

**Є.Д. ГОПЧЕНКО, Ж.Р. ШАКІРЗАНОВА**

**ГІДРОХІМІЯ УКРАЇНИ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Є.Д. ГОПЧЕНКО, Ж.Р. ШАКІРЗАНОВА**

## **ГІДРОХІМІЯ УКРАЇНИ**

Конспект лекцій

**О д е с а**  
**“ЕКОЛОГІЯ” – 2005**

**ББК 26.22**  
**Г 66**  
**УДК 556.314**

*Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету  
( протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_ . \_\_\_\_ .200\_\_ р.).*

**Є.Д. Голченко, Ж.Р.Шакірзанова**

**Гідрохімія України. Конспект лекцій.- Одеса:ОДЕКУ, 2005.- 89 с.**

У конспекті лекцій розглянуті основні розділи дисципліни „Гідрохімія України” з елементами гідроекології, показані особливості хімічного складу атмосферних опадів, річкових, озерних, підземних і морських вод України, їх взаємозв’язок, вплив техногенних факторів та радіоактивного забруднення на гідрохімію природних вод.

Рекомендується для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності „Гідрологія і гідрохімія” при вивченні дисципліни „Гідрохімія України”.

© Одеський державний  
екологічний університет, 2005

## ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕДМОВА.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РЕГІОНАЛЬНУ ГІДРОХІМІЮ.	6
1.1 Предмет та задачі дисципліни.....	6
1.2 Історія розвитку гідрохімії в Україні.....	7
2 УМОВИ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНИХ ВОД.....	10
2.1 Чинники, які визначають формування хімічного складу природних вод.....	10
2.1.1 Фізико-географічні фактори.....	11
2.1.2 Геологічні фактори.....	13
2.1.3 Фізико-хімічні фактори.....	13
2.1.4 Біологічні фактори.....	15
2.1.5 Антропогенні фактори.....	16
2.2 Класифікація вод за хімічним складом.....	17
3 ГІДРОХІМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ.....	20
3.1 Районування гідрохімічних умов.....	20
3.2 Районування меліоративно-гідрохімічних умов.	23
4 ГІДРОХІМІЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ.....	27
4.1 Джерела надходження хімічних елементів до атмосферних опадів.....	27
4.2 Склад мінеральних речовин в атмосферних опадах.....	29
4.3 Річні надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами та їх вплив на формування хімічного складу річкових вод і ґрунтів.....	32
5 ГІДРОХІМІЯ РІЧОК.....	34
5.1 Умови формування хімічного складу річкових вод.....	34
5.2 Особливості гідрохімічного режиму річок України в сучасний період.....	35
5.2.1 Сучасний хімічний склад річкових вод у період літньої межени.....	36
5.2.2 Сучасний середньорічний хімічний склад річкових вод....	39

	5.3 Гідрохімічні особливості гирлових областей річок.....	41
6	ГІДРОХІМІЯ ВОДОСХОВИЩ.....	44
	6.1 Формування гідрохімічного режиму водосховищ.....	44
	6.2 Гідрохімічний режим водосховищ дніпровського каскаду....	45
7	ГІДРОХІМІЯ ОЗЕР.....	50
	7.1 Умови формування хімічного складу вод озер.....	50
	7.2 Хімічний склад вод прісних озер.....	51
	7.3 Хімічний склад вод солонуватих і соляних озер.....	52
	7.4 Хімічний склад вод у ставках.....	54
8	ГІДРОХІМІЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД.....	59
	8.1 Умови формування хімічного складу підземних вод.....	59
	8.2 Хімічний склад ґрунтових вод.....	60
	8.3 Хімічний склад пластових (напірних) вод.....	63
	8.4 Мінеральні води.....	63
9	ГІДРОХІМІЯ МОРИВ.....	69
	9.1 Чорне море.....	70
	9.2 Азовське море.....	75
10	ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ХІМІЧНОГО СКЛАДУ РІЗНИХ ТИПІВ ПРИРОДНИХ ВОД.....	81
	10.1 Вплив атмосферних опадів на формування хімічного складу річкових вод.....	81
	10.2 Вплив вилуговування порід на формування хімічного складу річкових вод.....	81
	10.3 Вплив підземних вод на формування хімічного складу річкових вод.....	83
	10.4 Вплив місцевого стоку на формування хімічного складу річкових вод.....	83
11	ВПЛИВ АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНИХ ВОД. ПРОМИСЛОВЕ ТА РАДІОЛОГІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ.....	84
	11.1 Промислові та господарсько-побутові стічні води.....	84
	11.2 Сільськогосподарські стічні води.....	85
	11.3 Радіоактивне забруднення.....	86
	11.4 Загальний вплив антропогенних чинників.....	87
	РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	89

## ПЕРЕДМОВА

Для кількісної оцінки водних ресурсів країни, їх раціонального використання і охорони необхідним є вивчення регіональних закономірностей розповсюдження, режиму і формування розчинених у природних водах речовин, з урахуванням впливу на їх хімічний склад техногенних факторів, у тому числі й радіоактивного забруднення.

Наукова школа з вивчення хімічного складу природних вод України в умовах інтенсивного впливу антропогенних факторів була заснована в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка на кафедрі гідрології і гідрохімії під керівництвом В.І.Пелешенка.

При написанні конспекту лекцій авторами використані підручники В.І.Пелешенка і В.К.Хільчевського „Загальна гідрохімія”, Л.М.Горєва, В.І.Пелешенка, В.К.Хільчевського „Гідрохімія України” та особистий досвід викладання цієї дисципліни в Одеському державному екологічному університеті. У конспекті лекцій розглядаються: загальні умови формування хімічного складу природних вод, закономірності розподілу і кількісна оцінка мінералізації атмосферних опадів, річкових вод, вод водосховищ та озер, підземних вод та їх взаємозв'язок в межах однорідних гідрохімічних полів, які виділені при районуванні території за комплексом провідних факторів. Висвітлені питання впливу техногенезу та радіоактивних речовин на хімічний склад природних вод.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РЕГІОНАЛЬНУ ГІДРОХІМІЮ

Гідрохімія України є складовою частиною регіональної гідрохімії.

Регіональна гідрохімія – це наукова дисципліна, яка досліджує хімічний склад природних вод об'єктів, територій і зон, закономірності його формування, поширення, зміни в часі і просторі в причинному взаємозв'язку з хімічними, фізичними і біологічними процесами, що відбуваються в навколишнім середовищі. Дисципліна „Регіональна гідрохімія” зв'язана з суміжними науковими дисциплінами: гідрологією, гідрогеологією, гідробіологією, гідроекологією, кліматологією, геологією, хімією, фізикою і ін.

Об'єктом дослідження регіональної гідрохімії є гідросфера Землі, її основні зони – підземна (грунтові підземні води, напірні, порові і ґрунтові води), поверхнева (річки, озера, водоймища, моря, океани) і надземна (атмосферні води й опади).

## 1.1 Предмет та задачі дисципліни

Основними задачами регіональної гідрохімії, що включають у себе теоретичні, методологічні і прикладні питання, є:

- вивчення хімічного складу природних вод гідросфери;
- виявлення основних закономірностей поширення компонентів хімічного складу в природних водах;
- вивчення комплексу природних умов, що впливають на формування хімічного складу вод;
- вивчення хімічних, фізико-хімічних, фізичних і біологічних процесів, що протікають у водних об'єктах і навколишнім середовищі, їх кількісна оцінка;
- виявлення закономірностей формування й особливостей режиму хімічного складу природних вод;
- вивчення складових розчинених у природних водах речовин, що формуються під впливом антропогенних факторів, радіологічного забруднення;
- розробка гідрохімічних класифікацій різних типів водних об'єктів, їх систематизація і подальше районування території суші й океанів;
- вивчення взаємозв'язку хімічного складу атмосферних, поверхневих і підземних вод у межах гідросфери.

До основних спеціальних проблем гідрохімії України варто віднести:

- пошуки родовищ корисних копалин на основі вивчення хімічного складу природних вод;

- створення оптимального гідрохімічного режиму в ґрунті і ґрунтових водах при меліорації і районування по цьому принципу на основі регіональних гідрохімічних досліджень;
- регіональні гідрохімічні дослідження з метою районування територій по якості природних вод для різних господарських потреб (меліоративне, водне і цивільне будівництво, питне і технічне водопостачання, рибальство й ін.);
- регіональні гідрохімічні дослідження з метою оцінки ресурсів прісних вод, тенденцій їхньої зміни і перспектив збереження чи збільшення;
- прогнозування якості природних вод в окремих водних об'єктах і регіонах, моделювання гідрохімічних процесів, у тому числі і при радіологічному забрудненні вод у результаті аварії на Чорнобильській АЕС.

## **1.2 Історія розвитку гідрохімії в Україні**

Розвиток гідрохімічної науки в Україні є продовженням досліджень, розпочатих в колишньому Радянському Союзі такими вченими як професор П.О.Кашинський, який очолював перший у світі Гідрохімічний інститут (1921р), академік В.І.Вернадський (1863-1945рр), праці якого присвячені вченню про природні води, О.О.Алекін і А.М.Никаноров, які є авторами навчальних посібників з науки гідрохімії.

