану, незважаючи на зменшення фотосинтезу, абсолютна кількість кисню зростає внаслідок підвищення розчинності кисню при зниженні температури води. Під час полярних ночей у верхніх широтах за відсутності фотосинтезу надходження кисню зумовлюється лише обміном з атмосферою.

Концентрація кисню на глибинах океану мало змінюється за сезонами.

14.1.2. Азот (N_2). Газоподібний азот серед інших газів в океанічній воді має найбільшу концентрацію, проте суттєвого значення для життя і хімічних процесів він не має. Основне джерело азоту у водах океану – атмосфера. Проникнення азоту на глибини залежить лише від динаміки водних мас. Азот, який потрапляє з поверхні на глибину, через свою хімічну пасивність зберігає постійну концентрацію, що відповідає температурі і тиску, які вода мала на поверхні.

Глибинні води океану близькі до насичення азотом. Відхилення від 100%-го насичення звичайно становить $\pm 5\%$. При змішуванні вод, насичених азотом, які мають різну температуру, суміш перенасичується азотом. Тому при підйомі холодних глибинних вод і змішуванні їх з теплими поверхневими може створюватися невелике перенасичення азотом.

14.1.3. Діоксид вуглецю (CO_2). Велике значення для вмісту діоксиду вуглецю має взаємодія океану з атмосферою, в результаті якого вода поглинає або виділяє CO_2 . Оскільки напрям цього обміну залежить від співвідношення між парціальним тиском діоксиду вуглецю в атмосфері $pCO_2_{\text{атм.}}$ і парціальним тиском діоксиду вуглецю у воді $pCO_2_{\text{води.}}$, то в гідрохімії океану використовують для характеристики вмісту діоксиду вуглецю не абсолютну її концентрацію в mg/dm^3 , а величину pCO_2 . Відношення між абсолютним вмістом CO_2 і pCO_2 має вигляд:

$$CO_2 = \alpha_s pCO_2, \quad (14.1)$$

де α_s — розчинність CO_2 при даній солоності S (‰), і парціальному тиску, який дорівнює $9,8 \times 10^4$ Па.

Якщо $pCO_2_{\text{атм.}} > pCO_2_{\text{води}}$, то океан поглинає CO_2 з атмосфери, навпаки, при $pCO_2_{\text{атм.}} < pCO_2_{\text{води}}$ з океану в атмосферу виділяється газ. Відповідно атмосфера підтримує певну концентрацію CO_2 в океані. Одночасно океан стає регулятором вмісту діоксиду вуглецю в атмосфері, що має велике геохімічне і геофізичне значення. В цілому ж чинники, які впливають на змінення pCO_2 у поверхневих шарах океану, наведено нижче.

Зростання pCO_2

*Зростання температури води
Зростання солоності (випаровування)
Дихання організмів
Осадження
Підйом глибинних вод*

Зниження pCO_2

*Зниження температури води
Зниження солоності
Фотосинтез
Розчинення*

В Атлантичному океані $p\text{CO}_2$ в середньому дорівнює 32,34 Па, у Баренцевому морі – 22,54–27,44 Па і в арктичних водах – 14,7–19,6 Па.

Дослідження свідчать, що вміст вуглецю в атмосфері неоднорідний (на відміну від кисню й азоту). Значення $p\text{CO}_2$ змінюється в шарах повітря над океаном, а також у різних частинах океану. В атмосфері $p\text{CO}_2$ зазнає безперервних невеликих коливань, пов'язаних з переміщенням повітряних мас і обміном діоксиду вуглецю з океаном і рослинністю континентів. Обмін діоксиду вуглецю між атмосферою та океаном вивчено недостатньо, проте це явище надзвичайно важливе для земної кулі.

З глибиною $p\text{CO}_2$ зростає, що є природним результатом окиснення органічних речовин, який спостерігається на всіх глибинах, припиняється дія основного процесу споживання CO_2 – фотосинтезу, вилучається чинник вирівнювальної дії атмосфери. Багато оксиду вуглецю виникає в зонах з утрудненим водообміном, де накопичуються залишки органічних речовин, зокрема в зоні кисневого мінімуму.

Порівняно з киснем і азотом абсолютні концентрації дуже малі, вони не виходять за межі 1 мг/дм³. Зумовлено це наднизьким парціальним тиском даного газу в атмосфері і станом, близьким до рівноваги між $p\text{CO}_2$ води. і $p\text{CO}_2$ атм.

У зв'язку з труднощами при визначенні вмісту діоксиду вуглецю або $p\text{CO}_2$ в океанічній воді ці величини обчислюють, користуючись залежностями, які існують між концентрацією CO_2 , рН і лужністю, з урахуванням температури і солоності.

Для вмісту оксиду вуглецю характерні сезонні коливання і навіть добові, пов'язані переважно з процесами фотосинтезу.

Незважаючи на малу концентрацію, розчинений діоксид вуглецю має важливе значення – забезпечує життя в океані. Варто підкреслити геохімічне значення CO_2 . В процесі кругообігу CO_2 в межах системи «атмосфера–літосфера–гідросфера» діоксид вуглецю океану є однією з важливих ланок, яка зумовлює перехід вуглецю з атмосфери до складу мінералів. Крім того, CO_2 океану як регулятор вмісту діоксиду вуглецю в атмосфері, впливає на кліматичні умови на Землі, оскільки з величиною CO_2 в атмосфері пов'язана інтенсивність тепловіддачі планети у світовий простір.

14.1.4. Сірководень (H_2S). Наявність сірководню та його сполук у водах океану і морів – дуже рідкісне явище, оскільки в присутності кисню вони окиснюються. Джерелом сірководню у морях і океані стають процеси, які здійснюються за участю мікроорганізмів: *відновлення сульфатів* (сульфатредукція); *виділення сірководню* при розкладанні залишків організмів за рахунок сірки, яка входить до складу органічних речовин.

У морях сірководень може бути у місцях, в яких водообмін настільки порушений, що надходить дуже мало кисню і навіть виникають анаеробні умови, необхідні для розвитку сульфатредукуючих бактерій. У відкритому океані, вентиляція глибин якого досить інтенсивна, сірководень не виявлений. Він спостерігається лише у придонних шарах північно-західної частини Індійського океану біля Аравійського півострова, у западині Кар'яко у Карибському морі і норвезьких фіордах. Найбільш повно виявляється відновлення сульфатів у глибинах Чорного моря, водообмін яких з поверхнею дуже сповільнений.

Ще у 1890 р. під час першої глибоководної експедиції з вивчення Чорного моря, було виявлено, що на відміну від інших морів і океану, в Чорному морі у верхньому шарі (до 200 м), вода містить кисень, а вся інша товща води вглиб є практично неживою, якщо не брати до уваги анаеробні бактерії. Це море є єдиною водоймою на земній кулі, в якій об'єм вод, що містять сірководень, досягає величезних розмірів (табл. 14.2).

Аналогічні умови виникають і в деяких озерах на різних материках: у гірських озерах Швейцарії, Німеччини, Італії, деяких озерах США, Японії, Африки. Це так звані мероміктичні озера, в яких вертикальна циркуляція водних мас, як і в Чорному морі, не поширюється до дна.

Розчинність H_2S значно вища, ніж інших газів, які містяться у воді. Втім, виявлені його концентрації у морських водах набагато менші, ніж його розчинність, і вимірюються найчастіше кількома $мг/дм^3$ і навіть десятими частками $мг/дм^3$.

Таблиця 14.2. Значення максимального і мінімального вмісту сірководню на різних глибинах Чорного моря (за Б.О. Скопинцевим)

Глибина, м	Максимальний вміст H_2S , $мг/дм^3$	Мінімальний вміст H_2S , $мг/дм^3$
300	1,9–1,7	1,1–1,3
500	3,9–3,7	2,3–2,7
750	5,5–5,3	3,9–4,1
1000	6,3–6,1	5,1–5,3
1250	6,5–6,3	5,5–5,7
1500	7,0–6,5	5,5–6,0
1750	7,5–7,0	5,5–6,0
2000	7,5–7,0	5,7–6,0

Сірководень (H_2S) і продукти його дисоціації HS^- і S^{2-} кількісно пов'язані між собою і за певних умов переходять один в одного. Ця рівноважна хімічна система залежить від рН води, яка визначається діоксидом вуглецю. Сірководень міститься у морській воді переважно не у вигляді молекулярного розчиненого газу H_2S , а як сульфідний іон HS^- .

14.2. Біогенні елементи

14.2.1. Сполуки фосфору представлені в океанічній воді переважно похідними ортофосфорної кислоти. При існуючих в океанічній воді величинах рН, якщо не враховувати активність фосфатних іонів, концентрації HPO_4^{2-} мають бути при рН = 8,0 близько 86,2 %-молів, при рН = 8,3 близько 92,6 %, а для іонів $H_2PO_4^-$, при таких самих рН відповідно 13,8 і 7,4 %.

14.2.2. Неорганічні сполуки азоту. З неорганічних сполук азоту в океанічній воді найбільше значення для життя організмів мають *нітратні йони* (NO_3^-), меншою мірою – *нітритні* (NO_2^-) та *йони амонію* (NH_4^+). Всі ці сполуки мають загальні джерела походження і за певних умов можуть переходити одна в одну. Кількість органічних сполук азоту та фосфору в океанічній воді менша, ніж неорганічних.

Основний процес, який зменшує концентрацію біогенних елементів, – це споживання їх водяними рослинами, переважно фітопланктоном при фотосинтезі. Відповідно до положення зони фотосинтезу, яка залежить від освітлення, біогенні речовини споживаються на глибинах до 50 м, рідше – до 100 м. Для розвитку рослин необхідні фосфати.

В процесі регенерації (повернення) біогенних елементів в океані розрізняють дві форми: пряму і непряму.

Пряма регенерація зумовлена виділенням тваринними організмами сполук фосфору й азоту у вигляді продуктів, які повільно мінералізуються (фекалії, напівпереварена їжа тощо). У результаті цього рослинам швидко повертається частина засвоєних раніше біогенних елементів. Процес прямої регенерації, який відбувається безпосередньо в зоні фотосинтезу, постійно підтримує певний рівень життя рослинного планктону.

Непряма регенерація зумовлює процес мінералізації і повернення у воду біогенних елементів з органічних речовин, в яких вони зв'язані сильніше і процес розкладання яких через це протікає повільніше, особливо для азоту. Він відбувається переважно на великих глибинах, нижче зони конвективного переміщення.

Як бачимо, біогенні елементи, які звільняються при регенерації, надходять у дві зони океану: поверхневу продуктивну, де цикл регенерації швидкий, і глибинну, акумулюючу зону з уповільненою регенерацією. Частина біогенних елементів з верхньої зони переходить у глибину.

Зростання в поверхневих водах вмісту біогенних елементів зумовлює в цих областях сильний розвиток фітопланктону, який забезпечує інші форми життя. Згідно з цим розподіл концентрації біогенних елементів у поверхневому шарі океану корелюється з розподілом в океані планктону і навіть рибопродуктивністю.

Джерелом поповнення біогенними елементами слугують річки, які вносять щорічно в океан велику кількість цих елементів. Крім того, для сполук азоту існує ще джерело поповнення – азот з атмосфери. Водночас в океані величезні кількості біогенних елементів виводяться з розчину і переходять в донні ґрунти. Втім, основними процесами в балансі біогенних елементів в океані є засвоєння їх організмами при фотосинтезі та регенерації внаслідок розкладання органічних речовин.

У розподілі фосфатів і нітратів у океані багато загальних рис. Вся верхня зона, особливо в низьких широтах, яка конвективно переміщується, збіднена фосфатами і нітратами залежно від інтенсивності фотосинтезу. З глибиною концентрація фосфатів і нітратів в океані звичайно зростає, але максимум у фосфатів виражений чіткіше – на глибині 500–1500 м, у зоні кисневого мінімуму. Сезонні коливання PO_4^{3-} і NO_3^- спостерігаються лише у верхній зоні конвективного переміщення і характеризуються мінімумом у весняній і літній періоди і зростанням у зимовий.

NO_2^- і NH_4^+ містяться лише у поверхневих шарах океану.

Внутріматерикові моря мають значні відмінності за вмістом біогенних елементів на різних глибинах. Надзвичайно бідні на фосфати води Середземного моря завдяки особливостям водообміну з океаном. Навіть на глибинах концентрація фосфатів становить близько 3 мг/м³ щодо Р.

Навпаки, у Чорному морі, де на глибинах утруднений водообмін з поверхнею, концентрація фосфатів у кілька разів перевищує океанічну, проте через значне поширення анаеробних умов там майже немає нітратів.

Кількість органічного азоту в океані, так само як і органічного фосфору, значно поступається перед неорганічним. У зоні фотосинтезу в період цвітіння водоростей органічний азот домінує над неорганічним, але в глибинній зоні основними завжди є неорганічні форми азоту, зокрема нітрати.

14.2.3. Кремній, хоча і споживається організмами, але, на відміну від фосфатів і сполук азоту, завжди міститься в океанічній воді в йонно-молекулярній і колоїдній формах. Вміст кремнію в океані коливається в значних межах від кількох десятків до кількох тисяч мг/м³ щодо Si. На його вміст впливає не лише споживання кремнію організмами, які будують з нього свій панцир, а й адсорбція його завислими частинками. Розподіл кремнію за глибинами також залежить від споживання його організмами у верхній продуктивній зоні. Процес регенерації поповнює його вміст на глибинах. Кількість кремнію, яка випадає з океанічної води, настільки велика, що діатомові мули, утворені при цьому, є одним з важливих різновидів океанічних осадів. Вони займають близько 10 % усієї площі океану.

14.3. Органічна речовина

В океанічній воді розчинена органічна речовина міститься у вигляді молекулярних і колоїдних сполук різного ступеня дисперсності, а також у формі завислих частинок – залишків організмів (3-5 % загального вуглецю органічної речовини). У складі розчиненої органічної речовини в океані виявлено пектинові, гумусові, білкові речовини (амінокислоти), вуглеводи, різні жирні кислоти та інші важливі групи сполук органічної хімії (табл. 14.3) і, крім того, ферменти, ензими, антибіотики і вітаміни, які мають велике біологічне значення.

Таблиця 14.3. Вміст деяких речовин у морських організмах, % сухої маси

Група	Вода	Білок	Жири	Вуглеводи	Зола
Фітопланктон	80	6	1	4	9
Фітобентос	80	3	0,1	12	5
Зоопланктон	80	12	3	3	2
Зообентос	63	10	1	3	23
Нектон	73	19	4	1	3

Джерелом розчиненої органічної речовини в океанічній воді є насамперед продукти біохімічного розпаду залишків морських організмів і продукти їх обміну, переважно планктонного походження. В океані внаслідок присутності живих організмів безперервно утворюється первинна органічна речовина у вигляді рослин, яка одночасно споживається, відмирає і розкладається. Загальна кількість первинної продукції, яка створюється щороку в океані, оцінюється в сухій вазі $4,5 \times 10^{10}$ т вуглецю. В окремих групах

водяних організмів річна продукція в океані становить 606,4 млрд т (табл. 14.4).

Розподіл планктону в океані нерівномірний і пов'язаний з умовами навколишнього середовища, які сприяють його розвитку, тобто насамперед з освітленням і наявністю поживних мінеральних солей, а потім – з температурою води. Тому фітопланктон мешкає лише у верхній 100-метровій товщі води, а зоопланктон живе й глибше, споживаючи залишки організмів, які опускаються на глибину. Розподіл фітопланктону, а через те – й зоопланктону за площею в океані залежить від біогенних речовин, кількість його різко зростає в зонах турбулентного переміщення, де поверхневі води збагачуються біогенними речовинами з глибин.

Таблиця 14.4. Біомаса і продукція різних груп організмів, млрд. т сирі маси

Група	Біомаса	Продукція
<i>Продуценти</i>		
Фітопланктон	1,5	550
Фітобентос	0,2	0,2
<i>Консументи</i>		
Зоопланктон	21,5	53,0
Зообентос	10,0	3
Нектон	1,0	0,2
<i>Сума</i>		
Водорості	1,7	550,2
Тварини	32,5	56,2

Органічні речовини в океані розкладаються досить складно і швидкість окремих стадій цього процесу різна. Основне розкладання спостерігається в перші 20 діб, після чого швидкість різко падає. Розкладання нестійкої частини органічних речовин інтенсивніше протікає у верхній товщі. У глибинах, куди потрапляє лише мала частина органічних залишків, цей процес уповільнений. Втім, невелика частина (1–5 %) найкрупніших завислих частинок досягає дна, і тут у донних відкладах надзвичайно повільно продовжується подальше зміння органічних речовин.

Основна частина залишків (близько 80 %) в аеробних умовах мінералізується майже повністю до найпростіших мінеральних речовин (CO₂, H₂O, CH₄, NH₃ тощо). Поряд з цим утворюються речовини і складнішого характеру. Це так звані *водний гумус*, який за своїм походженням пов'язаний з вуглецево-протейновим комплексом первинних організмів. Розчинний водний гумус можна поділити на розчинну (20 %) і нерозчинну частини, остання осаджується у вигляді частинок різної крупності.

Значно менше органічних речовин потрапляє в океан з річковим стоком. Ці органічні речовини переважно становлять розчинні продукти рослинного гумусу континентального походження, склад яких в океані трансформується.

Концентрація водного гумусу в океані невелика. Так, середні величини вмісту органічного вуглецю, який становить 50 % усієї органічної речовини, в

Атлантичному океані дорівнюють (щодо С) 1,56 мг/дм³, Балтійському морі – 3,40 мг/дм³, Північному морі – 4,35 мг/дм³ [4].

14.4. Мікроелементи

Сумарна концентрація мікроелементів в океанічній воді становить менше 0,01 % від суми головних йонів. За даними Е. Гольдберга (табл. 14.5), у найбільших концентраціях трапляються Li (200 мкг/дм³), Rb (120 мкг/дм³), I (60 мкг/дм³), Ba (30 мкг/дм³), у найменших – Au (0,004 мкг/дм³), Ra (10 мкг/дм³).

За таких надзвичайно малих концентрацій загальна кількість кожного елемента в океанічній воді є дуже велика, оскільки надзвичайно велика водна маса. Розрахунки свідчать, що у всій масі океану (1,37 млрд км³) міститься 5,5 млн т золота. Якщо порівняти масу кожного з мікроелементів в океані з кількістю принесених річками щороку, виявиться, що час, необхідний для накопичення маси даного мікроелемента, у багато разів менший, ніж вік океану. Так, за Е. Гольдбергом, час необхідний для накопичення існуючої маси в океані (час перебування в океані), для цинку становить 180 тис. років, для кобальту – 18 тис. років, для міді – 65 тис. років.

Ймовірно, що протягом історичного розвитку океану величезні кількості мікроелементів перейшли з розчиненого стану в осад. Це зумовило наявність рудних родовищ на дні океану. Зокрема за деякими оцінками, залізо-марганцевим конкреціям, які містять ще мідь, кобальт та інші метали, відповідає від 20 до 50 % південно-західної частини дна Тихого океану. Це свідчить про існування в океані умов, які не сприяють накопиченню в розчині мікроелементів.

У режимі мікроелементів у океані виявлено деякі закономірності.

Коливання концентрацій мікроелементів у водах морів і океану безумовно вищі, ніж солоності. Абсорбційні процеси та діяльність організмів дуже сильно впливають на їх вміст в океанічній воді.

Таблиця 14.5. Концентрація мікроелементів в океанічній воді

Елемент	Концентрація, мкг/дм ³	Елемент	Концентрація, мкг/дм ³	Елемент	Концентрація, мкг/дм ³
Li	200	U	3	Bi	0,2
Rb	120	V	2	Cd	0,11
J	60	Mn	2	Pb	0,1
Ba	30	Ni	2	W	0,1
In	20	Ti	1	Ge	0,07
Al	10	Th	0,7	Cr	0,05
Fe	10	Co	0,5	Sc	0,04
Zn	10	Sb	0,5	Ga	0,03
Mo	10	Cs	0,5	Hg	0,03
Se	4	Ce	0,4	Nb	0,01
Cu	3	Ag	0,3	Te	0,01
As	3	La	0,3	Au	0,004
Sn	3	Y	0,3	Ra	1 · 10 ⁻⁷

Поряд із мікроелементами, які мають стабільне ядро атома, в океані містяться радіоактивні мікроелементи, серед яких треба зазначити ⁴⁰K, ⁸⁷Rb,

^{238}U , ^{228}Ra , ^{14}C . Вони створюють природний радіоактивний фон океану, вивчення закономірностей їх розподілу в океані становить певний інтерес для виявлення деяких океанологічних питань, наприклад, динаміки водних мас, віку глибинних течій, швидкості утворення осаdів. Велике значення має також проблема радіоактивного забруднення океану.

Завдання для самостійної роботи

1. Користуючись табл. 13.6. теоретичних відомостей навести приклади морів різних діапазонів солоності води, ‰: до 10; 11–20; 20–30; 30–40; понад 40.

2. Письмово дайте відповідь на питання, чому у Чорному морі існує суттєва різниця густини води між поверхневими і глибинними шарами ?

Контрольні питання

1. Якими чинниками зумовлено походження сольової маси в океані та її склад?

2. Назвати основні групи хімічних речовин у морській воді.

3. З чого складається прибуткова частина балансу йонного складу води океану?

4. З чого складається видаткова частина балансу йонного складу води океану?

5. В чому полягає закон Дітмара стосовно складу морської води?

6. Що таке солоність морської води?

7. Як проявляється неоднорідність поширення солоності у Світовому океані та з чим це пов'язано?

8. Які гази мають найважливіше значення для океанічної води?

9. Як впливають біологічні процеси на хімічний склад морської води?

10. Проаналізувати водний і сольовий баланс Чорного моря.

11. Проаналізувати водний і сольовий баланс Азовського моря.

12. Пояснити, чому існує суттєва різниця в густині води поверхневих і глибинних шарів Чорного моря.

13. Пояснити, чому поступово зростає солоність води Азовського моря.

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Загальна гідрохімія : підручник. К.: Либідь, 1997. 384 с.

• Хільчевський В. К. Гідрохімія океанів і морів навч. посібник. К.: ВПЦ Київський університет, 2003. 114 с.

• Хільчевський В. К., Дубняк С. С. Основи океанології : підручник. 2-ге вид., доп. і перероб. К.: ВПЦ Київський університет 2008. 255 с.

• Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 312 с.

• Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 2019. 343 с.

III. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ГІДРОХІМІЇ – ЯКІСТЬ ВОДИ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 15

ТЕМА: ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД ТА ЗАПОБІГАННЯ ЦЬОМУ

Мета: з'ясувати основні джерела забруднення природних вод (точкові – промислові та господарсько-побутові стічні води; дифузні – сільськогосподарські стічні води) та основні аспекти системи охорони вод.

Основні терміни і поняття: забруднення природних вод, забруднювач (джерело забруднення), забруднювальна речовина, промислові стічні води, господарсько-побутові стічні води, сільськогосподарські стічні води, охорона вод, напрями охорони вод: правові, організаційні, технологічні, економічні, наукові, соціальні.

Аудиторні завдання

1. Використовуючи теоретичні відомості з даної теми (розд.15.1. «Джерела забруднення природних вод») у робочих зошитах навести приклади точкових та дифузних джерел забруднення вод. Відповідь оформити у вигляді табл. 15.1.

Таблиця 15.1. Для оформлення відповіді. Приклади точкових та дифузних джерел забруднення вод

Точкові джерела забруднення	Дифузні джерела забруднення

2. Використовуючи теоретичні відомості з даної теми (розд.15.6. «Охорона вод від забруднення») у робочих зошитах виконати опис заходів з охорони вод за напрямками. Відповідь оформити у вигляді табл. 15.2.

Таблиця 15.2. Для оформлення відповіді. Перелік заходів з різних напрямів охорони вод

№	Напрями охорони вод	Заходи, що входять до напрямку
1	Правові	
2	Організаційні	
3	Технологічні	
4	Економічні	
5	Наукові	
6	Соціальні	

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 15

Зміст

- 15.1. Джерела забруднення природних вод. – С. 172.
- 15.2. Промислові стічні води та методи їх очищення. – С. 174.
- 15.3. Господарсько-побутові стічні води та методи їх очищення. – С. 176.
- 15.4. Сільськогосподарські стічні води. – С. 180.
- 15.5. Охорона вод від забруднення. – С. 182.

15.1. Джерела забруднення природних вод

Використовуючи водні об'єкти для різних цілей необхідно 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 «забруднювальна речовина» [6, 11].

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». Термін «забруднювач» може бути заміненим 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* [6].

Стосовно механізмів надходження забруднювальних речовин у водні об'єкти виділяють точкові та дифузні джерела забруднення.

Точкові джерела забруднення – це джерела, що мають фіксовані місця скидів. Зокрема скиди промислових та господарсько-побутових стічних вод після оброблення на очисних спорудах здійснюються у визначених місцях.

Дифузні джерела забруднення – це джерела, що не мають фіксованих місць скидів, а є розосередженими за площею (сільськогосподарські стічні води, що формуються на сільгоспугіддях).

15.1.1. 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.

15.1.2. Господарсько-побутові стічні води є не менш суттєвим джерелом забруднення водних об'єктів. 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 характерним високий вміст органічних речовин, насиченість яйцями гельмінтів і бактеріальною флорою, значну частину якої становлять шкідливі для здоров'я мікроорганізми.

15.1.3. Сільськогосподарські стічні води, що формуються на сільгоспугіддях, завдають також шкоди водним об'єктам, 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 вилугуюються з ґрунту, залежить від ступеня й характеру засоленості ґрунту, умов поливу, стану колекторно-дренажної мережі та інших умов. Кількість солей, що виноситься 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. Найстійкішими 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.

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.

15.1.4. Теплове забруднення. На гідрохімічному і гідробіологічному режимах водних об'єктів може відчуватися 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 °С температуру водойми в літній період. Варто зазначити, що такі об'єкти мають свої відокремлені водойми-охолоджувачі.

15.1.5. Забруднення атмосфери. Забруднення атмосфери 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 водою викликають «кислі» дощі, які утворюються в результаті сполучення в атмосфері діоксиду сірки з парами води.

15.2. Промислові стічні води та методи їх очищення

15.2.1. Загальна характеристика промислових стічних вод.

Стічні води промислових об'єктів мають різноманітний хімічний склад, який залежить від характеру виробництва. До основних водокористувачів, які потім утворюють найбільшу кількість стічних вод, належать такі галузі промисловості: нафтопереробна, металургійна, хімічна і целюлозно-паперова. Величезна кількість води витрачається ними на одиницю продукції. Наприклад, для виробництва 1 т чавуну необхідно 150–200 м³ води; паперу – 65–100 м³, целюлози – 175–400 м³, нафтопродуктів – 2–20 м³. Стічні води деяких комбінатів становлять цілі річки. Так, стічні води паперово-целюлозного комбінату досягають 10 тис. м³/год умовно забруднених вод, фабрики синтетичного каучуку і гідролізного спирту – 50 тис. м³/год. Визначено еквівалентне співвідношення між промисловими і міськими стічними водами (табл. 15.3).

Таблиця 15.3. Забруднення природних вод промисловими стічними водами на одиницю продукції у порівнянні з еквівалентним забрудненням господарсько-побутовими стічними водами на число жителів населеного пункту

Виробництва і промислові об'єкти	Одиниця продукції	Еквівалентне число жителів
Цукрові заводи	1 т буряка	120-140
Пивний завод	1000 л пива	300-1200
Спиртовий завод	1000 т зерна	1500-2000
Крахмальне виробництво	1 т кукурудзи	800-1000
Шкіряне виробництво	1 т шкіри	1000-4000
Вовняне виробництво	1 т вовни	2000-5000
Білильне підприємство	1 т товару	250-350
Сірчаністе фарбування	1 т товару	2000-3000
Сульфід-целюлозне виробництво	1 т целюлози	4000-6000
Паперова фабрика	1 т паперу	100-300

Крім завислих частинок різної дисперсності, в промислових стічних водах присутні різноманітні речовини – органічні (кислоти, спирти, феноли, гербіциди, детергенти тощо), неорганічні сполуки (солі, кислоти, луги), нафтопродукти, токсичні речовини (ціаніди, миш'як, солі міді, цинку, ртуті тощо), радіоактивні елементи та багато інших.

Особливо забруднюють водні об'єкти нафта і нафтопродукти (керосин, дизельне паливо, масла). Нафта, вкриваючи плівкою поверхневі води, перешкоджає її аерації, утворює стійку високодисперсну емульсію і мало

розчиняється у воді. При залпових і аварійних викидах нафтопродуктів у водні об'єкти спостерігається зараження нафтою величезних просторів.

Важкі фракції, які становлять 30–40 % нафти, осаджуються на дні і утворюють дуже стійкий до окиснення шар на поверхні мулу, в якому гинуть донні організми, що є кормом для риб. Вода набуває запаху керосину при вмісті нафти 0,2–0,4 мг/дм³. Причому цей запах не усувається навіть при хлоруванні та фільтрації води.

Сильним джерелом забруднення водних об'єктів є стічні води целюлозно-паперової промисловості. Промисловий луг, який утворюється при сульфатному і сульфатному методах його виробництва, частково утилізується для отримання різних побічних продуктів (лугів, спирту, добрив, дріжджів та ін.). Втім, стічні води цієї промисловості містять велику кількість волокна із деревини і органічних речовин. Волокна, які виносяться зі стічними водами, утворюють в річках і озерах відклади у кілька метрів, у яких створюються анаеробні умови, згубні для риб.

Стічні води коксохімічної і коксгазової промисловості містять токсичні речовини: феноли, ціаніди та ін. Феноли є однією з неприємних домішок у стічних водах. Окрім сильних токсичних властивостей, феноли навіть при малих концентраціях надають воді неприємного запаху, який ще посилюється при наступному хлоруванні води. Особливо забруднюються стічними водами цього виду виробництва річки Донбасу.

Варто підкреслити, що стічні води промислових підприємств перед скиданням їх у міську каналізацію проходять локальне очищення.

15.2.2. Методи очищення промислових стічних вод. Методи очищення промислових стічних вод поділяють на чотири групи: фізичні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні. Часто для одних і тих самих вод використовуються одночасно кілька з наведених методів.

Фізичні методи включають відстоювання, фільтрацію, випаровування, перегонку з парою. Широко застосовується відстоювання як один з етапів очищення забруднених вод. Для цього слугують ставки-накопичувачі. З метою вилучення речовин, які спливають на поверхню (нафта, масло, жири, смола), використовують уловлювачі, фільтрування. Для усунення летких речовин, особливо при їх утилізації (наприклад, фенолів), застосовують відгонку їх водяною парою у спеціальних колонках.

Хімічними методами нейтралізують кислі стічні води (вапном, крейдою, доломітом) та окиснюють (хромом, діоксидом хлору, озоном).

Фізико-хімічними методами адсорбують забруднювальні речовини (сорбенти – торф, глина, шлак, активоване вугілля, іоніти). Використовується екстракція із застосуванням бензолу та інших реагентів, флоатція, коагуляція.

Біологічні методи для промислових стічних вод застосовують лише за наявності достатньої кількості органічних речовин і відсутності отруйних для мікроорганізмів домішок.

Проблема очищення стічних вод повинна вирішуватись спільними зусиллями інженерів-технологів, конструкторів та гігієністів, враховуючи інтереси санітарії та виробництва. Кількість стічних вод і їх склад залежать від технології виробництва, яка повинна вдосконалюватись у напрямі зниження кількості стічних вод до мінімуму так само, як і кількість в них

забруднювальних речовин. По суті, очищення стічних вод є виробництвом, в якому сировиною є забруднена вода, а продукцією – очищена. Побічним продуктом при очищенні стічних вод є вилучені з них забруднювальні речовини, які часто є цінним продуктом, якщо його відповідно обробити. Щороку у річки на території України скидаються зі стічними водами сотні і тисячі тонн фенолів, металів, солей, нафтопродуктів, мастил, кислот.

Осади стічних вод є цінним добривом для сільського господарства.

Радикальним напрямом у вирішенні проблеми очищення стічних вод і охорони природних вод від забруднення має стати максимальне використання стічних вод для потреб промисловості.

Підприємства повинні налагодити очищення стічних вод виробництва так, щоб очищену воду знову можна було б використовувати для водопостачання даного підприємства (оборотне водопостачання).

У деяких випадках зменшити кількість стічних вод можна шляхом використання їх для інших підприємств (повторне водопостачання).

15.3. Господарсько-побутові стічні води та методи їх очищення

15.3.1. Загальна характеристика господарсько-побутових стічних вод. Стічні води міст та інших населених пунктів утворюються з фекальних і господарсько-побутових вод (кухонні відходи, вода для умивання, прання тощо), вод комунальних підприємств (бань, пральних, транспортних підприємств тощо) і дощових вод (зливових), які стікають з території міст і змивають бруд. Дослідження по Україні свідчать, що для 45–50 % створів, розташованих на річках нижче міст, погіршується якість води порівняно зі створами вище міст.

Об'єм стічних вод залежить від кількості жителів, благоустрою населеного пункту (наявність водопроводу, каналізації). Вважається, що середня норма водопостачання міст на одного жителя становить 150 л/добу. Об'єм стічних вод комунальної каналізації міст приблизно в 10 разів менший, ніж об'єм стічних вод промисловості. Але господарсько-побутові стічні води становлять не меншу небезпеку, ніж промислові, оскільки з ними у водойми можуть надходити збудники різних захворювань.

Склад міських стічних вод подібний для різних міст, хоча і може відрізнятися за концентраціями окремих компонентів. Дослідження свідчать, що в середньому за добу здорова людина виділяє близько 100 г твердих і 1200 г рідких відходів, які потім розбавляються водопровідною водою, що використовується для різних потреб. У цілому в стічних водах великих міст кількість завислих і розчинених речовин на одного жителя залишається досить сталою. Вміст розчинених речовин становить приблизно 100 г/добу. Склад їх характеризується середніми концентраціями (табл. 15.4).

Цілком зрозуміло, що в стічних водах комунальної каналізації міститься величезна кількість бактерій, оскільки людина виділяє за добу близько 4,5 трлн мікробів. Біологічне населення міських стічних вод представлено також вірусами, бактеріофагами, яйцями гельмінтів і грибами.

В міських стічних водах присутні як апатогенні, так і патогенні бактерії. *Апатогенні бактерії* становлять основну масу, переважно це мікроби, які розкладаються в умовах анаеробіозу.

Таблиця 15.4. Середня кількість мінеральних та органічних речовин у стічній воді в розрахунку на 1 жителя міста

Інгредієнт	Кількість, г/добу
Азот амонійний	7–8
Хлориди харчового раціону	8,5–9
Сульфати	1,8–4,4
Фосфати	1,5–1,8
Калій	3,0
Завислі речовини	30–50

Значно розвиваються в колекторі уробактерії, які гідролізують основний компонент сечі – сечовину. Тому в каналізації середньої протяжності вся сечовина гідролізується з утворенням карбонату амонію.

Також у міських стічних водах активну діяльність розвивають анаеробні мікроби, за допомогою яких утворюються різні гази: сірководень, вуглекислота, водень, метан.

Патогенні бактерії (ті, що збуджують хвороби), особливо збудники кишкових інфекцій, потрапляють у міські стічні води від хворих і бацилоносіїв. Тому в малих населених пунктах може і не бути патогенних мікроорганізми у міжепідемічний період. У великих містах завжди є бацилоносії, тому навіть за відсутності епідемії трапляються окремі захворювання на гострі інфекційні хвороби.

У стічну рідину надходять всі віруси, які є причиною захворювання людини. Але виживають лише ті, які пристосовані до умов життя в цьому середовищі.

З господарсько-побутовими стічними водами в міську каналізацію надходять *яйця гельмінтів*. Кількість їх досягає кількох сотень на 1 дм³, це в основному аскариди. Яйця гельмінтів – найстійкіші представники живого світу міських стічних вод. Вони пристосовуються як до відносно високої, так і до низької температури, хлорування води. Ті дози, які знищують бактеріальні клітини, на яйця гельмінта не діють і лише нагрівання до температури 55–60°C спричиняє їх загибель. Тому на очисних спорудах зменшення концентрації яєць гельмінтів досягається лише при їх осадженні разом з твердою фазою осаду і подальшою його термічною обробкою.

15.3.2. Методи очищення господарсько-побутових стічних вод. Існують різні методи очищення стічних вод міської каналізації. Частина з них оснований на відтворенні природних умов розпаду органічних речовин і ставить своїм завданням найповнішу мінералізацію органічних залишків і знезараження хвороботворних бактерій. Це так зване *біологічне очищення стічних вод в аеробних умовах*.