Починаючи з 20-х років ХХ ст. історію гідрохімічних досліджень поверхневих вод в Україні поділяють на три періоди: перший – з 20-х до 50-х років; другий – з 50-х до 70-х років; третій – з 70-х років до теперішнього часу [1].

**Перший період** (з 20-х до 50-х років) характеризується початком систематичних спостережень за гідрохімічним станом поверхневих вод в Україні, які проводились на мережі пунктів гідрометслужби на річках басейнів Дніпра, Дністра, Південного Бугу й річках Криму і були узагальнені О.О.Алекінім (1948р). Гідрохімічні дослідження ведуться у Інституті гідробіології України, Дніпропетровському та Харківському університетах, Державному гідрологічному інституті УГМС, Інституті геології АН України та інших.

**Другий період** (з 50-х до 70-х років) гідрохімічні дослідження водних об'єктів носять комплексний характер. Дані щодо хімічного складу поверхневих вод наводяться у регулярних виданнях гідрометслужби.

З 50-х років широкі дослідження ведуться на р. Дніпрі у зв'язку з створенням каскаду водосховищ. К середині 60-х років була наведена повна гідрохімічна характеристика басейну Дніпра, встановлено



особливості формування природного гідрохімічного стану та його зміни при зарегулюванні стоку.

У цей час також значна увага приділяється вивченню гідрохімічного режиму р. Дунаю на території України в межах єдиної Міжнародної програми.

Гідрохімічні дослідження розглядуваного періоду спрямовані на розробку технологій очищення води, вивчення хімії підземних вод (особливо мінеральних), малих річок та водосховищ; узагальнюються дані мережі санепідемстанцій щодо промислового та іншого забруднення водотоків і водойм країни.

**Третій період** (з 70-х років і до наших днів) характеризується підвищенням використання водних ресурсів у народному господарстві і як слідчий вивчення антропогенного впливу на якість природних вод.

Утворюються нові великі науково-дослідні заклади, які проводять гідрохімічні дослідження: Всесоюзний науково-дослідний інститут охорони вод (тепер Український науковий центр охорони вод), Український філіал Центрального науково-дослідного інституту комплексного використання водних ресурсів (тепер Український науково-дослідний інститут водогосподарських екологічних проблем), відділ гідрохімії в інституті Укрводпроект та Українському науково-дослідному інституті гідротехніки і меліорації (УкрНДГІМ), Республіканський центр спостережень за станом природного середовища Держкомгідромету, відділ гідрохімічного й радіаційного моніторингу в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті (УкрНДГМІ).

Наукові дослідження у той час направлені на подальшу розробку методів аналізу і прогнозування змін гідрохімічного режиму водосховищ, поглиблення вивчення мікроелементів, форм міграції металів у прісних водоймах. У зв'язку з зарегулюванням і значним відбором води на зрошення і водопостачання особливої уваги приділяється дослідженню і прогнозуванню гідрохімічного режиму гирлових ділянок річок (Дніпра, Дунаю, Південного Бугу), лиманів (Дніпровського, Бузького, Дністровського).

Характерним для сучасних гідрохімічних досліджень в Україні є значне розширення вивчення впливу радіоактивних елементів на природні води, зумовлене найбільшою в світі екологічною катастрофою на Чорнобильській АЕС у квітні 1986 р.

Наукова школа з вивчення хімічного складу природних вод в умовах інтенсивного впливу антропогенних факторів була заснована в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка на кафедрі гідрології і гідрохімії під керівництвом В.І.Пелешенка. На кафедрі було розроблено гідрохімічне районування території України, здійснено оцінку взаємозв'язку хімічного складу різних видів природних вод України з

урахуванням антропогенного впливу на нього, розроблено методи гідрохімічного картографування, впроваджено ймовірнісно-статистичні методи для обробки гідрохімічної інформації (1971-1975 рр.).

В останні роки з'явилися нові наукові напрямки – меліоративна гідрохімія, розробка методів оптимізації навколишнього середовища (Л.М.Горєв), гідрохімія осушуваних земель (Д.В.Закревський), якість вод водойм-охолоджувачів АЕС (М.І.Ромась), агрогідрохімія, гідроекологічні аспекти водопостачання й водовідведення (В.К.Хільчевський), біогенні елементи як показник антропогенного впливу (С.І.Сніжко), мікроелементний склад природних і стічних вод, донних відкладів і методи його аналізу (В.М.Савицький, В.І.Осадчий). Результати досліджень викладені в чисельних статтях, монографіях, довідниках перелічених авторів.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Чим займається гідрохімія України як складова частина наукової дисципліни регіональної гідрохімії?
2. Які основні задачі регіональної гідрохімії?
3. Які основні спеціальні проблеми гідрохімії України?
4. Назвіть важливі етапи розвитку гідрохімії в Україні.
5. Які є сучасні наукові напрями розвитку гідрохімії України?

## 2 УМОВИ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНИХ ВОД

Формування хімічного складу природних вод обумовлено складним комплексом розчинених газів, мінеральних солей та органічних сполук. У природних водах розчинені майже все відомі у гідросфері Землі хімічні елементи, з яких виявлено понад 80-ти. Проте багато елементів міститься у природних водах у дуже малих кількостях, які неможливо виявити сучасними методами.

Хімічний склад природних вод умовно поділяють на сім груп:

1) розчинені гази – кисень ( $O_2$ ), азот ( $N_2$ ), сірководень ( $H_2S$ ), діоксид вуглецю ( $CO_2$ );

2) головні іони (макрокомпоненти) – катіони: калій ( $K^+$ ), натрій ( $Na^+$ ), магній ( $Mg^{2+}$ ), кальцій ( $Ca^{2+}$ ) та аніони: хлор ( $Cl^-$ ), кисневі сполуки сірки ( $SO_4^{2-}$ ), гідрокарбонати ( $HCO_3^-$ ), карбонати ( $CO_3^{2-}$ );

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

4) органічні речовини – різноманітні органічні сполуки, які належать до органічних кислот, складних ефірів, фенолів, гумусових речовин, азотовмісних сполук (білки, амінокислоти, аміни) та інших;

5) мікроелементи – всі метали, крім головних іонів ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ), а також деякі інші компоненти;

6) забруднювальні речовини (пестициди, синтетичні поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, феноли та ін.);

7) радіоактивні елементи.

Крім наведених, до якісних характеристик складу природних вод відносять твердість, лужність, окислюваність, агресивність, які зумовлені сукупністю кількох компонентів складу води. Користуються також поняттями “мінералізація води”, “сума іонів  $\Sigma_i$ ”, “солоність води”.

### 2.1 Чинники, які визначають формування хімічного складу природних вод

Фактори, які визначають формування хімічного складу природних вод поділяють на головні та другорядні, а також на прямі та опосередковані (О.О.Алекін [4]).

Головні фактори – ті, що визначають склад води, тобто сприяють формуванню гідрохімічного типу (хлоридного, сульфатного).

Другорядні фактори – ті, що сприяють появі у воді компонентів, які надають воді нових особливостей, проте тип її залишається незмінним.

Прямі фактори безпосередньо впливають на хімічний склад води (грунти, гірські породи), опосередковані діють опосередковано, тобто через інші (прямі) чинники.

За характером впливу фактори які обумовлюють формування хімічного складу природних вод поділяють на такі групи (А.М.Никоноров [5]):

1)фізико-географічні (рельєф, клімат, вивітрювання, ґрунтовий покрив, водний режим);

2)геологічні (склад гірських порід, тектонічна будова, гідрогеологічні умови);

3)фізико-хімічні (хімічні властивості елементів, кислотно-лужні та окисно-відновні умови, змішування вод і катіонний обмін);

4)біологічні (діяльність рослин і живих організмів);

5)антропогенні (штучні) – всі чинники, що пов'язані з господарчою діяльністю людини.

Взаємодія та послідовність прояву вказаних факторів зумовлюють формування природних вод – поверхневих і підземних.

### 2.1.1 Фізико-географічні фактори

**Рельєф** належить до опосередкованих факторів і впливає на умови водообміну, від яких залежать мінералізація та хімічний склад води. Ступінь розчленованості рельєфу визначає розміри поверхневого стоку й дренажність підземних вод.

**Клімат** визначає метеорологічні фактори, які зумовлюють формування водного режиму поверхневих і підземних вод. До них відносяться атмосферні опади, температура повітря і випаровування.

Початок формування хімічного складу природних вод відбувається в атмосфері. Атмосферні води характеризуються найбільш швидкими змінами мінералізації, однак склад опадів в цілому є типовим для даної місцевості. Мінералізація атмосферних опадів переважно нижча, ніж річкових та озерних вод, тому опади знижують мінералізацію поверхневих і підземних вод.

Вплив температури повітря на хімічний склад води може виявлятися так: при підвищенні температури в прісних водоймах відбувається випадіння карбонату кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ), а при значному зниженні її (при промерзанні) виділяються важкорозчинні сполуки, а в розчинах зберігаються легкорозчинні при низькій температурі сполуки (це хлориди кальцію ( $\text{CaCl}_2$ ), магнію ( $\text{MgCl}_2$ ) і натрію ( $\text{NaCl}$ )).