З даних табл. 15.5 видно, що показники окиснювальної здатності на спорудах штучного біологічного очищення значно вищі, ніж на спорудах природного. Інтенсифікація процесів біологічного очищення приводить не тільки до збільшення їх окиснювальної здатності, а й до значного зменшення площі, яку займають ці споруди. Так, при витраті стічних вод 5000 м³/добу площа, яку займають поля зрошення, становить 150–200 га, поля фільтрації – 30-50, біофільтри – 2–3, аеротенки – 1 га. Незначна площа останніх двох

споруд може бути додатково зменшена при збільшенні подачі кисню і створенні певних умов для працюючих специфічних біоценозів.

Біологічні ставки (ставки-відстійники) складаються з кількох, послідовно сполучених ставків, крізь які проходить стічна вода, поступово очищуючись від завислих речовин. Стічна вода ставків багата на біогенні речовини, тому в ній добре розвивається як фітопланктон, так і вища водяна рослинність. Це сприяє постійному надходженню у воду розчиненого кисню, необхідного для окиснення стічних вод і підтримання аеробних умов. Крім того, у воді ставків міститься величезна кількість бактерій, які мінералізують органічні речовини стічних вод. Дуже різноманітна у ставках і донна фауна, яка сприяє переробці органічних твердих частинок, що осідають. В результаті вода, яка виходить зі ставка, при нормальному його режимі стає прозорою, має порівняно низьку окиснюваність, БСК і знижений колі-індекс.

Таблиця 15.5. Показники окиснювальної здатності на спорудах природного та штучного біологічного очищення

Вид очисних споруд	Кількість O ₂ з 1 м ³ споруди на добу, г
Природного біологічного очищення	
Поля зрошення	0,5–1,0
Поля фільтрації	2,0–36
Біологічні ставки	12,5
Штучного біологічного очищення	
Контактні фільтри	72
Перколяторні фільтри	100
Аеротенки	1000
Аерофільтри	1000
Аерокоагулятори	4500

Поля зрошення становлять значні території, які віддалені від місця, куди перекачуються стічні міські води. Тут у шарі ґрунту, крізь який фільтрується стічна рідина, відбуваються складні біохімічні процеси розкладання органічних речовин і зміна мікрофлори. При фільтрації крізь ґрунтовий шар для очищення від завислих частинок і мікробів велике значення мають і адсорбційні процеси. Виявлено, що через 100 днів повністю відмирають патогенна мікрофлора і мікроорганізми кишкової групи.

Стічні води, профільтрувавшись крізь ґрунти, надходять у річки вже досить очищеними від забруднюючих речовин. Цей метод очищення стічних вод при правильній експлуатації дає добрі результати, при цьому одночасно збагачується ґрунт на цінні для родючості речовини. Проте для полів зрошення необхідні поблизу міст великі площі, що може порушувати нормальні умови життя населення.

Стічні води, які містять велику кількість сполук азоту, фосфору і калію, можуть ефективно використовуватися для зрошення й удобрення сільськогосподарських угідь.

Інша група методів очищення стічних вод міської каналізації оснований на біохімічних процесах розкладання нестійкої органічної речовини, для

прискорення яких штучно створюються оптимальні умови. Для цього стічні води насамперед поділяють на грубодисперсні та рідкі, використовуючи фільтрацію чи відстоювання. Рідкі води очищаються в аеробних умовах на біофільтрах чи аеротенках, а тверді – в анаеробних умовах у септиктенках і метантенках.

Аеротенк – це резервуар, з dna якого крізь пористі пластинки інтенсивно подається повітря у стічну воду. В аеротенку у завислому стані (під дією струменів повітря) у суміші зі стічною рідиною міститься активний мул, тобто колоїдна маса мінерального і органічного складу, багата на мікроорганізми. Крім бактерій, у процесі очищення беруть участь і простіші організми. Періодично активний мул піддається регенерації. У стічній воді при її проходженні через аеротенк різко знижується вміст нестійкої органічної речовини, кількість бактерій, в тому числі кишкової палички (до 95 %), і вода освітлюється. Потім для знезараження очищену стічну воду перед скиданням її у річку додатково хлорують.

Біофільтр за принципом дії нагадує аеротенк, але в очищенні, крім бактерій, активну участь беруть мікродорості, личинки комах, утворюючи складний біоценоз. Біофільтр являє собою споруду, викладену дрібним сипким не набухаючим матеріалом (щебінка, шлак тощо), в якій перед пуском утворюється активна біологічна плівка. У біофільтрі кількість активного мулу більша, ніж в аеротенку. Існують біофільтри, в яких проходить примусова аерація.

Швидкість очищення стічних вод на біофільтрі і в аеротенку набагато вища, ніж у природних умовах (на біофільтрі 4–10 год, в аеротенку близько 2 год). До недоліків застосування біофільтра та аеротенка (крім сильного впливу температури) належить сприйнятливність комплексу очисних організмів до токсичних речовин, які виявляються у стічних водах і вважаються згубними для них. У цьому випадку витрачається багато часу (кілька тижнів) на відновлення біофільтра.

В анаеробних умовах теж виконується очищення стічних вод. У цьому бактеріальному процесі бере участь різноманітна мікрофлора, яка розкладає протеїни (білки м'яса, риби), жири, вуглеводи (клітчатка, крохмаль), відновлює сульфати, нітрати тощо. В результаті цього отримуються органічні кислоти жирного ряду (мурашина, оцтова, масляна), а також головні кінцеві продукти – метан CH_4 та діоксид вуглецю CO_2 в таких кількостях, які економічно вигідно використовувати як паливо – CH_4 (наприклад, так є на Бортницькій станції аерації, куди надходять стічні води Києва) і для отримання сухого льоду (CO_2).

Анаеробний процес очищення здійснюється найпримітивніше у *септиктенках*, де він триває близько року. Причому осад зменшується в об'ємі вдвоє але у збродженому осаді залишаються патогенні бактерії і яйця гельмінтів, через що його не можна використовувати як добриво. Досконалішим є двоярусний відстійник, у якому процес прискорюється додаванням активного септичного мулу.

Найдосконалішою спорудою для очищення твердої частини стічних вод є *метантенк*, в якому використовується активний септичний мул, і процес проходить при підвищеній температурі (підігрівання паром). Це, з одного боку, збільшує швидкість процесу (доба), а з іншого – істотно знижує

кількість патогенних мікробів і яєць гельмінтів. Зброджений осад після метантенка використовується як цінне добриво, а також паливо. Метантенки будуються великих розмірів діаметром до 6 м.

Теоретично міську стічну рідину можна очистити до якості чистої річкової води і навіть такої, яка використовується для питних цілей, хоча на практиці це не робиться з багатьох причин.

Крім використання очищених стічних вод для зрошення сільсько-господарських угідь, їх також намагаються використовувати для поповнення ресурсів водних об'єктів для подальшого водопостачання у районах, де спостерігається водний дефіцит.

Так, в Ізраїлі певну кількість стічних вод після очищення використовують у сільському господарстві, а іншу частину закачують у підземні горизонти з метою її самоочищення і подальшого використання. Відомі такі системи і в інших країнах.

15.4. Сільськогосподарські стічні води

15.4.1. Основні чинники впливу сільського господарства на природні води. Сільське господарство здійснює різний за видами, інтенсивністю і територіальними масштабами вплив на природу. За формою і способом взаємозв'язків з природою сільське господарство суттєво відрізняється від інших галузей. Це зумовлює специфіку вивчення, обліку і регламентації його впливу.

За масштабами використання території сільське господарство є однією з найбільших галузей. Одночасно воно належить до виробництв дуже «занурених» у природу. Інтенсивність впливу залежить не просто від сполучення регіональних природних і техніко-економічних умов, а й значною мірою від їх сукупності за певний період (місяць, сезон, рік). Природні екосистеми змінюються, порушуються встановлені в них взаємозв'язки біотичних і абіотичних чинників. Так, зміна ландшафтів під впливом осушення призводить до суттєвих змін фіто- і зооценозів; привнесення в природне середовище невластивих йому хімічних препаратів також змінює видовий склад рослинного і тваринного світу; механічна зміна ґрунтового покриву порушує динамічну рівновагу на поверхні ґрунту, сприяє розвитку ерозійних процесів; добрива, пестициди і відходи тваринницьких комплексів у разі надходження їх у водні об'єкти не лише їх забруднюють, а й можуть змінювати встановлені трофічні ланцюги.

Сільськогосподарське виробництво перетворилось у потужний чинник впливу на довкілля, зокрема на природні води. Наприклад, забруднення деяких водойм біогенними речовинами за рахунок стоку з території сільгоспугідь у кілька разів перевищує забруднення від господарсько- побутових стічних вод.

Дослідження впливу сільського господарства на хімічний склад природних вод має бути комплексним, включати оцінку внеску основних чинників його активного впливу: *застосування агрохімічних засобів (добрива, пестициди) та функціонування тваринницьких комплексів.*

15.4.2. Агрохімічні засоби. Агрохімія вже не може задовольнитися традиційними методами досліджень. Необхідне вивчення поведінки добрив у ландшафті із застосуванням біогеохімічних методів досліджень. Отже, виник новий напрям у науці – *агрогеохімія*. Стосовно гідрохімії цей напрям

можна назвати *агрогідрохімією*, оскільки основним об'єктом його досліджень є природні води [5]. Зростаючі обсяги застосування агрохімічних засобів призводять до забруднення природних вод. Джерелами невикористаних втрат добрив і засобів захисту рослин, їх надходження у водні об'єкти є: 1) суттєві механічні втрати в технологічному ланцюзі від заводу до поля; 2) стік з поверхні полів у річки, озера, ставки; 3) міграція хімічних речовин по профілю ґрунту; 4) втрати через водну і вітрову ерозію ґрунту; 5) втрати різних відходів тваринництва в результаті безгосподарного до них ставлення; 6) непродуктивне і неконтрольоване використання відходів різних галузей промисловості як добрив.

Важливою причиною забруднення навколишнього середовища добривами і засобами захисту рослин є недосконалість їх хімічних, фізичних і механічних властивостей, а також порушення науково обґрунтованих технологій їх внесення.

Добрива – це речовини, призначені для поліпшення живлення рослин і підвищення родючості ґрунту. Їх класифікують за способом виробництва, хімічним складом, фізичним станом, характером дії на ґрунт, походженням. За хімічним складом добрива поділяють на мінеральні, органічні та мікродобрива. До *мінеральних* належить добрива, які містять елементи живлення рослин у вигляді неорганічних сполук, до *органічних* – які містять елементи живлення у вигляді органічних сполук. *Мікродобрива* є мінеральними, проте виділяються в окрему групу, оскільки містять специфічні елементи в мікродозах.

Вид мінерального добрива характеризують за поживною речовиною. Розрізняють азотні, фосфорні, калійні, борні, марганцеві, молібденіві, цинкові, мідні та інші добрива.

Поживна речовина добрива – це основний елемент живлення, що міститься в ньому. В азотних добривах поживною речовиною є азот (N), у фосфорних – фосфор у вигляді P_2O_5 , у калійних – калій у вигляді K_2O тощо.

В Україні під удобрення угіддя зайнято 45 % площі, яка розташована над зонами поширення водоносних горизонтів. Доза добрив становить в середньому 100 кг/га і залежить від вирощуваних культур. Сумарна міграція азоту вниз з ґрунтового шару може досягати 10–30 %, калію – 30 %, фосфору – 6 % від внесеного, причому втрати добрив на легких піщаних ґрунтах у 8–12 разів вищі, ніж на глинистих.

Пестициди – це хімічні препарати, які використовують для боротьби з шкідниками та хворобами рослин, бур'янами. Оскільки пестициди в разі недотримання технологій застосування можуть значно забруднювати природні води.

Згідно з класифікацією за ступенем персистентності (стійкості) у навколишньому середовищі, пестициди поділяються на 4 групи:

1) дуже стійкі – понад 2 роки (ГХЦГ, хлордан, діддрин, гептахлор, алдрин);

2) стійкі – від 6 місяців до 2 років (симазин, севин, атразин, монурон, діурон);

3) помірно стійкі – від 1 до 6 місяців (трифлоралін, метафос, 2, 4, 5–Т, 2, 4–Д, діазин, фосфамід, далапон);

4) малостійкі – до 1 місяця (хлорофос, карбофос, фورات).

Застосування ДДТ (стійкість 2–15 років) заборонено в Україні з 1969 р.

У табл. 15.6 наведено певні дані стосовно персистентності деяких пестицидів у ґрунтах водозборів, розташованих у різних фізико-географічних умовах.

Таблиця 15.6. Персистентність деяких пестицидів у ґрунтах водозборів, розташованих у різних фізико-географічних умовах

Пестецид	Доза, г/га	Природна зона	Період повного зникнення, діб
ГХЦГ (гексахлорциклопексан)	100	Степова	350
	100	Мішаних лісів	460
Метафос	7,5	Степова	12
	7,5	Мішаних лісів	12–34
Хлорофос	2,0	Степова	6
	2,0	Мішаних лісів	4
	15,0	Степова	13–15
	15,0	Мішаних лісів	35

15.4.3. Тваринницькі комплекси. За даними УкрНДІагропроект в Україні діяло декілька тис. ферм і тваринницьких комплексів. Кількість відходів становила 300 млн м³, в яких вміст азоту сягав 1,5 млн т. Не менше 10 % цього азоту в процесі зберігання, транспортування та утилізації змивалося чи фільтрувалося в поверхневі і підземні води. В перерахунку на нітратне забруднення в навколишнє середовище щорічно надходить 450 тис. т азотних сполук.

15.5. Охорона вод від забруднення

Система охорони вод включає такі основні напрями: *правові; організаційні; технологічні; економічні; наукові; соціальні.*

15.5.1. Правовою основою проведення комплексних заходів, спрямованих на охорону вод від антропогенного впливу, є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991 р., зі змінами, внесеними протягом 1993–2024 рр.), «Водний кодекс України» (1995 р., зі 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.

15.5.2. Організаційні аспекти охорони водних ресурсів – це комплекс оргзаходів, 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 Сирету; 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.

У більшості областей в системі Державного агентства водних ресурсів України діють регіональні офіси водних ресурсів (РОВО).

15.5.3. 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 цінних продуктів.

15.5.4. 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.

15.5.5. 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.

15.5.6. 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», Водна стратегія України на період до 2050 року 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.

Завдання для самостійної роботи

Проаналізувавши в теоретичних відомостях розд. 15.2. «Промислові стічні води та методи їх очищення», розд. 15.3 «Господарсько-побутові стічні води та методи їх очищення», розд. 15.4. «Сільськогосподарські стічні води», в робочих зошитах надати характеристику складу цих видів стічних вод, звернувши увагу на те, чим вони відрізняються між собою.

Контрольні питання

1. Що таке забруднення водних об'єктів?
2. Що таке забруднювач (джерело забруднення)?
3. Що таке забруднювальна речовина?
4. Що таке засмічення вод?

5. Що таке точкові та дифузні джерела забруднення вод?
6. Коротко охарактеризувати промислові стічні води.
7. Коротко охарактеризувати господарсько-побутові стічні води.
8. Які є основні методи очищення господарсько-побутових та промислових стічних вод?
9. Коротко охарактеризувати сільськогосподарські стічні води.
10. Для чого використовуються добрива?
11. Для чого використовуються пестициди?
12. Які аспекти включає система охорони вод?
13. Коротко охарактеризувати основні аспекти охорони вод: правові; організаційні; технологічні; економічні; наукові; соціальні.

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- 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>
- Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л., Чунар'ов О.В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона: навч. посібник / За ред. В.К. Хільчевського. К.: ВПЦ Київський університет, 2015. 154 с.
- Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. К.: ДІА, 2023. 228 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 16

ТЕМА: ОЦІНЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета: з'ясувати основні показники забруднення води водних об'єктів, освоїти застосування комплексних критеріїв якості води, ознайомитися із сучасною нормативною базою щодо оцінювання якості води.

Основні терміни і поняття: якість води, забруднення води, показники забруднення води: фізичні, хімічні, біологічні, комплексні критерії якості води, індекс забруднення вод, нормативна база.

Аудиторні завдання

Після ознайомлення з теоретичними відомостями, таблицями 16.3-16.7, виконати розрахунки середньорічних індексів забруднення вод (ІЗВ) та класів якості води для р. Сапалаївка (м. Луцьк) за 2021–2023 рр. Первинні показники хімічного складу води р. Сапалаївка (м. Луцьк) за 2021–2023 рр. наведені в табл. 16.1. Відповідь оформити в табл. 16.2.

Таблиця 16.1. Первинні дані. Показники хімічного складу води р. Сапалаївка (м. Луцьк) за 2021–2023 рр. та ГДК наведених показників

Показник	Значення показника			ГДК показника
	2021 р.	2022 р.	2023 р.	
Азот амонійний, мг/дм ³	2,3	1,9	25	2,0
Азот нітритний, мг/дм ³	6,4	7,2	22,1	3,3
Азот нітратний, мг/дм ³	40	40	45	45
Нафтопродукти, мг/дм ³	0,3	0,5	0,25	0,1
Феноли, мг/дм ³	0,003	0,002	0,001	0,001
Розчинений кисень, мг/дм ³	8,0	8,5	5,5	-
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	3	2,5	3	-

Таблиця 16.2. Для оформлення відповіді. Результати розрахунку середньорічних ІЗВ та класів якості води для р. Сапалаївка (м. Луцьк) за 2021–2023 рр.

Показник	Співвідношення С/ГДК (для БСК ₅ і розчиненого О ₂ , норматив /концентрація)		
	2021 р.	2022 р.	2023 р.
Азот амонійний (NH ₄ ⁺)			
Азот нітритний (NO ₂ ⁻)			
Азот нітратний (NO ₃ ⁻)			
Нафтопродукти			
Феноли			
БСК ₅			
Розчинений кисень, О ₂			
Σ С/ГДК			
ІЗВ (Σ С/ГДК)/6			
Клас якості			

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 16

Зміст

- 16.1. Показники забруднення води. – С. 187.
- 16.2. Поняття про комплексні критерії якості води. – С. 188.
- 16.3. Сучасна нормативна база щодо оцінювання якості води. – С. 192.
- 16.4. Державний моніторинг вод та екологічні цілі оцінювання якості води. – С. 195.
- 16.5. Методика оцінювання масиву поверхневих вод за класами екологічного та хімічного станів. – С. 198.
- 16.6. Гігієнічні цілі оцінювання якості води водних об'єктів для господарсько-питного і культурно-побутового використання. – С. 200.

16.1. Показники забруднення води

Фізичними показниками забруднення води є запах, каламутність, наявність завислих частинок.

Хімічними показниками забруднення води є вміст нестійкої органічної речовини, яка характеризується перманганатною окиснюваністю, вміст кисню, величина концентрації амонію і нітратів, а також певною мірою і весь комплекс розчинених речовин.