Одним з найважливіших чинників формування хімічного складу вод на поверхні землі та у її ґрунтах є випаровування.

Цей фактор найбільш проявляє себе в таких географічних зонах, де випаровування значно перевищує кількість опадів. Це сухі степи, пустелі та напівпустелі. У таких районах під впливом випаровування активно йде процес мінералізації: гідрокарбонатні води стають сульфатними, а потім сульфатно-хлоридними і хлоридними.

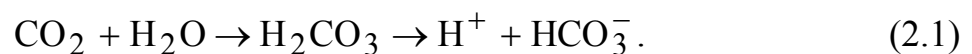
**Вивітрювання** має суттєве значення при формуванні хімічного складу природних вод. Розрізняють фізичне (механічне), хімічне і біологічне вивітрювання гірських порід.

Хімічне вивітрювання включає процеси розчинення, гідролізу, гідратації й окиснення, які протікають з виділенням тепла, тобто є екзотермічними. Хімічне вивітрювання поділяється на вуглекислотне, інтенсивність якого залежить від концентрації вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  у водах, і сірчано-кислотне, важливим компонентом якого є сірчана кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , яка утворюється при окислюванні сульфідів.

Біологічне вивітрювання має місце у тих районах, де кількість атмосферних опадів перевищує випаровуваність при достатньо високій температурі повітря. Велика концентрація організмів, які виділяють органічні кислоти сприяють перетворенню будови мінералів.

**Грунтовий покрив** впливає на формування вод з одного боку через збільшення мінералізації атмосферних опадів, які фільтруються крізь них, а з іншого – через змінювання хімічного складу ґрунтових вод. Ґрунти збагачують воду іонами, газами, органічними речовинами. Найбільшу кількість солей віддають у воду чорноземи і каштанові ґрунти, бідні на солі є торфянисто-тундрові чи болотні та підзолисті ґрунти.

В процесі фільтрації води через ґрунт в результаті окиснення органічної речовини вміст кисню  $\text{O}_2$  зменшується, а кількість вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  відповідно зростає. Вуглекислота сприяє утворенню гідрокарбонатних іонів:



**Водний режим** має суттєве значення у формуванні хімічного складу природних вод.

Хімічний склад води у річках залежить від часу настання водопілля, його тривалості, характеру живлення річок.

Так, у період максимуму снігового живлення вода у річках, озерах та водосховищах має більш низьку мінералізацію, ніж в період формування стоку за рахунок ґрунтових і підземних вод. Тому, звичайно, водосховища наповнюються у період весняного водопілля, коли припливна вода слабкомінералізована.

На зміну хімічного складу води річок впливають також і морфометричні характеристики: довжина, кількість приток, протікання річки через водойми, озера тощо.

Систематична зміна складу вод у часі та її закономірності складають гідрохімічний режим водного об'єкту, який тісно пов'язаний з його гідрологічним режимом.

### 2.1.2 Геологічні фактори

Гірські породи є одним з основних чинників формування мінералізації та хімічного складу природних вод через головні розчинні мінерали: галіт  $\text{NaCl}$ , гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , кальцит  $\text{CaCO}_3$ , доломіт  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

Залягаюча на глибині кам'яна сіль збагачує води на хлориди натрію, що сприяє різкому підвищенню мінералізації.

Поява сульфатних кальцієвих вод пов'язана з розчинністю гіпса, присутнього у надрах землі. Мінералізація вод становить близько 2-3 г/л.

Гідрокарбонатно-кальцієві води ( $\text{CaCO}_3$ ) утворюються при розчиненні карбонатів кальцію (вапняки, вапняковий цемент та ін.). Розчинність  $\text{CaCO}_3$  в нормальних умовах може змінюватись від лише 13 мг/л (при відсутності у воді вуглекислоти  $\text{CO}_2$ ) до 1 г/л (в разі великої кількості  $\text{CO}_2$ ).

Гідрокарбонатно-натрієві (содові) води ( $\text{HCO}_3^- > \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ ) формуються при вивітрюванні масивно-кристалічних й осадових порід, які містять натрій (натрієвих польових шпатів та інших порід).

### 2.1.3 Фізико-хімічні фактори

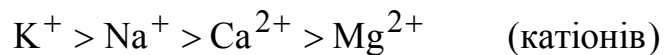
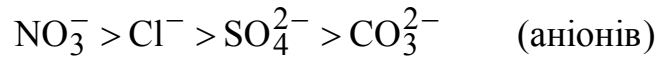
Хімічний склад природних вод, який визначається його зв'язком з ґрунтами, породами, атмосферним повітрям і органічною речовиною, постійно змінюється за рахунок переміщення (міграції) мас води. Останнє залежить від фізико-хімічних констант даного іону та умов середовища.

Динаміку хімічних елементів у природних водах визначають *внутрішні* і *зовнішні фактори*. До внутрішніх чинників належать такі характеристики елементів: валентність, іонні радіуси, іонні потенціали; до зовнішніх – енергетика Землі, склад атмосфери, біогенні і кліматичні чинники.

Поведінка іонів у водних розчинах залежить від валентності іонних радіусів: чим більша валентність металів, тим менш розчинні сполуки вони утворюють і тим нижча їх міграційна здатність. Так, одновалентні лужні

метали утворюють легкорозчинні сполуки ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), двовалентні лужні метали – менш розчинні ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCO}_3$ ), ще менш розчинні сполуки – трьохвалентних металів ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ). Винятки  $\text{MgSO}_4$  - добре розчинна сіль,  $\text{MgCl}_2$  - розчиняється погано.

Чим більші іонний радіус і валентність гідратованих іонів, тим більша їх рухливість. При цьому найвища міграційна здатність має бути у іонів:



Міграційна здатність елементів залежить й від рН середовища.

Суттєвий вплив на міграційну здатність елементів мають окисно-відновні процеси.

Розрізняють **окисні і відновні процеси**. Головним критерієм окисних процесів є наявність у водах вільного кисню атмосфери ( $\text{O}_2$ ), показником його відсутності – трьохвалентне залізо  $\text{Fe}^{3+}$ . Головним критерієм відновних умов є наявність двохвалентного заліза ( $\text{Fe}^{2+}$ ) і відсутність кисню. Окисно-відновні процеси характеризуються потенціалом (Eh) атомів та іонів, який вимірюється у вольтах (В). Eh може бути негативним (дана система більш належить до окисненої системи ніж стандарт) чи позитивним (система більш належить до відновної системи ніж стандарт). У природних водах Eh змінюється від +700 до –500мВ.

Реакція обмінного розкладання багатьох речовин називається гідролізом.

**Гідроліз** – це хімічна взаємодія іонів розчиненої солі з водою, яка супроводжується зміненням реакції середовища. Реакції гідролізу важливі при формуванні іонно-сольового складу природних вод. Не піддаються гідролізу солі, утворені сильною кислотою і сильним лугом.

На хімічний склад води і фізичні властивості породи впливає **катіонний обмін**, який найбільш поширений в природних водах.

Катіонний обмін відбувається у результаті взаємодії тонкодисперсної (глинистої) частини гірських порід та водного розчину. Інтенсивність обміну має пряму залежність від дисперсності породи, природи катіонів (валентності), рН середовища, концентрації електролітів у розчині. Швидкість протікання катіонного обміну залежить також й від концентрації водню, який має високу енергію обміну.

У природних водах звичайно йде катіонний, а не аніонний обмін, тому що під час протікання хімічних реакцій поглинаються позитивно заряджені катіони при взаємодії з негативно зарядженими ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та ін.).

Катіонний обмін інтенсивно протікає у ґрунтових водах, що залягають у колоїдних породах (глинистих, суглинистих і супіщаних) і сприяє формуванню сульфатних натрієвих вод.

**Змішування вод** – один з найпоширеніших у природі процесів, який швидко протікає у великих об'ємах води. Деякі вчені описують цей процес як прямолінійний. Але це не завжди так, чому сприяє осадження солі з розчинів, які змішуються. Характер взаємодії визначається мінералізацією й хімічним складом вод, які змішуються.

У річках і озерах явище змішування вод поширене внаслідок впадіння приток з різним хімічним складом, а також за рахунок ґрунтового живлення. Тому склад води цих водних об'єктів не скрізь однаковий.

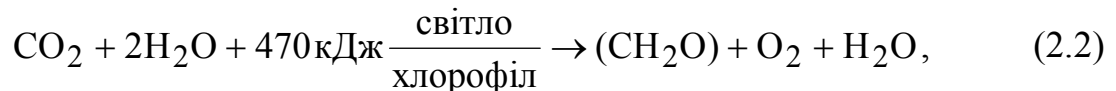
### 2.1.4 Біологічні фактори

До цих факторів належать життєдіяльність рослин і тваринних організмів. Вони збагачують води на мікрокомпоненти, зумовлюють біогенну метаморфізацію природних вод.

Деякі види рослинності вбирають з розчину і накопичують в своїх тканинах велику кількість хімічних елементів. Серед рослин є так звані фреатофіти, які взаємодіють з ґрунтовими водами через добре розвинуту кореневу систему (до 20-30 м глибини). До них відносяться осока, очерет та інші види дерев і кущів.