Біологічними показниками забруднення води є в першу чергу бактеріологічні показники, зокрема кишкова паличка (*Escherichia coli*), яка міститься у кишковому тракті людини і тварин. Ймовірно, що вона є прямим доказом наявності у воді фекалій та можливості проникнення патогенних мікробів.

Крім колі-індексу, іноді ступінь забруднення води визначається зворотною величиною – колі-титром, тобто найменшим об'ємом води, який припадає на одну кишкову паличку. Залежність між ними така: колі-індекс = 1000/колі-титр. Якщо, наприклад, колі-титр дорівнює 0,4, то колі-індекс дорівнює 2500.

Сильно забруднена вода має колі-індекс понад 10000, а та, що задовольняє вимоги, – менше 3,0 з колі-титром відповідно близько 333.

Іншим показником бактеріологічного забруднення є *кількість сапрофітних бактерій*. Сапрофітні організми не створюють органічну речовину з неорганічних сполук, вони живуть за рахунок вже готової органічної речовини. Кількість сапрофітних бактерій корелюється з вмістом органічної речовини. Всі хвороботворні (патогенні) бактерії – сапрофітні.

Показником забруднення вважають і *склад найпростіших водяних організмів* (інфузорії, джгутикові, мохуватки та інші), який якісно і кількісно змінюється залежно від ступеня забруднення водойми.

Якщо не зважати на забруднювальні речовини специфічного характеру (нафтопродукти, феноли, солі важких металів), то загальна забрудненість характеризується зміною фізичних властивостей водойми, складу води і водної біоти.

Всі процеси – як фізичні і хімічні, так і мікробіологічні і біологічні у водоймі тісно пов'язані один з одним. Це дає змогу характеризувати ступінь забрудненості водойми на основі екологічного взаємозв'язку організмів з навколишнім середовищем за так званою *сапробністю водойми*, тобто

комплексу фізіологічних властивостей даного організму і здатності його розвиватися залежно від вмісту органічних речовин і ступеня забрудненості.

16.2. Поняття про комплексні критерії якості води

Оцінювання якості води є досить трудомістким завданням, оскільки воно базується на порівнянні середніх концентрацій, які спостерігаються в пункті контролю якості вод, з установленими нормами (ГДК – гранично допустимими концентраціями) для кожного інгредієнта. Особливі труднощі виникають, якщо необхідно показати тенденцію якості води за кілька років. Якщо на ділянці водного об'єкта концентрації одних інгредієнтів знижуються, а інших підвищуються, то оцінити якість води і виявити тенденцію дуже важко. Це зумовлює необхідність розроблення методики комплексного оцінювання якості вод.

Розглянемо деякі з них, хоча варто зазначити, що в наш час ці методики не є нормативними. Але вони є корисними при застосуванні у навчальних цілях для отримання практичних навичок з оцінювання якості води.

16.2.1. Індекс забруднення вод (ІЗВ). Від 1970-х років в оперативній роботі служби моніторингу вод використовувалася методика розрахунку індексу забруднення вод (ІЗВ), яка є доступною і нескладною в застосуванні. Оцінювання за показником ІЗВ дає змогу виконати порівняння якості вод різних водних об'єктів між собою, незалежно від наявності забруднювальних речовин, виявити тенденцію якості вод в часі [11]. На сьогодні ця методика може застосовуватися в навчальних цілях.

Індекс забруднення для поверхневих вод розраховується лише за певною кількістю показників. За результатами аналізів кожного з показників виводиться середнє значення. Кількість аналізів для визначення середнього значення має бути не меншою за 4. Якщо при розрахунку середньоарифметичного використовувались значення, які виходять за межі звичайного ряду спостережень (у результаті аварійного скиду забруднювальних речовин), у тексті повинна бути відповідна примітка. Розрахунок ІЗВ виконується за формулою

$$ІЗВ = \sum \frac{C}{ГДК} / n, \quad (16.1)$$

де ГДК – гранично допустима концентрація (значення) показника;

С – фактична концентрація (значення) показника;

n – кількість показників.

Для поверхневих вод кількість показників, які беруться для розрахунку ІЗВ, повинна бути не меншою 5, незалежно від того, перевищують вони ГДК чи ні, але обов'язково включати розчинений кисень та БСК₅. Для морських вод кількість показників повинна бути не меншою 4 і включати обов'язково розчинений кисень. В цілому, показники обираються незалежно від лімітуючої ознаки шкідливості. За рівних концентрацій показників перевага надається речовинам, які мають токсикологічну ознаку шкідливості.

З урахуванням того, що величина біохімічного споживання кисню (БСК₅) є інтегральним показником наявності легкоокиснюваних органічних речовин (ГДК для повного БСК становить 3 мгО₂/дм³), а також того, що зі

зростанням вмісту легкоокислюваних органічних речовин і зменшенням вмісту розчиненого кисню якість вод знижується непропорційно різко, норматив для БСК при розрахунках ІЗВ береться дещо інший ніж ГДК (табл. 16.3). Для розчиненого кисню – також (табл. 16.4).

Таблиця 16.3. Нормативи для біохімічного споживання кисню (БСК₅) при розрахунках ІЗВ

БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Норматив для розрахунку ІЗВ, мг/дм ³
до 3	3
3–15	2
> 15	1

Таблиця 16.4. Нормативи для розчиненого кисню (О₂) при розрахунках ІЗВ

Розчинений О ₂ , мг/дм ³	Норматив для розрахунку ІЗВ, мг/дм ³
> 6	6
< 5–6	12
< 4–5	20
< 4–3	30
< 3–2	40
< 2–1	50
< 1–0	60

Причому, на відміну від інших показників, для розчиненого кисню при розрахунках ІЗВ береться співвідношення норматив/реальна концентрація.

Отримавши числові значення ІЗВ, визначають класи якості води. У табл. 16.5 наведено оцінювання класів якості води за величиною ІЗВ (без урахування водності) для поверхневих вод суходолу та морських вод.

Таблиця 16.5. Оцінювання класів якості води за величиною ІЗВ (без урахування водності)

Клас якості вод	Текстовий опис	Величина ІЗВ	Клас якості вод	Текстовий опис	Величина ІЗВ
1	2	3	4	5	6
<i>Для поверхневих вод суходолу</i>			<i>Для морських вод</i>		
I	Дуже чиста	<0,3	I	Дуже чиста	<0,25
II	Чиста	> 0,3–1	II	Чиста	> 0,25–0,75
III	Помірно забруднена	> 1–2,5	III	Помірно забруднена	> 0,75–1,25
IV	Забруднена	> 2,5–4	IV	Забруднена	> 1,25–1,75
V	Брудна	>4–6	V	Брудна	> 1,75–3
VI	Дуже брудна	> 6–10	VI	Дуже брудна	>3–5
VII	Надзвичайно брудна	> 10	VII	Надзвичайно брудна	> 5

16.2.2. Приклад розрахунку ІЗВ для р. Віта в селищі Хотів (південно-західна околиця Києва). Первинні значення обраних показників по р. Віта наведено в табл. 16.6.

Таблиця 16.6. Показники хімічного складу води р. Віта поблизу селища Хотів (південно-західна околиця Києва) за 2021–2023 рр. та ГДК наведених показників

Показник	Значення показника			ГДК показника
	2021 р.	2022 р.	2023 р.	
Азот амонійний, мг/дм ³	2,2	1,6	26	2,0
Азот нітритний, мг/дм ³	6,6	7,46	23,1	3,3
Азот нітратний, мг/дм ³	45	40	40	45
Нафтопродукти, мг/дм ³	0,3	0,5	0,25	0,1
Феноли, мг/дм ³	0,004	0,003	0,003	0,001
Розчинений кисень, мг/дм ³	8,0	5,5	4,5	-
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	4	7	12	-

Розрахунок співвідношення для БСК₅ виконується таким чином. При значеннях БСК₅ у 2021 р. – 4 мгО₂/дм³, 2022 р. – 7 мгО₂/дм³, 2023 р. – 12 мгО₂/дм³ (див. табл. 16.6) із табл. 16.3 береться відповідний норматив 2, на який потім ділять середньорічні величини БСК₅. Було отримано співвідношення 2; 3,5; 6 (табл. 16.7).

Таблиця 16.7. Результати розрахунку середньорічних ІЗВ та класів якості води для р. Віта поблизу селища Хотів (південно-західна околиця Києва) за 2021–2023 рр.

Показник	Співвідношення С/ГДК (для БСК ₅ і розчиненого кисню, норматив /концентрація)		
	2021 р.	2022 р.	2023 р.
Азот амонійний	1,1	0,8	13,0
Азот нітритний	2,0	2,2	7,0
Азот нітратний	1,0	0,9	0,9
Нафтопродукти	3,0	5,0	2,5
Феноли	4,0	3,0	3,0
БСК ₅	2,0	3,5	6,0
Розчинений кисень	0,75	2,18	4,44
∑ С/ГДК	13,85	17,58	36,84
ІЗВ (∑ С/ГДК)/6	2,31	2,93	6,14
Клас якості	III (помірно забруднена)	IV (забруднена)	VI (дуже брудна)

Розрахунок співвідношення для розчиненого кисню у воді р. Віта виконувався таким чином. При концентраціях О₂ у 2021 р. – 8 мг/ дм³; у 2022 р. – 5,5 мг/ дм³; у 2023 р. – 4,5 мг/ дм³ (див. табл. 16.6) із табл. 16.4 беруться відповідні нормативи – 6, 12 і 20. Потім величини цих нормативів ділять на

середньорічні концентрації розчиненого кисню. Були отримані співвідношення: 0,75; 2,18; 4,44 (див. табл. 16.7).

Розрахунок співвідношення для інших показників у воді р. Віта виконувався діленням його концентрації на ГДК (С/ГДК) – див. табл. 16.7.

Розрахунок $\Sigma С/ГДК$: 2021 р.: 13,85; 2022 р.: 17,58; 2023 р.: 36,84 (див. табл. 16.7).

Розрахунок $IЗВ \Sigma С/ГДК/6$: 2021 р.: $13,85/6 = 2,31$; 2022 р.: $17,58/6 = 2,93$; 2023 р.: $36,84/6 = 6,14$ (див. табл. 16.7).

Визначення класу якості води. Отримані значення ІЗВ порівнюємо з табл. 16.5 і отримуємо результат: 2021 р.: ІЗВ = 2,31 – клас якості води III (помірно забруднена); 2022 р.: ІЗВ = 2,93 - клас якості води IV (забруднена); 2023 р.: ІЗВ = 6,14 – клас якості води VI (дуже брудна) – див. табл. 16.7.

Врахування водності річки при розрахунку ІЗВ. При визначенні ІЗВ можна враховувати і водність річки. Для цього треба спочатку визначити коефіцієнт водності річки (k), який дорівнює відношенню фактичної середньорічної (сезонної) витрати Q_{ϕ} до середньобагаторічної Q_c :

$$k = Q_{\phi} / Q_c. \quad (16.2)$$

Потім отриману величину ІЗВ множимо на коефіцієнт водності. Наприклад, фактична витрата води р. Віта в 2021 р. становила $3,5 \text{ м}^3/\text{с}$, 2022 р. – $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$, 2023 р. – $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$, середньобагаторічна – $2,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Відповідно за роками коефіцієнт водності (k) становить 1,75; 1,50; 0,9.

Отримаємо ІЗВ з урахуванням водності

2021 р.: $2,31 \times 1,75 = 4,04$ (брудна); 2022 р.: $2,93 \times 1,50 = 4,39$ (брудна); 2023 р.: $6,14 \times 0,9 = 5,52$ (брудна).

16.2.3. Методика екологічного оцінювання якості поверхневих вод за відповідними категоріями (1998 р.). В цій методиці викладена система екологічної класифікації якості поверхневих вод, описано порядок виконання екологічного оцінювання, в тому числі його математична формалізація, а також засоби подання одержаних результатів [44].

Система екологічної класифікації якості поверхневих вод суходолу включає три групи показників:

- 1) *показники сольового складу (головні йони)*;
- 2) *трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні)*: рН; концентрація азоту амонійного; азоту нітритного; азоту нітратного; фосфатів; розчиненого кисню; біохімічне споживання кисню (БСК); хімічне споживання кисню (ХСК).
- 3) *речовини токсичної дії*: синтетично поверхнево-активні речовини (СПАР), важкі метали, феноли.

Відповідно до цих груп показників визначаються індекси: I_1 ; I_2 ; I_3 .

Комплексний екологічний індекс (I_e) розраховується за формулою:

$$I_e = (I_1 + I_2 + I_3) / 3, \quad (16.3)$$

де I_1 , I_2 , I_3 – факторні індекси, обумовлені максимальним перевищенням однієї з характеристик у кожній групі показників.

Відповідно до значень екологічного індексу виділяють класи і категорії якості вод за ступенем їхньої чистоти (забрудненості) – табл. 16.8:

I клас \rightarrow 1 категорія (дуже чисті) $\rightarrow I_e = 0,2$.

II клас → 2 категорія (чисті) → $I_e = 0,3-1,0$; → 3 категорія (помірно забруднені) → $I_e = 1,1-2,0$.

III клас → 4 категорія (забруднені) → $I_e = 2,1-4,0$; → 5 категорія (брудні) → $I_e = 4,1-6,0$.

IV клас → 6 категорія (дуже брудні) → $I_e = 6,1-10,0$.

V клас → 7 категорія (надзвичайно брудні) → $I_e > 10,0$.

Таблиця 16.8. Значення комплексного екологічного індексу I_e для визначення класу та категорії забрудненості вод

I клас		II клас		III клас		IV клас	V клас
1 категорія	2 категорія	3 категорія	4 категорія	5 категорія	6 категорія	7 категорія	
дуже чисті	чисті	помірно забруднені	забруднені	брудні	дуже брудні	надзвичайно брудні	
$I_e = 0,2$	$I_e = 0,3-1$	$I_e = 1,1-2,0$	$I_e = 2,1-4,0$	$I_e = 4,1-6,0$	$I_e = 6,1-10$	$I_e > 10$	

Розглянуті методики оцінювання якості води можуть використовуватися у навчальних цілях. Статусу нормативних (затверджених профільними відомствами) вони не мають.

16.3. Сучасна нормативна база щодо оцінювання якості води

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.

16.3.1. Зміни в нормативній базі щодо оцінювання якості води (2014-2022 рр.). 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. Нижче коротко зупинимось на деяких аспектах.

- 1 лютого 2015 р. набув чинності ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [134].

- 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 [148]. 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) [144].

- 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) [140].

Ці два документи [140, 144] привнесли радикальні зміни в сферу моніторингу та нормативного 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 [139]. 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».

В 2021 р. Кабінет Міністрів України схвалив «Морську природоохоронну стратегію України» [141].

Не дивлячись на зайнятість державних органів військовими справами через агресію Росії проти України, 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»;

- «Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення», затверджені наказом МОЗ України [131];

- «Водна стратегія України на період до 2050 року», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України [130].

16.3.2. Сучасні підходи щодо нормативного оцінювання якості води для різних цілей. *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. 16.1). 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. 16.9 наведено нормативні методики та інші документи, які мають застосовуватися для оцінювання якості води для різних цілей на сучасному етапі в Україні.



Рис. 16.1. Схема оцінювання якості води водного об'єкта для різних цілей

Таблиця 16.9. 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 [79])

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...[140]*	ДСП 173-96: Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів . <i>Додаток 11: Гігієнічні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів...[133].</i>		Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства... [142]	ДСанПіН 2.2.4-171-10: Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [132]
	Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, госп.-побутових та ін. потреб [131]			ДСТУ 7525:2014: Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості [134]
	ДСТУ 4808:2007: Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання [138]			

Примітка. [140]* – номер джерела у загальному списку бібліографії.

16.4. Державний моніторинг вод та екологічні цілі оцінювання якості води

16.4.1. З історії моніторингу вод в Україні. 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 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.

Одним з основних нормативних документів для гігієнічного оцінювання якості води були «Санітарні правила та норми охорони поверхневих вод від забруднення» (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» [44]. В 2001 р. – «Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України». І хоча Мінекоресурсів України затвердило ці методики до застосування, вони не стали нормативними в тодішньому Держводгоспі або гідрометслужбі. Там використовували відомий з 1970-х рр. ІЗВ – індекс забруднення вод [11]. В 2012 р. авторським колективом УкрНДІЕП (м. Харків) було розроблено проєкт вдосконаленої «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [45], але в Мінприроди України вона не була затверджена.

Методика [44] 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.

16.4.2. 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», в якому імплементовано низку положень Водної рамкової директиви ЄС, що

стосуються гідрографічного районування [88] та моніторингу вод, внесено зміни до Водного кодексу України.

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) [143].

У 2018 р. постановою Кабінету Міністрів України затверджено «Порядок здійснення державного моніторингу вод» [144].

Державний моніторинг вод здійснюється з метою забезпечення збирання, обробки, збереження, узагальнення та аналізу інформації про стан водних об'єктів, прогнозування його змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі використання, охорони вод та відтворення водних ресурсів. Державний моніторинг вод є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля.

Об'єктами державного моніторингу вод є:

- масиви поверхневих вод (поверхневі водні об'єкти або їх частини), в тому числі прибережні води та зони (території), які підлягають охороні;
- масиви підземних вод (підземні водні об'єкти або їх частини), в тому числі зони (території), які підлягають охороні;
- морські води в межах територіального моря та виключної морської економічної зони України, в тому числі зони (території), які підлягають охороні.

Суб'єктами державного моніторингу вод є Міндовкілля, Держводагентство, Держгеонадра, ДСНС, а також ДАЗВ (у зоні відчуження та зоні безумовного (обов'язкового) відселення території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи). Загальна координація та організація державного моніторингу вод здійснюються Міндовкіллям.

16.4.3. Види моніторингу масивів вод. Залежно від цілей та завдань державного моніторингу вод встановлюються такі процедури:

- процедура діагностичного моніторингу масивів поверхневих та підземних вод;
- процедура операційного моніторингу масивів поверхневих та підземних вод;
- процедура дослідницького моніторингу масивів поверхневих вод;
- процедура моніторингу морських вод.

Діагностичний, операційний та дослідницький моніторинг здійснюється за басейновим принципом.