Рослинність впливає на характер ґрунтових реакцій. Водні рослини змінюють газовий і хімічний склад води у водоймі.

Завдяки процесу фотосинтезу, води збагачуються киснем ( $O_2$ ), зменшується концентрація  $CO_2$ , яка поглинається при цьому. Крім того, таким чином створюється органічна речовина, необхідна для життєдіяльності тваринних організмів:



де  $(CH_2O)$  – символізує вуглеводи.

Хімічна енергія, яка акумулюється при цьому процесі, сприяє протіканню багатьох хімічних реакцій у воді.

Значну роль у процесах метаморфізації хімічного складу природних вод як поверхневих, так і підземних (аж на глибині до 1000 м) відіграють мікроорганізми. Деякі бактерії можуть існувати в солоних водах при температурах до  $90^\circ C$ . Однак при таких умовах діяльність бактерій пригнічена.



В процесі життєдіяльності мікроорганізми впливають на газовий режим і хімічний склад води. При диханні мікроорганізмів поглинається кисень і виділяється діоксид вуглецю:



Це рівняння характеризує загальний баланс речовин при диханні. На противагу від фотосинтезу в даному процесі утворюються молекули води.

Важливою є роль мікроорганізмів для природного очищення вод. Вони розкладають залишки рослинних і тваринних організмів. Крім того, мікроорганізми вилучають з води різні хімічні елементи (N – азот, P – фосфор, K – калій, S – вуглець, Ca – кальцій, мікроелементи).

### 2.1.5 Антропогенні фактори

Антропогенні зміни в хімічному складі природних вод пов'язані з діяльністю людини. За характером впливу вони поділяються на хімічні та фізичні.

Хімічні чинники обумовлені надходженням до водойми речовин із стічними водами, з атмосферними опадами та іншим шляхом, що визиває зміну природного хімічного складу вод. Фізичні чинники – це зміна фізичних параметрів (температури води, окисно-відновного потенціалу Eh та ін.). Ці впливи називають антропогенним забрудненням. У ряді антропогенного впливу в води можуть надходити як природні речовини – це хлориди, сульфати, натрій, так і забрудники у вигляді пестицидів, синтетичні поверхнево-активні речовини, деякі важкі метали.

Отже антропогенні фактори можуть спричиняти:

- зміну концентрації у водах природних компонентів;
- зміни спрямованості природних гідрохімічних процесів;
- збагачення вод чужорідними речовинами.

Наприклад, нафтова плівка, яка утворилась внаслідок аварій на судах, призводить до змін у протіканні гідрохімічних і біохімічних процесів, зокрема порушує стан карбонатної системи. При цьому також змінюються фізичні характеристики – перенесення кисню, проникнення світла, випаровування. Крім того, речовини, які містяться в плівці стають ядрами комплексоутворення з металами. При розтіканні плівки нафти поверхнею води вона утворює мультимолекулярний шар на великій поверхні. Приблизно 15 т мазуту протягом 6-7 діб розтікається на поверхні площі 20 км<sup>2</sup>.

## 2.2 Класифікація вод за хімічним складом

З усіх класифікацій вод за хімічним складом для поверхневих вод прийнята класифікація О.О.Алекіна [4]. В її основу покладено два принципи: переважаючих іонів і співвідношень між іонами. Переважаючими вважаються іони з найбільшим відносним вмістом у відсотках із перерахунком на кількість речовини еквіваленту.

За першою ознакою природні води поділяються на три класи:

- 1) гідрокарбонатні С (більша частина маломінералізованих вод річок, озер і деяких підземних вод);
- 2) сульфатні S (проміжні між гідрокарбонатними і хлоридними, генетично пов'язані з деякими осадовими породами);
- 3) хлоридні Cl (високомінералізовані води океанів, морів, соляних озер).

Кожний клас поділяється за переважаючим катіоном на три групи – кальцієву, магнієву і натрієву, кожна група – на чотири типи, які зумовлюються співвідношенням між іонами в еквівалентах.

Перший тип характеризується відношенням  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ . Води цього типу є лужними, м'якими, містять значну кількість натрію і калію, найчастіше маломінералізовані.

Другий тип це є відношення  $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ . Води цього типу формуються при взаємодії з осадовими породами, мало та помірно мінералізовані (води більшості річок, озер, підземних вод).

Третій тип:  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , або  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$ . Генетично ці води є змішаними і метаморфізованими, більшість їх сильномінералізована (води океанів, морів, лиманів, багатьох соляних озер).

Четвертий тип характеризується виразом  $\text{HCO}_3^- = 0$ , тобто води кислі й не належать до класу гідрокарбонатних, а лише до сульфатного і хлоридного, де перший тип відсутній. Кислі води формуються при вивітрюванні сульфатних родовищ і вугільних покладів, при вулканічній діяльності та інших.

Класи, групи і типи позначаються відповідними символами. Наприклад: вода біля Житомира у 1994р. класифікувалася як  $\text{C}_{\text{II},3}^{\text{Ca}4}$  - клас гідрокарбонатний, група кальцієва, тип другий, мінералізація 0,3 г/л, твердість 4 ммоль/л, чи це вода гідрокарбонатна кальцієва другого типу.

На практиці для зображення даних про хімічний склад природних вод (як мінеральних, так і прісних вод) використовують формулу Курлова. Формула – це псевдодріб, в чисельнику якого зліва направо розташовані аніони (у відсотках кількості речовини еквіваленту) за їх зменшенням, у

знаменнику – аналогічно записуються катіони. Поруч з дробом виписують загальну мінералізацію (М, г/л), вміст газів та деяких мікроелементів (р), температуру (Т, °С) та дебіт води (Д, л/с або м<sup>3</sup>/д)

$$pM \frac{\text{аніони}(100\%)}{\text{катіони}(100\%)} T, D. \quad (2.4)$$

Наприклад, хімічний склад води р.Рось

$$M_{0,35} \frac{HCO_3 \ 45SO_4 \ 36}{Ca \ 52Mg \ 30} T_9 D_{15} \quad (2.5)$$

Вода гідрокарбонатно-сульфатна кальцієво-магнієва з мінералізацією 0,35 г/л, температурою 9°С і дебітом свердловини 15 л/с.

#### ***Класифікація вод за мінералізацією.***

Мінералізація води – це сумарна кількість розчинених у ній мінеральних речовин. На практиці найчастіше використовують класифікацію О.М.Овчинникова (1954):

Води	Мінералізація, г/л
Ультрапрісні	< 0,2
Прісні	0,2 - 0,5
Води з підвищеною мінералізацією	0,5 – 1,0
Солонуваті	1,0 – 3,0
Солоні	3,0 – 10,0
Води з підвищеною солоністю	10,0 – 35,0

#### ***Класифікація вод за твердістю:***

Води	Твердість, ммоль/л
Дуже м'які	до 1,5
М'які	1,5 – 3,0
Середні	3,0 – 6,0
Жорсткі	6,0 – 10,0
Дуже жорсткі	> 10,0

## Запитання для самоконтролю

1. Які основні типи речовин обумовлюють хімічний склад природних вод?
2. Дайте визначення головних та другорядних, прямих та опосередкованих факторів формування хімічного складу вод.
3. Як поділяють фактори за характером їх впливу на хімічний склад природних вод?
4. Дайте характеристику фізико-географічних факторів формування хімічного складу природних вод.
5. Як впливають геологічні фактори на мінералізацію природних вод?
6. Дайте характеристику фізико-хімічних процесів, які протікають у природних водах.
7. Які фактори належать до біологічних чинників, їх вплив на характер природних вод?
8. Чим обумовлені антропогенні зміни в хімічному складі природних вод і у чому це виявляється?
9. Дайте класифікацію вод за хімічним складом.
10. Формула Курлова як зображення даних про хімічний склад природних вод.
11. Дайте класифікацію вод за мінералізацією та твердістю.

### 3 ГІДРОХІМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ

На кафедрі гідрології та гідрохімії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка було здійснено гідрохімічне районування території України в природних умовах і в умовах, порушених сільськогосподарською діяльністю людини [1,2].

Районування території виконане шляхом виділення однорідних гідрохімічних полів за даними комплексу провідних факторів (кліматичних, гідрологічних, рельєфно-морфологічних, гідрогеологічних тощо) з використанням сучасних ймовірно-статистичних методів та ПЕОМ.

#### 3.1 Районування гідрохімічних умов

За основу при розробці принципів районування природних вод за хімічним складом були взяті фізико-хімічні умови, які змінюються у часі та просторі під впливом природних факторів. Під **фізико-хімічними умовами** в природних водах суші розуміють певний стан і кількісне співвідношення хімічних елементів і фізичних величин у воді, які сформувалися під впливом природних і штучних факторів, у тому числі й головних іонів: форми їх знаходження, міграції, нагромадження, розсіювання тощо. При дослідженні фізико-хімічних умов вивчають як хімічні, фізичні, біологічні процеси, так і вплив фізико-хімічних умов на подальше формування природних і штучних процесів, на режим деяких хімічних елементів та сполук.