Діагностичний моніторинг здійснюється для масивів поверхневих та підземних вод з метою:

доповнення та підтвердження результатів визначення основних антропогенних впливів на кількісний і якісний стан поверхневих та підземних вод, у тому числі від точкових і дифузних джерел;

розроблення програми державного моніторингу вод;

встановлення референційних умов та оцінки їх довгострокових змін;

оцінки довгострокових змін, спричинених антропогенним впливом на кількісний і якісний стан поверхневих та підземних вод, у тому числі від

точкових і дифузних джерел;

оцінки довгострокових тенденцій зміни рівня та концентрації забруднювальних речовин у підземних водах внаслідок природних змін та антропогенного впливу на їх стан.

Для масивів поверхневих вод діагностичний моніторинг здійснюється протягом першого року здійснення державного моніторингу вод. Для масивів поверхневих вод, у яких відсутній ризик недосягнення екологічних цілей, діагностичний моніторинг здійснюється додатково протягом четвертого року виконання державного моніторингу вод.

Для масивів підземних вод діагностичний моніторинг здійснюється протягом перших двох років здійснення державного моніторингу вод або більше (у разі потреби).

Операційний моніторинг здійснюється щороку в період між роками здійснення діагностичного моніторингу.

Показники, за якими здійснюється операційний моніторинг, та періодичність їх вимірювання встановлюються з урахуванням результатів діагностичного та дослідницького моніторингу, даних, одержаних в результаті здійснення заходів державного нагляду (контролю) та державного соціально-гігієнічного моніторингу, даних передбаченої законодавством звітності (включаючи державну статистичну звітність), а також даних та інформації щодо об'єктів та видів діяльності, що підлягають оцінці впливу на довкілля згідно із Законом України "Про оцінку впливу на довкілля".

Дослідницький моніторинг здійснюється для масивів поверхневих вод з метою:

- встановлення причин відхилення від екологічних цілей;
- з'ясування масштабу та наслідків аварійного забруднення вод;
- встановлення причин наявності ризику недосягнення екологічних цілей, виявленого в процесі здійснення діагностичного моніторингу, до початку виконання операційного моніторингу.

16.4.4. Результатами здійснення державного моніторингу вод є:

- первинна інформація (дані спостережень), яка надається суб'єктами державного моніторингу вод;
- узагальнені дані, що стосуються певного проміжку часу або певної території;
- оцінка екологічного та хімічного стану масивів поверхневих вод, екологічного потенціалу штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод, кількісного та хімічного стану масивів підземних вод, екологічного стану морських вод та визначення джерел негативного впливу на них;
- прогнози стану вод і його змін;
- науково обґрунтовані рекомендації, необхідні для прийняття управлінських рішень у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів.

На підставі даних та інформації, отриманих в результаті здійснення державного моніторингу масивів поверхневих та підземних вод, визначаються:

- екологічний та хімічний стан масивів поверхневих вод;
- екологічний потенціал штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод, кількісний і хімічний стан масивів підземних вод.

З урахуванням отриманих оцінок розробляються плани управління річковими басейнами та оцінюється рівень досягнення екологічних цілей.

Суб'єкти державного моніторингу вод зобов'язані безстроково зберігати первинну інформацію (дані спостережень), отриману (отримані) в результаті здійснення державного моніторингу вод.

16.5. 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» [140] – табл. 16.10.

Таблиця 16.10. Структура «Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів...», 2019 р. [140]

№ розділу	Назва розділу	Додатки до розділу
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	

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.

Перелік критеріїв віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного стану починається з біологічних показників (табл. 16.11).

Таблиця 16.11. Критерії віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного стану [140]

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 в 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

Тут наведено лише загальні аспекти методики, оскільки обсяг даної публікації не дозволяє розглянути її ширше. Як видно з табл. 16.10 та 16.11, ця методика достатньо непроста і для її освоєння вимагається спеціальне ретельне опрацювання всіх її розділів і додатків.

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 [145].

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.

Плани управління річковими басейнами розробляються Держводагентством разом з Держгеонадрами, гідрометеорологічними організаціями ДСНС України, центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, іншими заінтересованими сторонами з урахуванням рішень відповідних басейнових рад.

16.6. Гігієнічні цілі оцінювання якості води водних об'єктів для господарсько-питного і культурно-побутового використання

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.

16.6.1. Оцінювання якості води джерела водопостачання. Оцінювання якості води джерела водопостачання відбувається за ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» [138]. 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.

16.6.2. 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 [133].

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 [133].

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; колифаги; 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 [131].

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); колифаги; 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).

В «Гігієнічних нормативів якості води...» [131] 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.

16.6.3. Нормування якості питної води, призначеної для споживання людиною. Питна вода – це 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 [132].

Питна вода не вважається харчовим продуктом. Якість питної води в Україні нормується двома основними документами: ДСанПіН 2.2.4-171-10 [132]; ДСТУ 7525:2014 [134].

У наступній практичній роботі № 17 «Характеристика якості води, що надходить для водопостачання м. Луцька» виконується оцінювання якості питної води м. Луцька з використанням ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Завдання для самостійної роботи

1. Проаналізувавши теоретичні відомості за темою, рис. 16.1 скласти перелік методик оцінювання якості води та забруднення водних об'єктів за двома рубриками: а) нормативні методики (затверджені державними органами та діючі на сьогодні); б) методики, що втратили свою чинність і можуть використовуватися лише в навчальних цілях.

Контрольні питання

1. Що є фізичними, хімічними та біологічними показниками забруднення води?

2. Що таке індекс забруднення вод (ІЗВ)?

3. Які групи показників включає методика екологічної класифікації якості поверхневих вод суходолу (1998 р.)?

4. Як розраховується комплексний екологічний індекс у методиці екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (1998 р.)?

5. Які суттєві зміни відбулися в нормативній базі щодо оцінювання якості води протягом 2014-2022 рр.?

6. Коли і яким органом в Україні було прийнято «Порядок здійснення державного моніторингу вод»?

7. Що є об'єктами державного моніторингу вод?

8. Які види моніторингу передбачає «Порядок здійснення державного моніторингу вод»?

9. В чому суть «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»?

10. За яким нормативним документом оцінюється якість води джерела водопостачання?

11. За яким нормативним документом оцінюється якість води джерела, що використовується в оздоровчих, рекреаційних, спортивних цілях?

12. За яким нормативним документом оцінюється якість води питної, призначеної для споживання людиною?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

• 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>

• 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>

• 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=53159139.

• 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>

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

- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 17

ТЕМА: ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКОСТІ ВОДИ, ЩО НАДХОДИТЬ ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ М. ЛУЦЬКА

Мета: з'ясувати якість води, що надходить для водопостачання м. Луцька, шляхом порівняння реальних даних про її хімічний склад з нормативними вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».

Основні терміни і поняття: водозабір підземних вод, централізоване господарсько-питне водопостачання, питна вода, водопідготовка, незалізнення води, хлорування води, якість води, нормативні вимоги.

Аудиторні завдання

1. Використовуючи рис. 17.1 «Картосхема водопровідно-каналізаційного господарства м. Луцька» теоретичних відомостей з даної теми у робочих зошитах виконати короткий опис розташування в районах міста трьох водозаборів підземних вод м. Луцька (Дубнівського, Омелянівського, Гнідавського).

2. Вивчивши табл. 17.2 «Якість питної води, що подається користувачам з різних водогонів м. Луцька», та табл. 17.3 і 17.4 (нормативні вимоги ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною») теоретичних відомостей з даної теми, виконати оцінювання якості води гіпотетичного водопроводу, дані про який наведено в табл. 17.1. Відхилення від ГДК навести в графі 6 табл. 17.1. Зробити висновок про придатність/непридатність цієї води як питної.

Таблиця 17.1. Для оформлення відповіді. Оцінювання показників якості питної води гіпотетичного водопроводу

№з/п	Назва показника	Одиниця виміру	Показник	ГДК за ДСанПіН 2.2.4-171-10	Відхилення показника від ДСанПіН
1	2	3	4	5	6
1	Запах при 20 ⁰ С	бали	0	не більше 2	
2	Запах при 60 ⁰ С	бали	0	не більше 2	
3	Присмак	бали	0	не більше 2	
4	Забарвленість	градуси	7	не більше 20 (35)	
5	Каламутність	мг/дм ³	0,6	не більше 1,5 (2)	
6	рН	одиниці рН	7,1	6,5–8,5	
7	Загальна твердість	ммоль/дм ³	7,9	не більше 7,00 (10,0)	
8	SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	40,4	не більше 250 (500)	
9	Cl ⁻	мг/дм ³	400	не більше 250 (350)	
10.	Мінералізація	мг/дм ³	471,8	не більше 1000	

1	2	3	4	5	6
11	Cl- залишковий вільний	мг/дм ³	0,3	0,3-0,5	
12	NH ₄ ⁺	мг/дм ³	4,6	не більше 0,5 (2,6)	
13	Ортофосфати	мг/дм ³	0,083	не більше 3,5	
14	Fe (заг.)	мг/дм ³	1,5	не більше 0,20 (1,0)	
15.	Mn	мг/дм ³	0,017	не більше 0,005	
16	Cu	мг/дм ³	1,5	не більше 1,0	
17	Zn	мг/дм ³	1,5	не більше 1,0	
18	Al	мг/дм ³	0	не більше 0,20 (0,50)	

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 17

Зміст

- 17.1. Централізоване господарсько-питне водопостачання. – С. 206.
 17.2. Водопостачання м. Луцька. – С. 207.
 17.3. Якість питної води в м. Луцьку. – С. 209.

17.1. Централізоване господарсько-питне водопостачання

Стала система постачання води належної якості та кількості населенню, промисловим підприємствам та іншим виробничим об'єктам називається *водопостачанням*.

Централізоване господарсько-питне водопостачання – сукупність заходів із забезпечення питною водою населення, пов'язаних єдиним технологічним процесом. Централізоване господарсько-питне водопостачання включає вибір і оцінку можливих джерел водопостачання (для підземних вод – оцінку їх запасів), вибір місця закладання та будівництво водозабірних споруд, санітарну оцінку вод і заходів з їх охорони від забруднення. Склад і властивості питної води в системах централізованого господарсько-питного водопостачання повинні відповідати певним нормативним вимогам.

Водопровід (системи водопостачання) – це комплекс інженерних споруд, які призначені для забору води з джерела водопостачання, її очищення, зберігання і доставки до споживача.

За видами використання природних водних джерел вирізняють водопроводи (системи водопостачання), що забирають воду з поверхневих джерел – річок, водосховищ, озер, морів, і водопроводи, що забирають воду з підземних джерел (артезіанських). Існують також водопроводи змішаного живлення.

В залежності від природних умов у містах України забирають воду з різних джерел водопостачання – як з поверхневих водних об'єктів, так і з підземних водоносних горизонтів. Наприклад, водопостачання Києва в

останні роки забезпечується наступним чином: 66 % – р. Десна; 25 % – р. Дніпро; 9 % – підземні води.

17.2. Водопостачання м. Луцька

Водопостачання Луцька на 100 % забезпечується за рахунок підземних вод трьома груповими водозаборами: Дубнівським, Омелянівським, Гнідавським (рис. 17.1). Але так було не завжди.

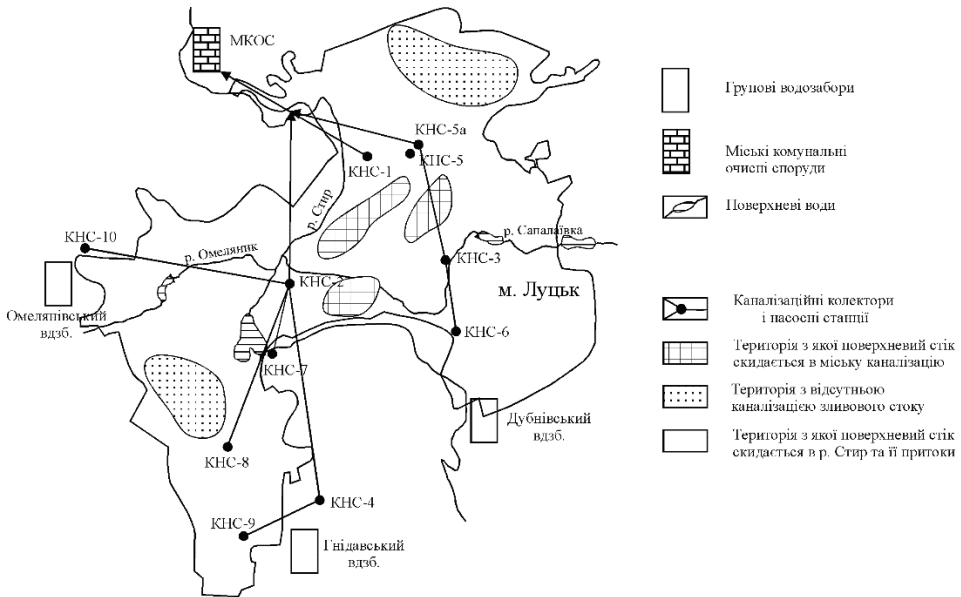


Рис. 17.1. Картохема водопровідно-каналізаційного господарства м. Луцька, розташування Дубнівського, Омелянівського, Гнідавського водозаборів [49]

17.2.1. З історії водопостачання Луцька. У м. Луцьку перша водокачка з'явилася у 1909 р. в гирлі р. Жидувка. Перший централізований водопровід було збудовано по вул. Шопена (проект будівництва водопроводу в Луцьку було ухвалено міським соціально-економічним комітетом 18.01.1925 р.). Тут було споруджено водокачку з механічним приводом, каналізацію, було організоване водяне опалення житла.

На початку. 1930-х рр. у Луцьку починають в комплексі будувати річковий водозабір і каналізаційну мережу. Дубнівський водозабір складався із річкового водозабору, споруд для очищення річкової води (зnezалізнення), чотирьох артезіанських свердловин, насосної станції, резервуару чистої води та резервуару для палива.

В 1936 р. було споруджено відстійник на р. Стир потужністю 500 м³.

До 1937 р. всі вулиці в центрі Луцька були вже з водопроводом. З насосної станції Біваки по вул. Дубнівській йшов головний водопровід, який розгалужувався на центральні вулиці міста: Болеслава Хороброго, Ягелонську, Крульової Бони, Домініканську, Берка Йосилевича, Мучну,

Караїмську, Краківську. Всього до 30 вулиць мали водопровід, протяжність мережі складала більше 18 км. Труби поставляла фірма з Катовіце в добротній антикорозійній ізоляції. Одночасно велися роботи із будівництва каналізаційної мережі. Колектор Глушець діаметром 1000 мм підключався до станції перекачки, яка відкачувала воду з міських луків (нині території Центрального парку культури і відпочинку імені Лесі Українки), а також стічні води існуючої каналізаційної мережі міста.

Подальша розбудова Дубнівського водозабору розпочалася після Другої світової війни (1939–1945 рр.) – були споруджені: станція першого підйому води на р. Стир, близько 10 артезіанських свердловин.

В 1956–1957 рр. було уведено в дію другий артезіанський водозабір – Омелянівський. Протяжність водопроводу становила 111 км, В 2022 р. протяжність водопроводу досягла 304 км.

17.2.2. У наш час для водопостачання м. Луцька використовуються лише підземні води водоносного горизонту у відкладах турон-селонського ярусу (47 артезіанських свердловин), які після певної водопідготовки - знезалізнення (рис. 17.2) та знезараження хлоруванням на КП «Луцькводоканал» подаються лучанам. Установлена випробнича потужність луцького водопроводу 82 тис. м³/добу.



Рис. 17.2. На станції знезалізнення підземних вод КП «Луцькводоканал» [98]

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. Подача місту води в останні роки становить 16 млн. м³/рік.

17.3. Якість питної води в м. Луцьку

У табл. 17.2 наведено показники якості питної води, що подається мешканцям та іншим користувачам у м. Луцьку насосними станціями Дубнівського, Омелянівського та Гнідавського водогонів.

Таблиця 17.2. Якість питної води, що подається користувачам з різних водогонів м. Луцька (за даними КП «Луцькводоканал», 2021 р.) [98]

№з/п	Назва показника	Одиниця виміру	ГДК за ДСанПіН 2.2.4-171-10	Дубнівський водогін	Омелянівський 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.	pH	одиниці pH	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

ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Питна вода у Луцьку досить високої якості, що має мінералізацією близько 398–472 мг/дм³, за всіма показниками відповідає нормативам «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затвердженим МОЗ України 12.05.2010 р.(табл. 17.3-17.4).

Таблиця 17.3. Показники епідемічної безпеки питної води за ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [132]

№	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 ротавірусів, 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 амеб, балантидія	клітини, цисти в 50 дм ³	відсутність	відсутність	відсутність
11	Кишкові гельмінти	клітини, яйця в 50 дм ³	відсутність	відсутність	відсутність

Таблиця 17.4. Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води за ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [132]

№	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
2	Забарвленість	градуси	<= 20 (35) ¹	<= 35	<= 10 (20) ⁴

Продовження табл. 17.4

1	2	3	4	5	6
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
2. 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
27	Миш'як	мг/дм ³	$\leq 0,01$	не визначається	$\leq 0,01$

Закінчення табл. 17.4

1	2	3	4	5	6
28	Молибден	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

Примітка. 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.

Завдання для самостійної роботи:

1. Проаналізувати табл. 17.2 «Якість питної води, що подається користувачам з різних водогонів м. Луцька» зробити висновок про її відповідність нормативним вимогам.

2. Проаналізувати табл. 17.3 і 17.4 (номативні вимоги ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»), охарактеризувати за якими групами показників оцінюється якість води.

3. Зазначити - за скількома параметрами виконується контроль якості води згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»)?

Контрольні питання

1. Коли було споруджено перший централізований водопровід у Луцьку, звідки бралася вода?

2. Звідки береться вода для водопостачання Луцька в наш час?

3. Як називаються основні водозабори Луцька?

4. Яка мінералізація питної води в Луцьку?
5. Яка твердість питної води в Луцьку?
6. Які технологічні операції виконує КП «Луцькводоканал» з водопідготовки питної води
7. Що таке знезалізнення води?
8. Навіщо робиться хлорування води?
9. Як називається основний нормативний документ в Україні стосовно питної води, призначеної для споживання людиною.

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. К.: МОЗ України. 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
- Забоклицька М.Р., Хільчевський В.К. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. 3 (42). С. 64-76.
- Мольчак Я.О., Фесюк В.О. Еколого-економічні основи водокористування: навч. посібник. Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2007. 584 с.
- Хільчевський В.К., Забоклицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. К.: ДІА, 2023. 228 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 18

ТЕМА: ХАРАКТЕРИСТИКА СТІЧНИХ ВОД М. ЛУЦЬКА

Мета: з'ясувати склад стічних вод, що надходять на очисні споруди каналізації м. Луцька, та ефективність їх очищення перед скиданням у р. Стир.