Природні фактори, які зумовлюють фізико-хімічні і гідрохімічні умови, виявляються у взаємодії, тому розділяються не тільки на **прямі** і **опосередковані**, а й на **загальні** та **часткові**. Загальні чинники впливають на всі типи вод, а відрізняються тим, що визначити їх роль в формуванні хімічного складу вод не завжди вдається. Часткові чинники зокрема діють в конкретних умовах і є провідними для даного типу води. Наприклад, в умовах Полісся біологічні процеси найбільш важливі у формуванні поверхневих вод, ніж підземних чи атмосферних. Однак, в інших умовах біологічний фактор може стати провідним для ґрунтових чи підземних вод. Фактори, які визначають гідрохімічні і фізико-хімічні умови в природних водах наведені у табл. 3.1.

Для всіх типів природних вод до **загальних чинників** відносять фізико-географічні умови. Для поверхневих, ґрунтових і напірних вод загальними факторами є також гідрогеологічні умови, а для ґрунтових і напірних вод - і геолого-структурні умови.

Таблиця 3.1 - Фактори, які визначають гідрохімічні і фізико-хімічні умови в природних водах

Типи природних вод	Загальні фактори	Часткові фактори	Загальні і часткові фактори	
			прямі	опосередковані
Атмосферні опади	Фізико-географічні умови	Фізичні властивості та склад атмосфери, атмосферні явища, термічний режим	Газовий склад повітря, наявність аерозолів, сонячна радіація, промислові викиди	Фізичні властивості повітря, вид підстиляючої поверхні, сніговий покрив, вологість, промерзання ґрунту, розораність, географічне положення
Поверхневі води	Фізико-географічні, гідрогеологічні умови	Гідрологічний та льодовий режим, біологічні процеси у водах, умови підземного живлення	Склад та інтенсивність опадів, характер ґрунтів і рослинного покриву, фотосинтез, господарська діяльність	Кліматичні особливості, гідрологічний і льодовий режим, випаровування
Ґрунтові води	Фізико-географічні, гідрогеологічні умови	Заболоченість, торфоутворення, промерзання та вологість ґрунтів, карст	Процеси торфоутворення, склад ґрунтових розчинів, діяльність бактерій, забруднення	Рельєф, клімат, гідрологія річок, промерзання ґрунтів, карст, заболоченість, режим ґрунтових вод, меліорація
Напірні води	Фізико-географічні, гідрогеологічні умови	Тектонічні особливості, геотермічний режим надр	Літолого-мінералогічний склад порід, забруднення	Рельєф, клімат, ґрунтово-рослинний покрив, умови залягання ґрунтових вод, фізичні властивості води

До **часткових факторів** відносять фізичні властивості та склад атмосфери, атмосферні явища, термічний режим (для атмосферних опадів), гідрологічний та льодовий режим, біологічні процеси у водах, умови підземного живлення (для поверхневих вод), заболоченість, торфоутворення, промерзання та вологість ґрунтів, карст та інші (для ґрунтових вод), тектонічні особливості, геотермічний режим надр (для підземних напірних вод).

Із всієї кількості загальних і часткових факторів до **прямих чинників** формування хімії природних вод відносять: для атмосферних опадів – газовий склад повітря, наявність аерозолів, сонячна радіація, промислові викиди; для поверхневих вод – склад та інтенсивність опадів, характер ґрунтів і рослинного покриву, фотосинтез, господарська діяльність, зв'язок з підземними водами; для ґрунтових вод – процеси торфоутворення, склад ґрунтових розчинів, діяльність бактерій, забруднення; для напірних вод – літолого-мінералогічний склад порід, забруднення.

До **опосередкованих чинників** відносять: у атмосферних водах – фізичні властивості повітря, вид підстелаючого покриву, сніговий покрив, вологість і промерзання ґрунту, розораність, географічне положення; для поверхневих вод – кліматичні особливості, гідрологічний і льодовий режим, процеси випаровування, фільтрація ложа річок і озер, умови підземного живлення; для ґрунтових вод – рельєф, кліматичні та гідрологічні умови, промерзання ґрунту, карст, заболоченість, режим ґрунтових вод, види меліорації та інші; для напірних вод – рельєф, клімат, ґрунтово-рослинний покрив, умови залягання ґрунтових вод, фізичні властивості води та інші.

Усі перелічені чинники у різних умовах і у різному їх сполученні формують певний тип гідрохімічних умов в цілому і величину кожного показника зокрема.

Кількість чинників, впливаючих на формування фізико-хімічних умов в різних типах вод (атмосферні, поверхневі, ґрунтові, підземні), збільшується від атмосферних до підземних вод, при цьому вклад їх зменшується. Безумовно, необхідно враховувати вплив штучних факторів на гідрохімічні умови у природних водах, у тому числі привнесення у води радіоактивних речовин, пов'язане з аварією на Чорнобильський АЕС.

Територіальні закономірності зміни гідрохімічних умов у атмосферних, поверхневих і підземних водах зумовлені складною взаємодією загальних, часткових, прямих і опосередкованих чинників, взяті за основу районування території України за хімічним складом природних вод суші. Для обґрунтування об'єктивності виділення площ районування (зони, провінції, області, райони) використаний [2] метод математичної статистики для виявлення кількісних закономірностей

поширення основних хімічних компонентів і показників гідрохімічних умов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , Eh, pH,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , окисність).

Таким чином, територія України поділяється на **три зони** – мішаних лісів, лісостепову, степову і **гірську зону** (Карпатські і Кримські гори). При зміні різних зон природні води різко відрізняються за гідрохімічними умовами. Основними показниками для виділення зон є такі загальні чинники, як особливості ландшафтних типів ґрунтового і рослинного покриття, умови термічного режиму, зволоженість території. Вони впливають на об'єм і співвідношення поверхневого і підземного стоку, процеси вивітрювання, нагромадження осадів.

**Провінції** за даним районуванням збігаються з фізико-географічними провінціями і виділяються за ступенем континентальності клімату, трансформації повітряних мас, а для зони мішаних лісів і Карпатських гір – особливості історії геологічного розвитку. Ці показники визначають особливості водно-сольового балансу території. Із зміною провінцій значно змінюється гідрохімія поверхневих, ґрунтових і напірних вод, залишаючись стабільними в атмосферних опадах.

Виділення **областей** у межах провінцій виконується за геолого-структурними умовами, гідрогеологічними умовами. У межах областей за гідрохімічних умов районується ґрунтові та напірні підземні води. **Райони** виділяються у межах областей згідно з генезисом і віком четвертинних відкладів, умовами взаємозв'язку поверхневих і підземних вод.

В цілому схема районування території України за фізико-хімічними умовами в природних водах наведено в підручнику [2].

### 3.2 Районування меліоративно-гідрохімічних умов

Під **гідрохімічними** чи **меліоративно-гідрохімічними** умовами розуміють іонно-сольовий режим ґрунтів, водомістких порід, ґрунтових та поверхневих вод річкового басейну, в межах якого проводяться меліоративні заходи. Природними групами факторів, які впливають на формування водно-сольового балансу, є ґрунтово-кліматичні та геолого-гідрологічні. До головних, провідних чинників цих груп відносяться природне зволоження, засоленість порід, ступінь дренажу і глибина залягання ґрунтових вод. Чинниками, обумовленими меліорацією, є: штучне зволоження шляхом зрошення і обводнення земель, штучний дренаж (осушення), агрохімічні та агротехнічні заходи. В табл. 3.2 наведена схема районування території за умовами формування меліоративно-гідрохімічних умов (за даними Л.М.Горєва, В.І.Пелешенка, 1984).



Таблиця 3.2 – Районування території за умовами формування меліоративно-гідрохімічних умов [2]

Індекс	Назва таксономічної одиниці	Основні групи факторів формування меліоративно-гідрохімічних умов	Основні показники формування меліоративно-гідрохімічних умов	Додаткові показники
А	Зона	Кліматичні умови	Зона природного зволоження: надлишкового ( $k > 1,2$ ) нестійкого ( $k = 0,8 - 1,2$ ) недостатнього ( $k < 0,8$ )	Тип сольового режиму товщі активного водосолеобміну
І	Провінція	Геолого-літологічні умови	Засоленість порід: засолені незасолені проміжні	Характер засоленості (морський, континентальний)
1.	Область	Гідрогеологічні умови	Глибина залягання ґрунтових вод: глибоке (5-6м); неглибоке (2-3см - 2-2,5 м)	Тип взаємозв'язку ґрунтових і пластових вод
а	Район	Орогеоморфологічні умови	Умови дронування: дреновані райони; слабкодреновані і недреновані райони	Особливості мікрорельєфу
а'	Ділянка	Характер водно-сольових умов	РГВ, РКК, РВКК, С <sub>Г</sub> , С <sub>П</sub> , С <sub>ПОВ</sub>	Вид сольового режиму

Найбільш крупною таксономічною одиницею є *зона*.

Основним показником формування меліоративно-гідрохімічних умов у зоні є природна зволоженість території, ступінь якої визначається за коефіцієнтом зволоження ( $k$ ), що дорівнює відношенню суми атмосферних опадів до випаровування за річний період. Виділяють зони надлишкового ( $k > 1.2$ ), нестійкого ( $k = 1.2 - 0.8$ ) і недостатнього ( $k < 0.8$ ) зволоження (О.М.Костяков, 1925). Залежно від ступеня зволоження території застосовуються типи водної меліорації: зрошення, обводнення чи осушення.

В межах зон виділяють *провінції*, де суттєву роль у формуванні іонно-сольового режиму відіграє засоленість порід. Розрізняють породи засолені, незасолені і проміжні. Природна засоленість порід характеризується континентальними і морськими умовами формування. В першому випадку солі континентального походження накопичувались у породах внаслідок випаровування природних вод суші у зоні недостатнього зволоження (в осад випадали солі кальцію і натрію сульфати). У другому випадку, солі морського походження накопичувались на дні морським (в осад випадали солі натрію, магнію сульфати і натрію хлориди). Незасолені породи можуть бути первинно незасоленними і розсоленними.

У зонах надлишкового зволоження переважають розсолені породи, а в зонах нестійкого зволоження – породи з різним ступенем і походженням засолення.

Важливими чинниками формування іонно-сольового режиму вод і порід у межах *областей* є глибина залягання ґрунтових вод і їх взаємозв'язок з пластовими водами.

В умовах надлишкового зволоження глибина залягання ґрунтових вод практично не впливає на іонно-сольовий баланс, але відіграє роль в режимі органічних речовин, мінеральних сполук, газів, окисно-відновних і кислотно-лужних умов. В зоні недостатнього зволоження глибина ґрунтових вод визначає ступінь засолення ґрунтів, порід і мінералізації вод.

Характер взаємозв'язку ґрунтових і пластових вод визначає швидкість підйому рівня іригаційно-ґрунтових вод.

Залежно від глибини залягання виділяються області з глибоким (більше 5-6 м) чи неглибоким заляганням рівня ґрунтових вод (від кількох сантиметрів у глинистих породах до 2-2,5 м – у галечникових). В цілому глибина ґрунтових вод враховує дію комплексу фізико-географічних чинників: рельєф, гідрографічна мережа, геоморфологічні умови, джерела живлення та інші.

Перераховані чинники впливають й на виділення *районів* за ступенем дренаваності території, від якої залежать напрямок і швидкість

водно-сольових потоків. Розрізняють дреновані (зв'язані з глибоким заляганням рівня ґрунтових вод) та слабодреновані і недреновані райони (з неглибоким заляганням ґрунтових вод).

Меліоративно-гідрохімічні умови в межах окремих *ділянок* залежать також від співвідношення елементів, які визначають характер водно-сольових умов середовища. До них відносяться глибини рівня ґрунтових вод (РГВ), капілярної кайми (РКК), випаровування капілярної кайми (РВКК), мінералізація та іонно-сольовий склад ґрунтових вод ( $C_{\Gamma}$ ), порід ( $C_{\Pi}$ ), поверхневих вод ( $C_{\text{пов}}$ ).

За співвідношенням між парами цих елементів виділяють різні групи водно-сольових умов у товщі активного водосолеобміну.

### Запитання для самоконтролю

1. Що розуміють під фізико-хімічними умовами в природних водах?
2. Як розрізняють чинники формування фізико-хімічних умов у природних водах?
3. Які токсонімічні одиниці виділяють при районуванні природних вод за гідрохімічними умовами?
4. Які чинники впливають на формування гідрохімічних умов у межах конкретних площ районування?
5. Що розуміють під меліоративно-гідрохімічними умовами?
6. Назвіть основні групи факторів формування меліоративно-гідрохімічних умов?
7. За якими основними показниками формування меліоративно-гідрохімічних умов виділяють конкретні площі районування?

## 4 ГІДРОХІМІЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ

Атмосфера являє собою гетерогенну систему, яка складається з газового середовища з розсіяними в ньому дисперсними частинками рідкої і твердої речовини в завислому стані – аерозолями.

Дослідженнями встановлено, що атмосфера землі складається з газоподібних речовин: 78% - азот молекулярний, 20,95% - кисень молекулярний, 0,93% - аргон, 0,03% - діоксид вуглецю.

### 4.1 Джерела надходження хімічних елементів до атмосферних опадів

Джерелом хімічних компонентів в атмосферних опадах є аерозолі атмосфери (ядра конденсації). Аерозолі – це пилоподібні мінеральні частинки кори вивітрювання, агрегати розчинених солей, краплинки розчинів газів ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$  та інші), частинки диму, органічні речовини, найдрібніші організми та їх залишки (спори, пилок рослин, мікроби), промислові викиди.

Частинки аерозолів мають різні розміри. *Найдрібніші* аерозолі за кількістю переважають в атмосфері, але основну масу становлять *великі* та *гігантські* частинки. Деякі з аерозолів набувають заряди. Загальна особливість всіх видів аерозолів атмосфери полягає в тому, що кількість їх зменшується з висотою.

Розподіл аерозолів залежить від багатьох фізичних факторів: адвекції та руху повітря, турбулентного перемішування, процесів конденсації та випадіння опадів, а також від виду підстилаючої поверхні, розташування від населених пунктів та океану. Так, кількість аерозолів в атмосфері над містами більша, ніж над сільською місцевістю, над рівниною більше, ніж над горами, над сушею більша, ніж над океаном.

Джерела утворення аерозолів в атмосферних опадах:

- еолова ерозія – основний процес змінення земної поверхні, спричинює кількість мінерального пилу у приземному шарі повітря континентального типу, до складу якого входять мінеральні та органічні компоненти (частинки глинистих і піщаних порід, ґрунтів, кристали солей, залишки рослин і тварин, органічні речовини з ґрунтів, сполуки азоту, сірки й вуглецю, які вилучаються з ґрунтів в атмосферу в результаті бактеріальних процесів);

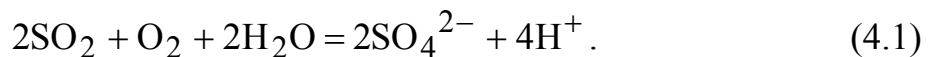
- винесення солей з поверхні льоду, тобто сухих солей, які утворюються при замерзанні солоної води;

- винесення солей з водної поверхні, яке у найпростішому вигляді має механізм відривання найдрібніших крапель води з гребенів хвиль вітром. Наприклад, у прибережній зоні винесення солей можна

помітити на склі вікон, листях дерев, відчуття солонуватого присмаку на губах при сильному вітрі з моря;

- продукти вулканічних вивержень - вулкани викидають в атмосферу значну кількість твердих частинок і газів (SO<sub>2</sub>, HCl), які досить легко вступають в реакції з аерозолями, але адсорбуються на їх поверхні;

- господарська діяльність людини – пов'язана з газопиловими викидами від роботи енергомістких галузей промисловості. Хімічний склад атмосферних опадів промислових районів характеризується високим вмістом сульфатів, які утворюються при спалюванні вугілля і нафти. Газ SO<sub>2</sub> при взаємодії з водяними краплями хмар і дощу, утворює кислоти



Вимивання з атмосфери солей кислот призводить до виникнення сірчаної кислоти і випадіння кислотних дощів. Результати експериментальних досліджень (А.М.Никанорів [3]) свідчать, що в геохімічних чистих зонах основна складова у кислотності опадів належить діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub> (біля 80%), а загальний внесок сірчаної і азотної кислот становить 10%. В атмосфері промислових регіонів – кислотність опадів зумовлена наявністю сірчаної кислоти – 60%, азотної – 30%, соляної – 5% і лише 2% - розчиненням діоксиду вуглецю. До інших джерел аерозолів належить космічний пил, важливий при утворенні ядер конденсації, а не для складу атмосферних опадів внаслідок дуже малої конденсації і розчинності.

Таким чином, сукупність аерозолів в атмосфері становить *прибуткову частину хімічного балансу атмосфери*.

Зменшення кількості аерозолів в атмосфері відбувається під дією двох процесів (*видаткова частина*): захоплювання аерозолів і газів атмосферними опадами всіх видів (дощ, сніг, роса, іній, град) – вологе осадження; осадження аерозолів на поверхню землі при гравітаційній седиментації – сухе осадження.

Процеси формування хімічного складу майбутніх атмосферних опадів відбуваються у хмарах (мінералізація хмар мала, однак вона збільшується зі зменшенням висоти), в найнижчій частині тропосфери – нижче хмар, в приземному шарі. Краплі дощу чи снігу при падінні з хмар вимивають з повітря значну кількість аерозолів. Причому, величина на яку збільшується концентрація солей у дощовій воді при вимиванні аерозолів, обернено пропорційна радіусу крапель дощу. Тому дощ з дрібними краплями повніше вимиває аерозолі. Після випадіння деякої кількості опадів і вимивання більшої частини аерозолів наступне вимивання призводить лише до подальшого розбавлення дощової води.

Значну роль відіграють і умови періоду перед випадінням атмосферних опадів. Повітря, яке довго не промивалося опадами має вищу концентрацію аерозолів порівняно з опадами, які випали одразу за попереднім дощем.

## 4.2 Склад мінеральних речовин в атмосферних опадах

Хімічний склад атмосферних опадів в цілому відображає характер даної підстилаючої поверхні (рельєф, тип ландшафту).