Основні терміни і поняття: водовідведення, стічні води, господарсько-побутові стічні води, промислові стічні води, склад стічних вод, очищення стічних вод, механічні методи, біологічні методи

Аудиторні завдання

1. Використовуючи рис. 18.3 «Картоschema гідрографії території м. Луцька та розташування очисних споруд каналізації» теоретичних відомостей з даної теми у робочих зошитах виконати короткий опис розташування очисних споруд каналізації м. Луцька (с. Липляни Луцького району).

2. Вивчивши теоретичні відомості з даної теми, а також дані табл. 18.2 «Хімічний склад стічних вод, що надходять на очисні споруди каналізації м. Луцька (I), та після їх очищення (II), що скидаються в р. Стир», виконати оцінювання ефективності очищення стічних вод (у скільки разів зменшилося значення показника складу у стічних водах після очищення). Результати занести графу 5 табл. 18.1.

Таблиця 18.1. Для оформлення відповіді. Оцінювання ефективності очищення стічних вод що надходять на очисні споруди каналізації м. Луцька (I), та після їх очищення (II), що скидаються в р. Стир, мг/дм³

№	Назва показника	Показник у стічних водах, що надходять на очисні споруди (I)	Показник у стічних водах після очищення на очисних спорудах (II)	Ефективність очищення стічних вод (рази)
1	2	3	4	5
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	

1	2	3	4	5
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	

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЗА ТЕМОЮ 18

Зміст

18.1. Централізоване водовідведення стічних вод. – С. 215.

18.2. Очисні споруди каналізації. – С. 216.

18.3. Водовідведення в м. Луцьку. – С. 217.

18.4. Склад стічних вод м. Луцька. – С. 218.

18.1. Централізоване водовідведення стічних вод

Централізоване водовідведення – відведення стічних вод з промислових територій, жилих будівель (квартири, приватні будинки) за допомогою інженерних санітарно-технічних приладів та каналізаційної мережі.

Каналізація – сукупність інженерних споруд, устаткування та санітарних засобів, що забезпечує збирання та виведення за межі населених пунктів і промислових підприємств забруднених стічних вод, а також їхнє очищення та знешкодження перед використанням чи скиданням у водний об'єкт.

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 стічні 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 стічні 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.

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.

18.2. Очисні споруди каналізації

На очисних спорудах застосовуються механічні (фізичні), хімічні (інколи) та біологічні методи очищення стічних вод. Попереднє очищення стічних вод забезпечують ґрати (рис. 18.1), піскоуловлювачі, сита.



Рис. 18.1. Механічне очищення: затримані на ґратах предмети із стічних вод

Фільтри та відстійники використовуються в основному для відокремлення високодисперсних нерозчинних забруднювальних речовин.

Біологічні методи очищення стічних вод. Процес самоочищення водних об'єктів у природних умовах відбувається повільно. Значно 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 біофільтрах, аеротенках. Біологічні методи очищення стічних вод полягають у розкладанні та мінералізації аеробним чи анаеробним шляхом колоїдних і

розчинених органічних речовин стічних вод, які не можуть бути вилучені механічним шляхом.

18.3. Водовідведення в м. Луцьку

З історії каналізації у Луцьку. На початку 1930-х рр. у Луцьку почалося комплексне будівництво річкового водозабору (з р. Стир) і каналізаційної мережі. В 1937 р. колектор Глушець діаметром 1000 мм підключався до станції перекачування, яка відкачувала воду з міських луків (нині території Центрального парку культури і відпочинку імені Лесі Українки), а також стічні води існуючої каналізаційної мережі міста.

Оскільки після Другої світової війни (1939-1945 рр.) розбудовувалася водопровідна мережа міста, то відповідно й збільшувалася кількість стічних вод. В 1974 р. введена в експлуатацію перша черга міських каналізаційних очисних споруд в с. Липляни потужністю 40 тис.м³ стічних вод на добу.

У наш час основний вплив Луцька на якість води р. Стир – це скидання 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 р. Стир поблизу с. Липляни Луцького району Волинської області (рис. 18.2). Установлена виробнича потужність очисних споруд 120 тис. м³/добу, застосовуються біологічні методи очищення стічних вод.



Рис. 18.2. Очисні споруди каналізації КП «Луцькводоканал» (с. Липляни Луцького району) з висоти пташиного польоту

Система водовідведення включає в себе каналізаційні мережі, колектори, каналізаційні насосні станції та каналізаційні очисні споруди.

Водовідведення дощових вод з території міста відбувається за допомогою дощової каналізації у найближчі водні об'єкти, зрештою у р. Стир (рис. 18.3) без очищення і без обліку, що впливає на якість річкової води.

18.4. Склад стічних вод м. Луцька

У табл. 18.2 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 деяких 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. 18.3. Картосхема гідрографії території м. Луцька та розташування очисних споруд каналізації (с. Липляни) [31]

Таблиця 18.2. 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	2	3	4
1	Завислі речовини	829	13,9

Закінчення табл. 18.2

1	2	3	4
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

Завдання для самостійної роботи

1. Проаналізувати додаток 2 «Перелік забруднювальних речовин, що заборонені до скидання до системи централізованого водовідведення» в «Правилах приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення» та скласти конспективний список цих забруднювальних речовин.

2. Проаналізувати додаток 4 «Вимоги до складу та властивостей стічних вод, що скидаються до системи централізованого водовідведення, для безпечного їх відведення та очищення на очисних спорудах системи централізованого водовідведення» в «Правилах приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення». Надати відповідь, записавши в робочому зошиті: яке максимальне допустиме значення показника або концентрація в пробі стічних вод може бути для рН, температури, ХСК (хімічне споживання кисню), азоту (сума азоту органічного та амонійного), фосфору загального, заліза?

3. Проаналізувати додаток 5 «Допустимі величини показників якості стічних вод та ефективність видалення забруднень на спорудах біологічного очищення» в «Правилах приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення» [147]. Надати відповідь, записавши в робочому зошиті: скільки показників лімітується в цьому переліку?

Контрольні питання

1. Назвати основні типи стічних вод.
2. Як за складом відрізняються господарсько-побутові стічні води від промислових стічних вод?
3. Коли в Луцьку було споруджено сучасні очисні споруди каналізації?
4. Де знаходяться очисні споруди каналізації Луцька?
5. Чи застосовуються методи біологічного очищення на цих спорудах?

6. Чи відбувається хлорування очищених стічних вод перед скиданням у водні об'єкти?
7. Куди скидаються очищені стічні води м. Луцька?
8. На яких двох етапах контролюється склад стічних вод?

Рекомендовані для вивчення теми бібліографічні джерела

- Забоклицька М.Р., Хільчевський В.К. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. 3 (42). С. 64-76.
- Мольчак Я.О., Фесюк В.О. Еколого-економічні основи водокористування: навч. посібник. Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2007. 584 с.
- Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення / Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.12.2017 р. № 316. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>
- Хільчевський В.К., Забоклицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. К.: ДІА, 2023. 228 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.

ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ІСПИТУ

1. Гідрохімія як наукова дисципліна. Історія гірхімії в Україні.
2. Будова атомів і молекул речовини.
3. Будова молекули води.
4. Вода як розчинник.
5. Процеси: розчинення, розбавлення, адсорбція
6. Умови формування хімічного складу природних вод.
7. Фізико-географічні чинники формування хімічного складу природних вод.
8. Геологічні чинники формування хімічного складу природних вод.
9. Фізико-хімічні чинники формування хімічного складу природних вод.
10. Біологічні чинники формування хімічного складу природних вод.
11. Антропогенні чинники формування хімічного складу природних вод.
12. Гідрохімічна зональність.
13. Основні групи хімічних елементів у природних водах.
14. Розчинені гази у воді.
15. Йони водню (рН) та окисно-відновний потенціал.
16. Головні йони. Генезис йонного складу природних вод.
17. Біогенні речовини у воді.
18. Органічна речовина у воді.
19. Мікроелементи у воді.
20. Специфічні забруднювальні речовини у воді.
21. Радіоактивність природних вод.
22. Природна та штучна радіоактивність природних вод.
23. Гідрохімія атмосферних опадів.
24. Гідрохімія річок.
25. Умови формування хімічного складу води озер.
26. Хімічний склад води прісних, солонуватих і соляних озер.
27. Хімічний склад води водосховищ.
28. Умови формування хімічного складу підземних вод.
29. Термальні і мінеральні води.
30. Гідрохімія морів і океанів.
31. Походження солей в океанів.
32. Головні йони та солоність морської води.
33. Розчинені гази у морській воді.
34. Концентрація водневих йонів (рН) та карбонатна система морської води.
35. Біогенні речовини у морській воді.
36. Органічна речовина у морській воді.
37. Мікроелементи у морській воді.
38. Вимоги до складу води при її використанні. Вода для господарсько-питних потреб.

39. Вода для технічних потреб.
40. Вода для зрошення.
41. Опріснення води.
42. Агресивна дія води на бетон.
43. Джерела забруднення природних вод.
44. Господарсько-побутові стічні води і методи їх очищення.
45. Промислові стічні води і методи їх очищення.
46. Сільськогосподарські стічні води.
47. Самоочищення водних об'єктів.
48. Оцінювання забрудненості водних об'єктів.
49. Комплексні критерії якості води.
50. Охорона вод від забруднення.
51. Удосконалення моніторингу якості природних вод.
52. Методи хімічного аналізу природних вод.
53. Гідрохімічні роботи біля водного об'єкта.
54. Техніка безпеки при виконанні гідрохімічних робіт.

КОРОТКИЙ ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

Аніони – негативно заряджені йони, які рухаються до позитивного полюса (анода).

Атом – найменша частинка хімічного елемента, яка входить до складу молекул простих і складних речовин. Атоми хімічних елементів можуть перебувати у вільному стані і утворювати прості і складні речовини.

Біогенні елементи в природних водах – мінеральні речовини, що найбільш активно беруть участь у життєдіяльності водяних організмів. До них належать: сполуки азоту (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), фосфору (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), кремнію (HSiO_3^- , SiO_3^{2-}), заліза (Fe^{2+} , Fe^{3+}) і деяких мікроелементів.

Валентність – це число хімічних зв'язків, які певний атом може утворити з іншим атомом.

Відновлення – це процес прийому електронів атомом, йоном або молекулою (якщо нейтральний атом приймає електрони, то він перетворюється в негативно заряджену частинку).

Гідрологічний режим – сукупність змін стану водного об'єкта, що закономірно повторюється та притаманні йому на відміну від інших водних об'єктів. Зумовлений фізико-географічними умовами басейну, насамперед, його кліматичними характеристиками.

Гідрохімічні процеси – процеси, які відбуваються в природних водах під впливом фізико-географічних умов, антропогенного впливу і гідробіологічних процесів і викликають зміни хімічного складу та фізичних властивостей природних вод.

Гідрохімічний режим – закономірні зміни хімічного складу води водного об'єкта або окремих його компонентів в часі, обумовлені фізико-географічними умовами басейну та антропогенним впливом. Тісно пов'язаний з гідрологічним режимом.

Гідрохімія – наукова дисципліна, що вивчає хімічний склад природних вод та його зміни в часі і просторі в причинному взаємозв'язку з хімічними, фізичними та біологічними процесами, що протікають як у воді, так і в довкіллі.

Головні йони природних вод – йони, що містяться в поверхневих водах в найбільших концентраціях, (гідрокарбонатні HCO_3^- , сульфатні SO_4^{2-} , хлоридні Cl^- , кальцію Ca^{2+} , магнію Mg^{2+} , натрію Na^+ , калію K^+). В океанічній воді крім зазначених вище йонів до Г. й. необхідно віднести Br^- , F^- , йони H_3BO_3 , Sr^{2+} , концентрація яких перевищує 0,001 ‰. Перераховані 11 йонів в сумі становлять 99,99% всіх розчинених в океанічній воді речовин.

Забрудненість водних об'єктів – перевищення концентрації забруднювальних речовин або значень показників фізичних властивостей води над ГДК, що викликає порушення норм якості води.

Забруднення природних вод – процес зміни хімічного та біологічного складу або фізичних властивостей природних вод в результаті надходження в них забруднювальних речовин або живих організмів і виникнення в них зазвичай нехарактерних для водних об'єктів фізичних, хімічних або біологічних показників, що призводять до погіршення якості води для водокористування, обумовлений господарською діяльністю людини.

Забруднювальна речовина – будь-яка хімічна речовина, тепло або біологічний вид, що потрапляють у водний об'єкт в результаті господарської діяльності людини або виникають в ньому в кількостях, що виходять за природні граничні коливання або за середній природний фон у розглянутий період, і призводить до погіршення якості води для водокористування.

Забруднювач – джерело забруднення природних вод, що вносить в них забруднювальні речовини, гідробіоти або тепло, в результаті чого може бути перевищена ГДК. До З. можуть належати промислові підприємства, об'єкти комунального господарства, зрошувані землі, тваринницькі комплекси і ферми, ТЕС і АЕС та ін. Термін З. не можна вживати замість терміну забруднювальна речовина.

Ізотопи – атоми з однаковим зарядом ядра, але різною кількістю нейтронів.

Інгібітори – каталізатори, при використанні яких швидкість хімічної реакції уповільнюється.

Йони – це електричні заряджені частинки, які утворюються при втраті або приєднанні електронів (чи інших заряджених частинок) атомами (групами атомів).

Йонний зв'язок – хімічний зв'язок, що виникає в результаті притягування протилежно заряджених йонів.

Катіони – позитивно заряджені йони, які рухаються до негативного полюса (катода),

Кількість речовини – це фізична величина, що визначається числом частинок – структурних елементів речовини: молекул, атомів, йонів (позначається латинською буквою *n*, одиниця вимірювання кількості речовини – моль).

Ковалентний зв'язок – хімічний зв'язок, що виникає внаслідок утворення спільних електронних пар.

Мікроелементи в природних водах. Хімічні елементи, сполуки яких зустрічаються в природних водах в дуже малих концентраціях – декілька мікрограмів і менш в 1 дм³. Є найбільшою групою в хімічному складі природних вод, в яку умовно входять: типові катіони (Li⁺, Rb⁺, Cs⁺, Be²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺ та ін.); йони важких металів (Si²⁺, Ag⁺, Au⁺, Pb²⁺, Fe²⁺, Ni²⁺, Co²⁺ та ін.); амфотерні комплексоутворювачі (Cr, Mo, V, Mn); типові аніони (Br⁻, I⁻, F⁻, B³⁻).

Молекула – це найменша частинка речовини, яка зберігає її хімічні властивості. Хімічні властивості молекули визначаються її складом і хімічною будовою.

Молекулярна маса – це маса молекул, виражена в атомних одиницях маси. Обчислюється так само, як і відносна молекулярна маса, чисельно ці величини рівні. Молекулярну масу вимірюють в а.о.м.

Моляльність розчину (*Cm* або *m*) – це величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до маси розчинника, вираженої в кілограмах. Одиниця виміру моляльності розчину – моль/кг або моль/1000 г.

Молярність розчину (молярна концентрація) (*C*) – це величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до об'єму розчину. Одиниця виміру молярності розчину – моль/дм³.

Моль – це така кількість речовини, яка містить $6,022 \times 10^{23}$ структурних елементів речовини (молекул, атомів, йонів).

Мольна частка (χ) – це величина, що дорівнює відношенню кількості розчиненої речовини до сумарної кількості речовини розчинника та розчиненої речовини.

Насичений розчин – розчин, який перебуває в динамічній рівновазі з надлишком розчиненої речовини.

Нуклід – це різновид атомів з певним числом протонів і нейтронів у ядрі.

Окиснення – це процес віддачі електронів атомом, йоном або молекулою (якщо атом віддає електрон, то він здобуває позитивний заряд).

Окисно-відновні реакції – хімічні реакції, які протікають зі зміною ступеня окиснення елементів, що входять до складу реагентів.

Очисні споруди стічних вод – інженерні споруди для очищення, знешкодження й знезараження стічних вод.

Прості речовини – це речовини, утворені атомами одного елемента.

Розчини – це однорідні (гомогенні) суміші змінної структури, що складаються з кількох компонентів та продуктів їхньої взаємодії.

Розчинність – це властивість речовини розчинятися у воді або в іншому розчиннику.

Складні речовини (або хімічні сполуки) – це речовини, утворені атомами різних хімічних елементів.

Ферменти – каталізатори, які беруть участь у хімічних процесах в живих організмах.

Хімічна рівновага – стан, при якому кількості всіх речовин, що беруть участь в оборотній реакції, не змінюються з часом.

Хімічний зв'язок – це взаємодія атомів, що здійснюється шляхом обміну електронами або їхнім переходом від одного атома до іншого.

Хімічні реакції – явища, при яких одні речовини перетворюються в інші, що відрізняються від вихідних своїм складом і властивостями.

Якість води – поєднання хімічного і біологічного складу і фізичних властивостей води, що визначає її придатність для конкретних видів водокористування.

БІБЛІОГРАФІЯ

ОСНОВНА

1. Горєв Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України: підручник. К.: Вища школа, 1995. 307 с.
2. Григорович О.В., Мацаков О.Ю. Хімія : навч.–практ. довідник. Харків: Ранок, 2011. 400 с.
3. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України: довідник. К.: Ніка-центр, 2008. 656 с.
4. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія: підручник. К.: Либідь, 1997. 384 с.
5. Хільчевський В.К. Агрогідрохімія: підручник. К.: ДІА, 2021. 176 с.
6. Хільчевський В.К. Гідрохімічний словник. К.: ДІА, 2022. 208 с.
7. Хільчевський В.К. Гідрохімія океанів і морів: навч. посібник. К.: ВПЦ Київський університет, 2003. 114 с.
8. Хільчевський В.К. Нариси історії гідрохімії в Україні: монографія. К.: ДІА, 2020. 136 с.
9. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Водні об'єкти України та рекреаційне оцінювання якості води: навч. посібник. К.: ДІА, 2022. 240 с.
10. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Хімічний аналіз та оцінка якості природних вод: навч. посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2021. 75 с.
11. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.
12. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 2019. 343 с.

ДОДАТКОВА

13. Аксьом С.Д., Хільчевський В.К. Вплив сульфатного карсту на хімічний склад природних вод у басейні Дністра: монографія. К.: Ніка-Центр, 2002. 204 с.
14. Атлас Волинської області / За ред. Ф.В. Зузук. Комітет геодезії і картографії, 1991. 42с.
15. Будник С.В., Хильчевский В.К. Гидродинамика и гидрохимия склоновых водотоков: монографія. К.: Обрії, 2005. 368 с.
16. Вакульчук О.І., Тарасенко С.О., Жданюк Б.С. Еколого-гідрохімічний моніторинг якості води річки Гапа (Ягодинка). *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2016. № 13. С. 73–77.
17. Водний фонд України: Штучні водойми - водосховища і ставки: довідник / В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський, В.А. Сташук, О.В. Чунарьов / За ред. В.К. Хільчевського та В.В. Гребня. К.: Інтерпрес, 2014. 164 с.
18. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу: монографія / В.К. Хільчевський, О.В. Чунарьов, М.І. Ромась, М.Я. Бабич, М.В. Яцюк. / За ред. В.К. Хільчевського. К.: Ніка-Центр, 2009. 183 с.
19. Волинська область. Географічний атлас. К.: Мапа, 2009. 20 с.
20. Ганущак М.М., Тарасюк Н.А. Оцінка якості поверхневих вод басейну р. Стир. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2015. Т. 1(36). С. 110–118.
21. Гідроекологічний стан басейну Горині (в районі Хмельницької АЕС): монографія / В.К. Хільчевський, М.І. Ромась, О.В. Чунарьов, В.В. Гребінь / За ред. В.К. Хільчевського. К.: Ніка-Центр, 2011. 176 с.

22. Гідроекологічний стан басейну річки Рось: монографія / В.К. Хільчевський, С.М. Курило, С.С. Дубняк, В.М. Савицький, М.Р. Забокрицька / За ред. В.К. Хільчевського. К.: Ніка-Центр, 2009. 115 с.

23. Гідрологія і гідрохімія Дніпра і його водохранилищ: монографія / А.И.. Денисова, В.М. Тимченко, Е.П. Нахшина, Б.И. Новиков, А.К. Рябова, Я.И. Басс. К.: Наукова думка, 1989. 232 с.

24. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра: монографія / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась, В.В. Гребінь, О.В. Чунарьов, І.О. Шевчук / За ред. В.К. Хільчевського. К. Ніка-Центр, 2007. 184 с.

25. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України: монографія / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька, Р.Л. Кравчинський, В.А. Сташук, О.В. Чунарьов / За ред. В.К. Хільчевського, В.А. Сташука. К.: Ніка-Центр, 2013. 180 с.

26. Гідрохімія річок Лівобережного лісостепу України : навч. посібник / В.К. Хільчевський, О.О. Винарчук, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька, Р.Л. Кравчинський, В.А. Сташук, О.В. Чунарьов / За ред. В.К. Хільчевського, В.А. Сташука. К.: Ніка-Центр, 2014. 230 с.

27. Гончарук В., Білявський Г., Ковальов М., Рубцов Г. Національна екологічна безпека та екологічна паспортизація водних об'єктів. Вісник Національної академії наук України, 2009. С. 22-29.

28. Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Водний і сольовий режим озера Китай: монографія. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с.

29. Горев Л.Н., Пелешенко В.И. Основы мелиоративной гидрохимии: учебник. К.: Вища школа, 1991. 423 с.

30. Горев Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Радіоактивність природних вод: навч. посібник. К.: Вища школа, 1993. 174 с.

31. Забокрицька М.Р., Нетробчук І.М., Ільїн Л.В. Екологічний стан поверхневих вод області / Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: монографія / В.О. Фесюк, С.О. Пугач, А.М. Слащук [та ін.]; За ред. В.О. Фесюка. К.: ТОВ «Підприємство «ВІ ЕН ЕЙ», 2016. Р. IV. С. 119–134.

32. Забокрицька М.Р., Осадчий В.І. Хільчевський В.К. Характеристика гідрохімічного режиму та стоку хімічних речовин річок басейну Західного Бугу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2004. 6. С. 159-172.

33. Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. 3 (42). С. 64-76.

34. Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К., Манченко А.П. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України: монографія. К.: Ніка-Центр, 2006. 184 с.

35. Загальна гідрологія: підручник / В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь та ін. / За ред. В.К. Хільчевського, О.Г. Ободовського. К.: ВПЦ Київський університет, 2008. 399 с.

36. Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України: навчальний посібник. К.: Інкос, 2009. 614 с.

37. Карпюк З. Біологічне забруднення морів Світового океану. *Věda a perspektivy*. № 8 (15). 2022. С. 148–160.

38. Карпюк З.К., Нетробчук І.М. Вплив біологічних процесів на гідрохімічні властивості води: цвітіння моря. *Грааль науки*. 2021. № 5: за матеріалами I Міжнарод. науково-практ. конференції «Science of

postindustrial society: globalization and transformation processes», 4 червня 2021 р. С. 421-425.

39. Комплексний атлас України. К.: ДНВП «Картографія», 2005. 96 с.

40. Коненко Г.Д. Гідрохімія ставків і малих водоймищ України: монографія. К.: Наукова думка, 1971. 311 с.

41. Кравчинський Р.Л., Хільчевський В.К., Корчемлюк М.В., Стефурак О.М. Моніторинг природних водних джерел Карпатського національного природного парку: монографія / За ред. В.К. Хільчевського. Івано-Франківськ: Фоліант, 2019. 124 с.

42. Лахай Ю.О. Екологічна оцінка природних умов басейну річки Турія. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 2(19). С. 216–222.

43. Мельничук М.М., Горбач В.В., Горбач Л.М. Особливості використання водних ресурсів Волинської області та їх екологічний стан у сучасних умовах. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. Вип.54. С.306–315.

44. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк, А.В. Яцик, А.П. Чернявська, О.Г. Васенко, Г.А. Верниченко, В.І. Лаврик, Й.В. Гриб. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.

45. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (проект) / А.В. Гриценко, О.Г. Васенко, Г.А. Верниченко та ін. / УкрНДІЕП. Харків, 2012. 37 с.

46. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу / В.В. Гребінь, В.Б. Мокін, В.А. Сташук, В.К. Хільчевський, М.В. Яцюк та ін. К.: Інтерпрес, 2013. 55 с.

47. Міщенко О., Карпюк З. Геолого-геоморфологічні умови формування, кадастр та перспективи заповідання водних джерел Волинської області. *Наукові записки Тернопільського держ. пед. ун-ту імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія*. 2023. № 2(55). С. 26–35.

48. Мольчак Я.О., Мігас Р.В. Річки Волині. Луцьк: Надстир'я, 2000. С. 58–90.

49. Мольчак Я.О., Фесюк В.О. Еколого-економічні основи водокористування: навч. посібник. Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2007. 584 с.

50. Морозова А.О. Гідрохімічний стан та оцінка якості водойм Шацького національного природного парку. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. № 1. С.47–51.

51. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І. Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод: монографія. К.: Наукова думка, 2007. 456 с.

52. Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища: підручник. К.: Либідь, 1996. 304 с.

53. Нетробчук І.М. Аналіз якісного стану води Шацьких озер. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. № 1. С.51–56.

54. Нетробчук І.М., Миколіук Л.М. Екологічна оцінка та динаміка змін якості води річки Турія у Волинській області. *Наукові записки Сумського держ. пед. ун-ту імені А.С. Макаренка. Географічні науки*. 2018. Вип. 9. С. 69–77.

55. Нетробчук І.М. Динаміка змін якості води річки Стир у Волинській й області. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2011. № 8. С. 17–21.

56. Огняник М.С. Мінеральні води України: підручник. К.: ВПЦ Київський університет. 2000. 216 с.

57. Осадчий В.І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 31 травня 2017 р.). *Вісник НАН України*. 2017. № 8. С. 29-46.

58. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Линник П.М., Набиванець Ю.Б. Процеси формування хімічного складу поверхневих вод: монографія. К.: Ніка-Центр, 2013. 240 с.

59. Пасічник М.П., Ільїн Л.В., Хільчевський В.К. Сапропелеві рекреаційно-туристичні ресурси озер Волинської області: монографія Луцьк: Волиньполіграф, 2021. 172 с.

60. Петровська М.А. Гідроекологічний словник. Львів: ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 140 с.

61. Поверхневі води Волині: монографія / Я.О. Мольчак, І. Я. Мисковець, А. М. Vox та ін. / За ред. Я.О. Мольчака. Луцьк: Терен, 2019. 344 с.

62. Ромась М.І. Гідрохімія водних об'єктів атомної і теплової енергетики: монографія. К.: ВПЦ Київський університет, 2002. 531 с.

63. Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. К.: Обереги, 2001. 728 с.

64. Ситник Ю.М., Ільїн Л.В., Шевченко П.Г., Осадча Н.М., Хомік Н.В. Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку : озеро Люцимер (1977–2009). *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. № 1. С.99–107.

65. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підручник. К.: Ніка. Центр, 2001. 262 с.

66. Сніжко С.І. Інженерна гідрохімія: навч. посібник. К.: ВПЦ. Київський університет, 2001. 105 с.

67. Стафійчук В. І. Рекреалогія : навч. посібник. К.: Альтерпрес, 2008. 264 с.

68. Українські гідрологи, гідрохіміки, гідроекологи: довідник / За ред. В.К. Хільчевського. К.: Ніка-Центр, 2004. 175 с.

69. Університетська гідрологічна наука в Україні та перспективи подальшого її розвитку / В.К. Хільчевський, Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь, Ж.Р. Шакірзанова, Ю.С. Ющенко, Н.П. Шерстюк, В.А. Овчарук. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. №19. С. 90-105.

70. Фесюк В.О. Забруднення підземних вод території м. Луцька. *Вісник РДТУ* : зб. наук. пр. Рівне, 2001. С. 177–183.

71. Фесюк В.О. Луцьк : сталий розвиток і соціально-екологічні проблеми. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2014. 304 с.

72. Фесюк В.О., Карпюк З.К., Журба Д.В. Вплив водогосподарського комплексу м. Луцька на забруднення вод р. Стир. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 4. С. 177–189.

73. Фоменко Н.В. Рекреаційні ресурси та курортологія: навч. посібник. К.: Центр навчальної літератури, 2007. 311 с.

74. Формування мінеральних вод України: монографія / В.М. Шестопалов, Г. М. Негода, Н.П. Моїсеєва, М.О. Дружина та ін. / За ред. В.М. Шестопалова. К.: Наукова думка, 2009. 312 с.

75. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 1999. 319 с.

76. Хільчевський В.К. Гідроекологічні проблеми ревіталізації річок на території міських агломерацій – міжнародний та український досвід. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. 2 (45). С. 6-13.

77. Хільчевський В.К. Гідрографія та водні ресурси Європи: навч. посібник. К.: ДІА, 2023. 308 с.

78. Хільчевський В.К. До питання про класифікацію природних вод за мінералізацією. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2003. 5. С. 11-18.

79. 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.

80. Хільчевський В.К. Оцінювання якості рекреаційного водного середовища: світові тенденції, рекомендації ВООЗ, директива ЄС щодо води для купання. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. 4(62). С. 6-17.

81. Хільчевський В.К. Про функціонально-генетичну та гідрохімічну класифікації ставків. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. 3 (46). С. 6-11.

82. Хільчевський В.К. Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра: монографія. К.: ВПЦ Київський університет, 1996. 222 с.

83. Хільчевський В.К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. 1(59). С. 17-27.

84. Хільчевський В.К. Управління транскордонними водними ресурсами: навч. посібник. К.: ДІА, 2024. 208 с.

85. 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.

86. Хільчевський В.К. Хімічний аналіз вод: навч. посібник. К.: ВПЦ Київський університет, 2004. 61 с.

87. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Великі і малі водосховища України: регіональні та басейнові особливості поширення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2021. № 2(60). С. 6-17.

88. 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.

89. Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Забокрицька М.Р. Управління річковими басейнами: навч. посібник. К.: ДІА, 2024. 236 с.

90. Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Манукало В.О. Гідрологічний словник. К.: ДІА, 2022. 236 с.

91. Хільчевський В.К., Дубняк С.С. Основи океанології: підручник. 2-е вид., допов. К.: ВПЦ Київський університет, 2008. 255 с.

92. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Облаштування, моніторинг та екологічна сертифікація пляжів на рекреаційних водних об'єктах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. 2(64). С. 40-52.

93. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 3(58). С. 92-100.

94. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Особливості нормативного оцінювання якості води водних об'єктів для рекреаційних цілей в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. 1(63). С. 40-53.

95. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л. Екологічна стандартизація та запобігання впливу відходів на довкілля: навч. посібник. К.: ВПЦ Київський університет, 2019. 192 с.

96. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона: навч. посібник / За ред. В.К. Хільчевського. К.: ВПЦ Київський університет, 2015. 154 с.
97. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Плічко Л.В., Шевчук О.С. Хімічний склад води та йонний стік річок Західний Буг, Нарев та Вісла (басейн Балтійського моря). *Географічний часопис Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки*. 2023. 1(1). С. 24-31.
98. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. К.: ДІА, 2023. 228 с.
99. Хільчевський В.К., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу: монографія. К.: Ніка-Центр, 2012. 180 с.
100. Хільчевський В.К., Савицький В.М., Красова Л.А., Гончар О.М. Польові та лабораторні дослідження хімічного складу води річки Рось: навч. посібник / За ред. В.К. Хільчевського. К.: ВПЦ Київський університет, 2012. 143 с.
101. Хомік Н.В. Водні ресурси Шацького національного природного парку: сучасний стан, охорона, управління. К.: Аграрна наука, 2013. 239 с.
102. Цьось О.О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Турія. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2015. № 12. С. 69–74.
103. Чернявка С.О., Джам О.А. Гідрохімічні особливості р. Західний Буг. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2016. № 13. С. 60–68.
104. Шакірзанова Ж.Р., Кічук Н.С. Гідрохімія річок і водойм України: конспект лекцій. Одеса: ТЕС, 2019. 123 с.
105. Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О. Водний і сольовий режимі озера Катлабух: монографія. Одеса: Одеський держ. еколог. ун-т, 2021. 336 с.
106. Шацьке поозер'я. Т. 1: Геологічна будова та гідрологічні умови: монографія / І.І. Залеський, Ф.В. Зузук, В.Г. Мельничук, В.В. Матеюк, Г.І. Бровко. Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т імені Лесі Українки, 2014. 190 с.
107. Шестопапов В.М., Лютий Г.Г., Саніна, І.В. Сучасні підходи до гідрологічного районування України. *Мінеральні ресурси України*. 2019. 2. С. 3-12.
108. Шестопапов В.М., Негода Г.М., Набока М.В., Овчиннікова Н.Б. Проблеми класифікації мінеральних вод України і перспективи виявлення їх різноманітності. *Проблеми мінеральних вод*. К., 2002. С. 13-32.
109. Шерстюк Н.П., Хільчевський В.К. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу: монографія. Дніпропетровськ: Акцент, 2012. 263 с.
110. Khilchevskiy V., Grebin V., Dubniak S., Zabokrytska M., Bolbot H. Large and small reservoirs of Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2022. No. 52 (I–III). P. 101-107.
111. Khilchevskiy V.K., Grebin V.V., Zabokrytska M.R. Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations. *Hydrobiological Journal*. 2019. 55 (3). P. 95-102.
112. Khilchevskiy V., Ilyin L., Pasichnyk M., Zabokrytska M., Ilyina O. Hydrography, hydrochemistry and composition of sapropel of Shatsk Lakes. *Journal of Water and Land Development*. 2022. No 54, P. 184-193.
113. Khilchevskiy V.K., Kapusta T.Ya., Sherstyuk N.P., Zabokrytska M.R. (2024). Hydrochemical characteristics of left-bank tributaries of the Dniester within Ternopil oblast. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2024. 33(1), P. 88-99.

114. 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.

115. Khilchevskiy V.K., Kurylo S.M., Sherstyuk N.P. Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(1). P. 68-80.

116. Khilchevskiy V.K., Kurylo S.M., Sherstyuk N.P., Zabokrytska M.R. The chemical composition of precipitation in Ukraine and its potential impact on the environment and water bodies. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. 28(1). P. 79-86.

117. Khilchevskiy, V., Leta, V., Sherstyuk, N., Pylypovych, O., Zabokrytska, M., Pasichnyk, M., & Tsvietaieva, O. (2023). Hydrochemical characteristics of the Upper reaches of the Tisza River. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2023. 32(2). P. 283-294.

118. Khilchevskiy V., Netrobchuk, I., Sherstyuk N., Zabokrytska M. Environmental assessment of the quality of surface waters in the upper reaches of the Pripyat basin in Ukraine using different methods. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. 31(1). P. 71-80.

119. Khilchevskiy V.K., Sherstyuk N.P., Zabokrytska M.R. Researches of the chemical composition of surface water in Ukraine, 1920-2020 (review). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. 29(2). P. 304-326.

120. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Sherstyuk N.P. Hydrography and hydrochemistry of the transboundary river Western Bug on territory of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(2). P. 232-243.

121. Shumilova, O., Sukhodolov, A. Tockner, K., Khilchevskiy, V., De Meester L, Stepanenko, S., Trokhymenko A., Hernandez-Aguero J.A., Gleick P. (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. 2023. 6. P. 578-586.

122. Vovk O., Horbach V., Horbach L., Nedbailo D. Groundwater of Volyn region: conditions of location, features of use, ways of preservation and improvement. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2023. 37. С.110-125.

ГІДРОХІМІЧНІ КАРТИ В НАЦІОНАЛЬНОМУ АТЛАСІ УКРАЇНИ

123. Азот амонійний в поверхневих водах. М 1:5 000 000 / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський. Національний атлас України. К.: ДНВП Картографія, 2007. С. 410.

124. Азот нітратний в поверхневих водах. М 1:5 000 000 / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський. Національний атлас України. К.: ДНВП Картографія, 2007. С. 410.

125. Екологічна оцінка якості поверхневих вод. М 1:4 000 000 / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський. Національний атлас України. К.: ДНВП Картографія, 2007. С. 409.

126. Залізо загальне в поверхневих водах. М 1:5 000 000 / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський. Національний атлас України. К.: ДНВП Картографія, 2007. С. 410.

127. Мінералізація та жорсткість поверхневих вод. М 1:5 000 000 / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський. Національний атлас України. К.: ДНВП Картографія, 2007. С. 181.

128. Сульфатні іони в поверхневих водах. М 1:5 000 000 / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський. Національний атлас України. К.: ДНВП Картографія, 2007. С. 410.

129. Хлоридні іони в поверхневих водах. М 1:5 000 000 / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський. Національний атлас України. К.: ДНВП Картографія, 2007. С. 410.

НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ, ЩО СТОСУЮТЬСЯ ЯКОСТІ ВОДИ

130. 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>

131. 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>

132. 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>

133. 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>

134. 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

135. ДСТУ 878-93 Води мінеральні фасовані. Технічні умови. Зміна № 33 (ІПС № 3-2019). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82547

136. ДСТУ 3517:2024. Гідрологія суходолу. Терміни та визначення основних понять. К.: ДП УкрНДНЦ, 2024. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106899

137. ДСТУ 3041-95. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=74302

138. 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

139. ДСТУ 2439:2018 Хімічні елементи та прості речовини. Терміни та визначення основних понять, назви й символи. К. ДП УкрНДНЦ, 2019. 12 с.

140. 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>

141. Морська природоохоронна стратегія України. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 11.10.2021 р. № 1240-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1240-2021-%D1%80#Text>

142. 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>

143. 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>

144. 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>

145. 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>

146. 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>

147. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення. Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.12.2017 р. № 316. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>

148. 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>

ДОДАТКИ

Додаток А. Хімічні елементи, символи, протонне число згідно з ДСТУ 2439:2018 «Хімічні елементи та прості речовини. Терміни та визначення основних понять, назви й символи» (в таблиці 108 хімічних елементів) [139]

Назва українською	Назва англійською	Назва латинською	Символ	Протонне число	Атомна маса
айнштайній	einsteinium	einsteinium	Es	99	254
азот	nitrogen	nitrogenium	N	7	14,007
актиній	actinium	actinium	Ac	89	227
алюміній	aluminium	aluminium	Al	13	26,98
америцій	americium	americium	Am	95	243
аргон	argon	argon	Ar	18	39,948
арсен	arsenic	arsenicum	As	33	74,922
астат	astatine	astatium	At	85	210
барій	barium	barium	Ba	56	137,34
берилій	beryllium	beryllium	Be	4	9,012
берклій	berkelium	berkelium	Bk	97	247
бісмут	bismuth	bismuthum	Bi	83	208,98
бор	boron	borum	B	5	10,811
борій	bohrium	bohrium	Bh	107	262
бром	bromine	bromum	Br	35	79,909
ванадій	vanadium	vanadium	V	23	50,942
водень	hydrogen	hydrogenium	H	1	1,008
вольфрам	tungsten	wolframium	W	74	183,85
вуглець	carbon	carboneum	C	6	12,001
гадоліній	gadolinium	gadolinium	Gd	64	157,25
галій	gallium	gallium	Ga	31	69,72
гасій	hassium	hassium	Hs	108	265
гафній	hafnium	hafnium	Hf	72	178,49
гелій	helium	helium	He	2	4,003
германій	germanium	germanium	Ge	32	72,59
гольмій	holmium	holmium	Ho	67	164,93
дармштадтій	darmstadtium	darmstadtium	Ds	110	281
диспрозій	dysprosium	dysprosium	Dy	66	162,5
дубній	dubnium	dubnium	Db	105	262
ербій	erbium	erbium	Er	68	167,26
європій	europium	europium	Eu	63	151,96
залізо	iron	ferrum	Fe	26	55,847
золото	gold	aurum	Au	79	196,967
індій	indium	indium	In	49	114,82
іридій	iridium	iridium	Ir	77	192,2
ітербий	ytterbium	ytterbium	Yb	70	173,04
їтрій	yttrium	yttrium	Y	39	88,905
йод	iodine	iodum	I	53	126,904
кадмій	cadmium	cadmium	Cd	48	112,4
калій	potassium	kalium	K	19	39,102
каліфорній	californium	californium	Cf	98	252
кальцій	calcium	calcium	Ca	20	40,08
кисень	oxygen	oxygenium	O	8	15,999
кобальт	cobalt	cobaltum	Co	27	58,933
коперницій	copernicium	copernicium	Cn	112	285
кремній	silicon	silicium	Si	14	28,086

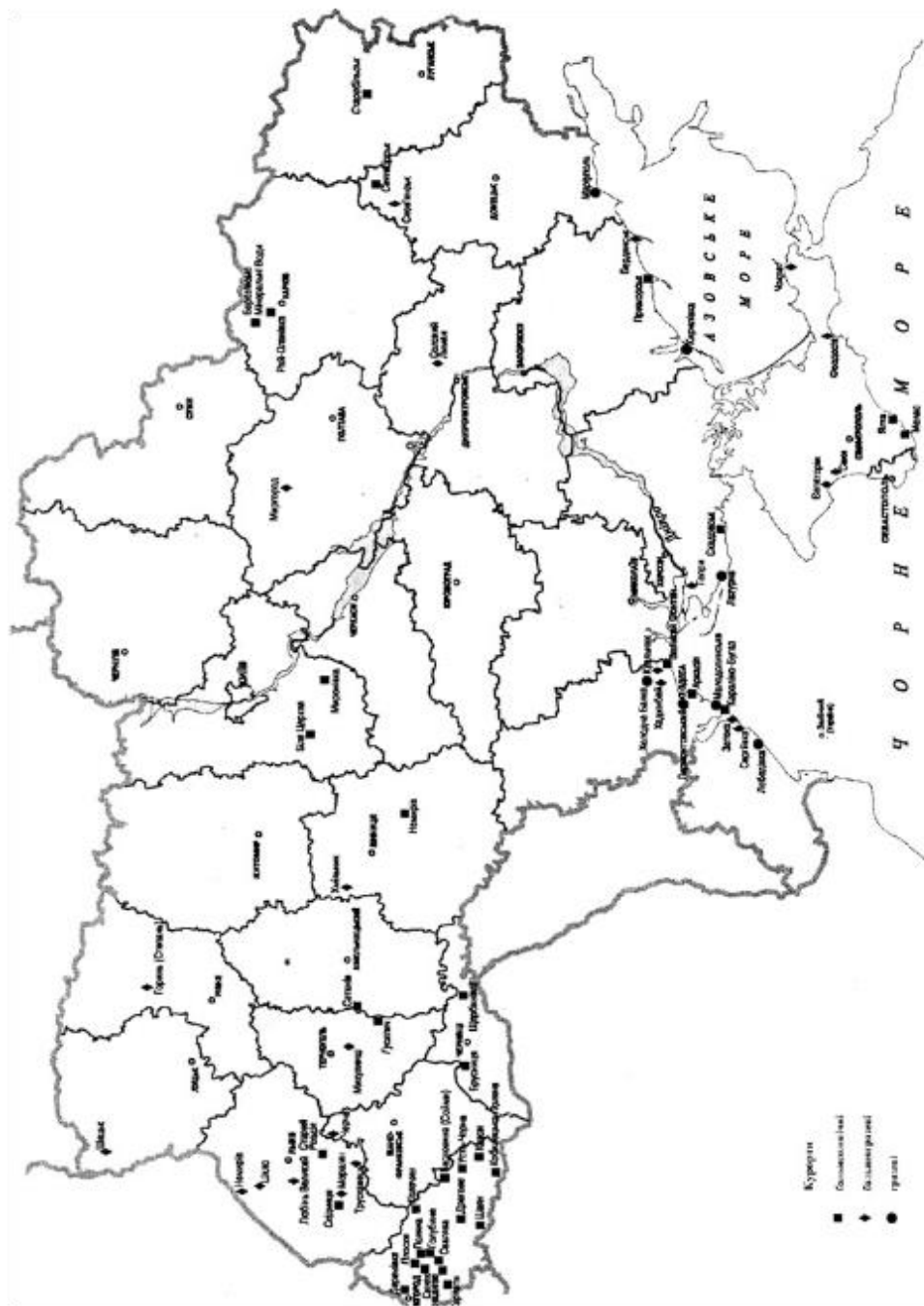
Продовження додатка А

Назва українською	Назва англійською	Назва латинською	Символ	Протонне число	Атомна маса
криптон	krypton	krypton	Kr	36	83,8
ксенон	xenon	xenon	Xe	54	131,3
кюрій	curium	curium	Cm	96	247
лантан	lanthanum	lanthanum	La	57	138,91
ліверморій	livermorium	livermorium	Lv	116	292
літій	lithium	lithium	Li	3	6,939
лоуренсій	lawrencium	lawrencium	Lr	103	256
лютецій	lutetium	lutetium	Lu	71	174,97
магній	magnesium	magnesium	Mg	12	24,312
манган	manganese	manganum	Mn	25	54,938
мейтнерій	meitnerium	meitnerium	Mt	109	265
менделевій	mendelevium	mendelevium	Md	101	257
мідь	copper	cuprum	Cu	29	63,54
молібден	molybdenum	molybdenum	Mo	42	95,94
московій	moscovium	moscovium	Mc	115	288
натрій	sodium	natrium	Na	11	22,990
неодим	neodymium	neodymium	Nd	60	144,24
неон	neon	neon	Ne	10	20,183
нептуній	neptunium	neptunium	Np	93	237
нігоній	nihonium	nihonium	Nh	113	277
нікель	nickel	niccolum	Ni	28	58,71
ніобій	niobium	niobium	Nb	41	92,906
нобелій	nobelium	nobelium	No	102	255
оганesson	oganesson	oganesson	Og	118	294
олово	tin	stannum	Sn	50	118,69
осмій	osmium	osmium	Os	76	190,2
паладій	palladium	palladium	Pd	46	106,4
платина	platinum	platinum	Pt	78	195,09
плутоній	plutonium	plutonium	Pu	94	244
полоній	polonium	polonium	Po	84	210
празеодим	praseodymium	praseodymium	Pr	59	140,907
прометій	promethium	promethium	Pm	61	147
протактиній	protactinium	protactinium	Pa	91	231
радій	radium	radium	Ra	88	226
радон	radon	radon	Rn	86	222
резерфордій	rutherfordium	rutherfordium	Rf	104	261
реній	rhenium	rhenium	Re	75	186,2
рентгеній	roentgenium	roentgenium	Rg	111	280
родій	rhodium	rhodium	Rh	45	102,905
ртуть	mercury	hydrargyrum	Hg	80	200,59
рубідій	rubidium	rubidium	Rb	37	85,47
рутений	ruthenium	ruthenium	Ru	44	101,07
самарій	samarium	samarium	Sm	62	150,35
свинець	lead	plumbum	Pb	82	207,19
селен	selenium	selenium	Se	34	78,96
сіборгій	seaborgium	seaborgium	Sg	106	269
сірка	sulfur	sulfur	S	16	32,064
скандій	scandium	scandium	Sc	21	44,956
срібло	silver	argentum	Ag	47	107,87

Закінчення додатка А

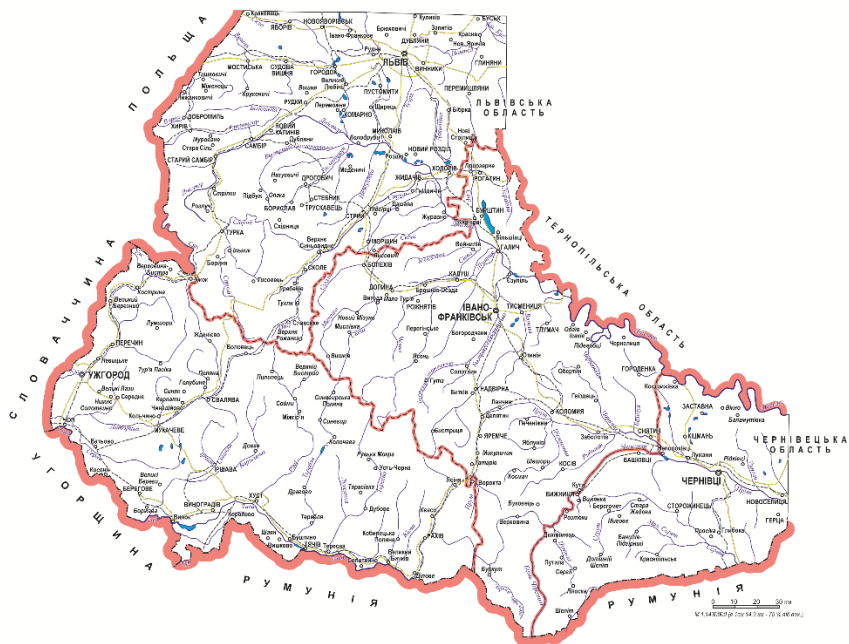
Назва українською	Назва англійською	Назва латинською	Символ	Протонне число	Атомна маса
сурма	antimony	stibium	Sb	51	121,75
стронцій	strontium	strontium	Sr	38	87,62
талій	thallium	thallium	Tl	81	204,37
тантал	tantalum	tantalum	Ta	73	180,948
телур	tellurium	tellurium	Te	52	127,6
теннессин	tennessine	tennessinum	Ts	117	291
тербій	terbium	terbium	Tb	65	158,924
технецій	technetium	technetium	Tc	43	97
титан	titanium	titanium	Ti	22	47,9
торій	thorium	thorium	Th	90	232,038
тулій	thulium	thulium	Tm	69	168,934
уран	uranium	uranium	U	92	238,03
фермій	fermium	fermium	Fm	100	257
флеровій	flerovium	flerovium	Fl	114	289
фтор	fluorine	fluorum	F	9	18,998
фосфор	phosphorus	phosphorus	P	15	30,974
францій	francium	francium	Fr	87	223
хлор	chlorine	chlorum	Cl	17	35,453
хром	chromium	chromium	Cr	24	51,996
цезій	caesium	caesium	Cs	55	132,905
церій	cerium	cerium	Ce	58	140,12
цинк	zinc	zincum	Zn	30	65,37
цирконій	zirconium	zirconium	Zr	40	91,22

Додаток Г. Найвідоміші бальнеологічні курорти України [67]



Найвідоміші бальнеологічні курорти України [Стафійчук, 2008]

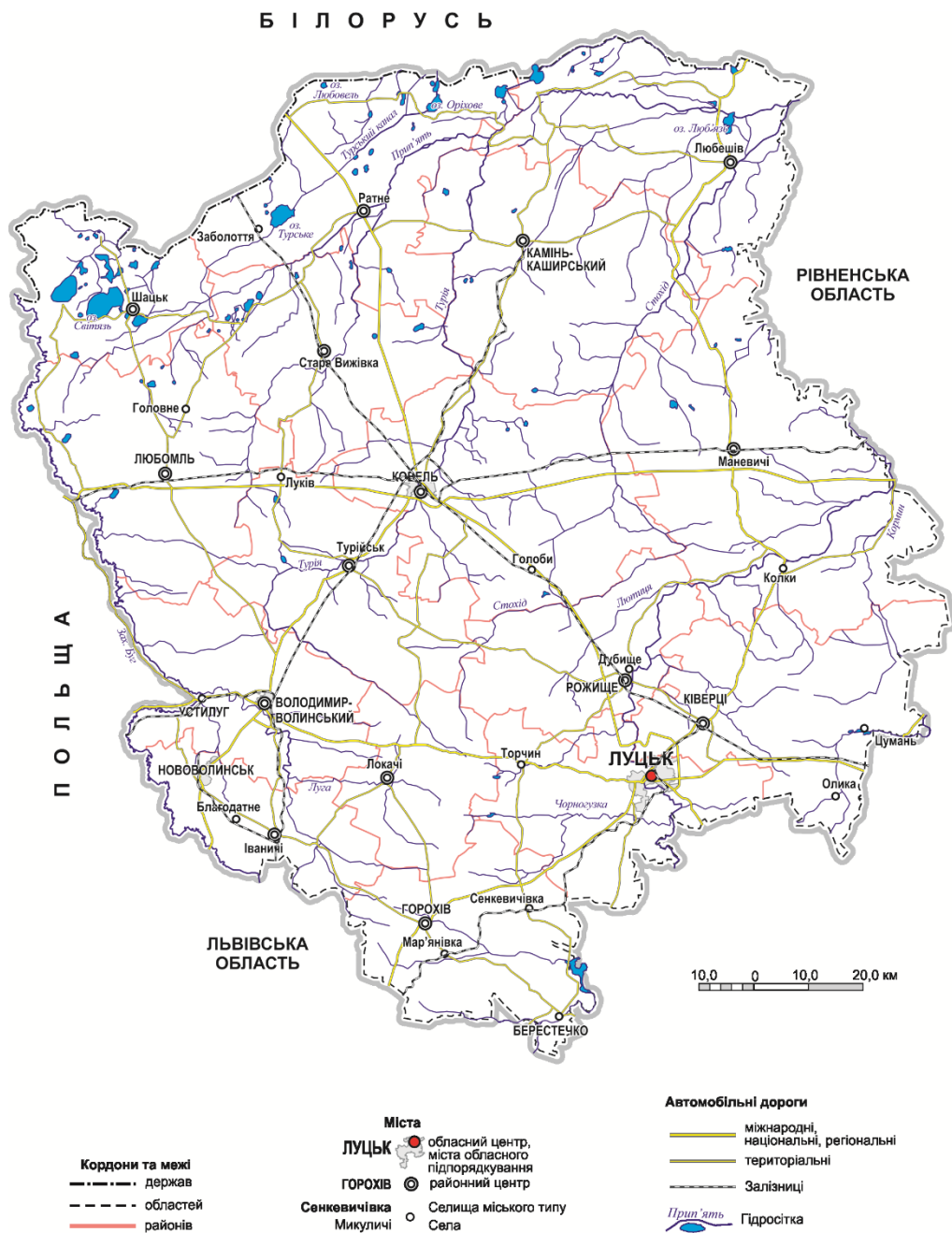
Додаток Д. Картоschema території Українських Карпат



Додаток Е. Картоschema території Кримського півострова



Додаток Ж. Картосхема території Волинської області



Навчальне видання

ГІДРОХІМІЯ

навчально-методичний комплекс

Хільчевський Валентин Кирилович
Забокрицька Мирослава Романівна
Карпюк Зоя Костянтинівна

Обкладинка – М.Р. Забокрицька
Оригінал-макет – В.К. Хільчевський
Редагування – М.Р. Забокрицька, З.К. Карпюк

Підписано до друку 16.01.2025 р. Формат 70-100/16
Папір офсетний
Умовн. друк. арк. 17

Видавництво «ДІА»
03022, Київ, вул. Васильківська, 45
Тел. (044) 257-16-15. E-meil: 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»



ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ ВАЛЕНТИН КИРИЛОВИЧ

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. У 2000–2019 рр. — завідувач кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, від 2019 р. — професор цієї кафедри.



ЗАБОКРИЦЬКА МИРОСЛАВА РОМАНІВНА

кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки. У 2001–2006 роках — науковий співробітник Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (м. Київ).



КАРПЮК ЗОЯ КОСТЯНТИНІВНА

кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки. Протягом 1992–2014 років — науковий співробітник науково-дослідної частини цього університету.