Мінералізація атмосферних опадів нижча, ніж мінералізація поверхневих і підземних вод. Наприклад, мінералізація атмосферних опадів над територією України збільшується з північних районів від 20 мг/л к південним – до 80 мг/л, а в приморських районах може перевищувати 100 мг/л.

Атмосферні опади відрізняються від інших типів вод й характером основних іонів та вмістом органічної речовини. Вони більш збагачені іонами  $\text{SO}_4^{2-}$  (при співвідношенні  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ ),  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , концентрація яких може становити 20-25% кількості еквівалентів.

Показник рН атмосферних опадів завжди менш 7,0 і коливається від 5 до 6, іноді від 4,6.

Аналіз хімічного складу атмосферних опадів на території України здійснено в Київському університеті ім. Тараса Шевченка на кафедрі гідрології та гідрохімії за даними багаторічних спостережень мережі станцій Держкомгідромету України, розташованих в усіх фізико-географічних зонах і гірських країнах. Для кожного пункту оцінено статистичні параметри і закономірності зміни в опадах основних іонів і нестійких компонентів.

Головні іони. Переважаючими іонами в атмосферних водах є сульфатний іон та магнієвий катіон. Закономірності розподілу середніх (найбільш імовірних) за рік концентрацій хімічних елементів в атмосферних опадах наведені в табл.3.1 [2].

Сульфатний іон: відбувається збільшення  $\text{SO}_4^{2-}$  від зони мішаних лісів (9,2-9,5 мг/л) до лісостепової і степової зон (12-12,9 мг/л). Найбільші концентрації  $\text{SO}_4^{2-}$  спостерігаються у Євпаторії (степова зона) – 22,1 мг/л, у Києві – 14,4 мг/л (пов'язане з впливом антропогенних факторів).

Гідрокарбонатний іон: чітких закономірностей не спостерігається, середні концентрації  $\text{HCO}_3^-$  коливаються від 1,7 (Лошкарівка – північ степової зони) до 46 мг/л (Євпаторія – південь степової зони).

Іон хлору: деяке збільшення від районів Полісся – зони мішаних лісів (1,8-2 мг/л) у південному напрямку до 2,1-3 мг/л. Найбільші значення відмічаються для Одеси – 6 мг/л та Євпаторії – 24,4 мг/л.

Іони  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$ : є визначальними у хімічному типі атмосферних опадів, спостерігається закономірність: вміст  $Mg^{2+}$  збільшується від 1,5 мг/л в зоні мішаних лісів до 2-2,5 мг/л у степовій зоні, але на сході степової зони – всього 1,4 мг/л; концентрації  $Ca^{2+}$  зростають у напрямку від Полісся (1,3-1,4 мг/л) до степової зони (2,2-3,5 мг/л) і 2,1-2,2 мг/л у гірських районах Криму і Карпат. Максимальне значення  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  спостерігається в Євпаторії – 23,0 мг/л і 4,1 мг/л, відповідно.

Іони  $Na^+$ : середні концентрації становлять 1,1-1,9 мг/л, максимальні значення – в Одесі 2,6 мг/л, в Євпаторії та Асканії-Новій відповідно 9,1-13,3 мг/л.

Іони  $K^+$ : змінюються з 0,6 мг/л (Волноваха) до 1 мг/л (Одеса) і 1,5 мг/л (Асканія-Нова).

Сума іонів: змінюється по території в середньому від 20 мг/л до 28 мг/л. Найбільш мінералізованими є атмосферні опади в районі Одеси – 35,1 мг/л, Асканії-Новій – 82,4 мг/л, Євпаторії – 128,7 мг/л.

Закономірності розподілу мінералізації атмосферних опадів над територією України представлені картою [2] й наведені в табл.4.1.

**Нестійки компоненти** мають такий розподіл:

зона мішаних лісів – атмосферні опади утворюються в окисних умовах ( $E_h=532$  мВ,  $pH=5,2$ ), що пов'язане з наявністю кисню у воді опадів, кислот  $H_2SO_4$  і  $HCl$ , діоксиду вуглецю. Серед сполук азоту переважають нітрати (2,58 мг/л), аміак з'являється під впливом промислових і ґрунтових газів;

лісостепова зона – опади формуються в окисних умовах ( $E_h =500$  мВ) і кислому середовищі ( $pH$  змінюється від 3,7 до 7,3; у середньому – 5,5). Серед сполук азоту переважає аміак (0,8 мг/л);

стєпова зона – води опадів мають високу окисну здатність ( $E_h =500$  мВ) і сильну кислотну агресивність ( $pH$  змінюється від 4,1 – 7,7; у середньому 5,6-5,9). Високі значення  $pH$  пов'язані з значним забрудненням атмосфери мінеральними речовинами, великою кількістю у воді іонів кальцію, тривалістю періодів без опадів та інші. Найменш кислі опади спостерігаються в Одесі, найбільш кислі – у Лошкарівки (Дніпропетровська область).

Серед сполук неорганічного азоту переважають іони амонію (концентрація їх становить 0,8-1,5 мг/л), що пов'язане з запиленням атмосфери за рахунок азотних мінеральних добрив, які виносяться в атмосферу внаслідок еолової ерозії орних земель (становлять 70-75 % всієї площі зони).

**Таблиця 4.1 – Мінералізація атмосферних опадів і оцінка їх ролі у формуванні іонного стоку річок і мінеральної частини ґрунтів**

Зона	Сума іонів $\Sigma_i$			
	у атмосферних опадах (середня) по території, мг/л	річних надходжень з атмосферними опадами, $\frac{\text{тис т}}{\text{т/км}^2}$	в сумарному середньорічному іонному стоці річок, $\frac{\text{тис т}}{\text{т/км}^2}$	в мінеральній частині ґрунтів і порід, $\frac{\text{тис т}}{\text{т/км}^2}$
Мішаних лісів	20,6	$\frac{1216}{13,1}$	$\frac{460}{4,9}$ 38*	$\frac{756}{8,2}$ 62*
Лісостепова	26,3 - 27,2	$\frac{3027}{13,2}$	$\frac{938}{4,2}$ 31	$\frac{2089}{9,1}$ 69
Степова	22,95 - 35,1	$\frac{1995}{9,5}$	$\frac{399}{2,1}$ 20	$\frac{1596}{7,4}$ 80
Гірськи Карпати	28,3	$\frac{624}{29,9}$	$\frac{518}{24,8}$ 83	$\frac{106}{5,1}$ 17
Кримська гірська країна	18,5	$\frac{116}{13,8}$	$\frac{98,6}{11,8}$ 85	$\frac{17,4}{2}$ 15
Україна в цілому	-	$\frac{7303}{12,1}$	$\frac{2650}{4,5}$ 36	$\frac{4654}{7,6}$ 64

\* - відсоток від сумарної кількості іонів, що надходять з опадами.



Таким чином, атмосферні опади степів мають меншу, чим інших зон, окисну здатність, загальноокислу агресивність, меншу концентрацію водневих іонів, але більш високу концентрацію неорганічних сполук азоту (у 2-3 рази ніж у Поліссі і Лісостепу).

#### **4.3 Річні надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами та їх вплив на формування хімічного складу річкових вод і ґрунтів**

*Надходження мінеральних речовин з атмосферними опадами на одиницю площі деякої території залежать від кількості опадів.*

З атмосферними опадами надходять: найбільша кількість сірки (від 0,5-0,6 т/км<sup>2</sup> до 1,6-2,6 т/км<sup>2</sup>), менш кальцію (0,3-1,3 т/км<sup>2</sup>), ще менш азоту (0,2-0,4 т/км<sup>2</sup>), концентрація яких зростає з півночі на південь і в іншому напрямку – хлору (понад 1 т/км<sup>2</sup> – на узбережжі Чорного моря).

Річна кількість мінеральних речовин, що надходять з атмосферними опадами (в тис/т і т/км<sup>2</sup>) показані в табл.4.1.

В цілому на територію України щорічно привноситься з опадами 7,3 млн т мінеральних речовин, найбільша частина – в зоні лісостепу (3,03 млн т), найменша – в Закарпатті (0,055 млн т).

Модуль надходження мінеральних речовин (т/км<sup>2</sup>) в цілому по Україні становить 12,1 т/км<sup>2</sup>, по регіонах – 9,5-29,9 т/км<sup>2</sup>, що відображено на карті (рис.3.3) [1].

За величинами надходження з опадами головні іони відносяться:

аніони  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ ;

катіони  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ .

*Величина атмосферної складової в іонному стоці річок України має певне значення. За даними Л.М.Горєва (1989 р.) [5] вона досягає 2,65 млн т, або 4,5 т/км<sup>2</sup> (табл.4.1), збільшуючись від 2,1 т/км<sup>2</sup> в степовій зоні до 24,8 т/км<sup>2</sup> у гірських Карпатах.*

*Величина річних надходжень з опадами мінеральних речовин, які беруть участь у формуванні хімічного складу ґрунтів і порід становить в цілому по Україні 4,65 млн т (при модульній величині – 7,6 т/км<sup>2</sup>), або 64% всіх річних надходжень солей з атмосферними опадами. Найбільша величина становить в лісостеповій зоні (2,09 млн т чи 9,1 т/км<sup>2</sup>), найменша – в Криму (0,017 млн т чи 2 т/км<sup>2</sup>). Дані наведені у табл.4.1.*

### Запитання для самоконтролю

1. Які речовини складають атмосферу Землі?
2. Яку роль відіграють аерозолі при формуванні хімічного складу атмосферних опадів?
3. Які існують джерела утворення аерозолів в атмосферних опадах?
4. Що становить прибуткову і видаткову частину в хімічному балансі атмосфери?
5. Назвіть процеси формування хімічного складу атмосферних опадів.
6. Як змінюється концентрація мінеральних речовин в дощових водах в залежності від кількості опадів і періоду їх випадіння?
7. Дайте загальну характеристику хімічного складу атмосферних опадів?
8. Як розподіляються по території України середні за рік концентрації хімічних компонентів (головних іонів) в атмосферних опадах?
9. В яких умовах утворюються атмосферні опади? Які причини впливають на розподіл нестійких компонентів в різних природних регіонах?
10. Як змінюється по території України річна кількість мінеральних речовин, що надходять з атмосферними опадами?
11. Як співвідносяться головні іони у надходженнях з атмосферними опадами?
12. У яких природних зонах спостерігається найбільша величина атмосферної складової в іонному стоці річок України? Найменша? Середня по території?
13. Як впливає величина надходження розчинених мінеральних речовин з опадами на хімічний склад ґрунтів і порід?

## 5 ГІДРОХІМІЯ РІЧОК

Річки є найбільш рухомою частиною гідросфери. Хімічний склад річкової води та її гідрохімічний режим визначається такими **основними особливостями** (за О.О.Алекінім [4]):

1) швидке змінення води в руслі, внаслідок чого вона короткий час взаємодіє з породами, незначно випаровується;

2) формування хімічного складу води йде в поверхневих добре промитих шарах земної кори;

3) сильна залежність водного режиму від метеорологічних умов;

4) значний вільний обмін води з атмосферою;

5) значний вплив на воду рослинних і тваринних організмів.

Крім того, на формування складу води річок впливають процеси, які відбуваються на водозбірній площі (умови взаємодії з підстильною поверхнею, умови формування ґрунтових вод).

Таким чином, **головні риси хімічного складу** вод річок такі:

- мала, порівняно з іншими поверхневими водами, мінералізація води;
- швидка зміна складу води під дією гідрометеорологічних факторів;
- наявність у воді атмосферних газів;
- інтенсивний вплив біогенних процесів на іонний та газовий режим.

### 5.1 Умови формування хімічного складу річкових вод

Формування поверхневих вод на водозборі відбувається завдяки атмосферним опадам, які поступають на водозбір і перетворюються в поверхневий стік під впливом рослинності, підстилаючої поверхні, ґрунтів, процесів випаровування та фільтрації, ґрунтового живлення, біологічних процесів. Тому постійно рухаючись на поверхні і в ґрунті, вода весь час змінює свій хімічний склад, який стає відмінним від хімічного складу потрапляючих на водозбір атмосферних опадів.

Зміна мінералізації і складу річкових вод має сезонний характер, що пов'язане зі зміною впродовж року ролі різних видів живлення річки.

При збільшенні поверхневого стоку мінералізація води знижується, а при його зменшенні і збільшенні ґрунтового живлення вона зростає. Тому під час водопілля та паводків мінералізація буває мінімальною, а під час межени (літньої чи зимової) досягає найбільших величин, завдяки розвантаженню водоносних горизонтів у русла річок. Підземні води мають підвищену мінералізацію і різний хімічний склад, який зумовлений геолого-гідрологічними особливостями.

На заболочених водозборах поверхневі води дуже маломінералізовані і містять багато органічних гумусових речовин, внаслідок чого вода має жовтий і коричневий колір.

За мінералізацією О.О.Алекін розрізняє чотири групи річок (табл.5.1):

- 1) з малою мінералізацією – до 200 мг/л;
- 2) з середньою – 200-500 мг/л;
- 3) з підвищеною – 500-1000 мг/л;
- 4) з високою – більш ніж 1000 мг/л.

Більшість річок землі мало і середньо мінералізовані.

У наведених групах річок виділяють різні типи вод: річкові води 1 і 2 груп є гідрокарбонатними кальцієвими (іноді  $\text{HCO}_3^-$  і  $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ ). Для 3-ї групи домінуючими є гідрокарбонатний та сульфатний іони, для 4-ї – сульфатний і хлоридний.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад річкових вод

Група	Мінералізація (мг/л)	Тип вод	Домінуючі іони
1	мала (до 200)	гідрокарбонатний кальцієвий (чи магнієво-кальцієвий)	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
2	середня (200-500)		
3	підвищена (500-1000)	гідрокарбонатно-сульфатний	$\text{HCO}_3^- , \text{SO}_4^{2-}$
4	висока (більше 1000)	сульфатно-хлоридний	$\text{SO}_4^{2-} , \text{Cl}^-$

## 5.2 Особливості гідрохімічного режиму річок України в сучасний період

Розгляд сучасних закономірностей розподілу головних іонів і нестійких хімічних компонентів у річкових водах періоду літньої межени, а також особливостей середньорічного хімічного складу вод здійснене на основі даних статистичної обробки та систематизації гідрохімічної інформації за сучасний період (1961-1990 рр.) і в умовах, близьких до природних (1937-1953 рр.), на кафедрі гідрології та гідрохімії в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. Результати виділення однорідних гідрохімічних полів, які характеризуються певним хімічним складом річкових вод, наводяться у вигляді карт і таблиць [1,2].

### 5.2.1 Сучасний хімічний склад річкових вод у період літньої межні

**Зона мішаних лісів.** Основні риси гідрохімічного режиму у природних водах Українського Полісся визначаються такими умовами:

- характер ландшафту з урахуванням господарчої діяльності людини (низинний рельєф, слабкі уклони, малий ерозійний переріз річок);
- помірно континентальний клімат;
- слабкий поверхневий та підземний стік;
- заболоченість;
- неглибоке залягання ґрунтових вод та водоупорів;
- дерново-підзолистий тип ґрунтів та ін.

У межах цієї зони виділено 5 гідрохімічних полів, для яких осереднений склад хімічних компонентів у річкових водах. Основною рисою річкових вод є гідрокарбонатний кальцієвий склад. Відмічається зміна мінералізації з заходу на схід - праві притоки р.Прип'яті мають мінералізацію 355 мг/л, а Ужа і Уборті (праві притоки нижньої частини Прип'яті) - 134 мг/л.

За класифікацією О.О.Алекіна води зони м'які і помірно жорсткі, а також прісні і ультрапрісні. Нестійки компоненти: у теплі пори року води насичені киснем, що створює умови для окиснення. Вміст діоксиду вуглецю і гумусових кислот у воді, а також іонів натрію і калію (в разі забруднення вод стічними водами) призводять до виникнення слабо лужного чи лужного середовища (при значеннях рН до 7,8). В літні та зимові місяці лужність вод знижується.

Неорганічні сполуки азоту потрапляють в великих кількостях з атмосферними та ґрунтовими водами, зі схиловими водами орних земель, промисловими та битовими стоками.

Особливістю поверхневих вод надмірно зволоженої території є великі концентрації заліза у разі потрапляння з водозборів гумусових кислот. Концентрація його збільшується у весняний період за рахунок інтенсивного поверхневого змиву, а в межень - за рахунок збільшення ґрунтового живлення.

**Лісостепова зона.** Основні риси гідрохімічних умов визначаються:

- зміною позитивного балансу вологи відмінним;
- континентальним кліматом;
- різноманітністю рельєфу з глибоким ерозійним перерізом і великими ухилами;
- чорноземними, збагаченими гумусом ґрунтами;
- інтенсивним поверхневим і підземним стоком та ін.

У межах зони виділено 9 однорідних гідрохімічних полів. В західній частині спостерігаються води гідрокарбонатні кальцієві з високою

мінералізацією (383-511 мг/л). Далі на схід в складі води з'являється магній, а на південний схід - і лужні метали. Мінералізація річкових вод змінюється у тому ж напрямку від 408 до 617 мг/л, тобто води повсюди прісні. Особливі умови формування річкових вод відмічені в р.Хорол, де води також гідрокарбонатні, але за катіонами - натрієво-кальцієві, помірно жорсткі.

Води лісостепової зони насичені киснем, для них є характерним слабо лужна та лужна реакція (середні значення рН змінюються від 7,5 до 8).

За складом гідрокарбонатних іонів зону поділяють відносно р. Дніпро на дві частини - право- і лівобережну. В водах правобережжя концентрації  $\text{HCO}_3^-$  найменші (в середньому 260-297 мг/л) і збільшуються до 349-431 мг/л на лівобережжі.

Концентрація іонів амонія рівномірна в водах всіх полів і коливається від 0,1 до 0,56 мг/л. Найбільший вміст нітритних іонів до 0,4 мг/л, а нітратних - в середньому до 0,6 мг/л (праві притоки Дніпра і басейн Південного Бугу). Сполуки заліза значно менші (у 2-3 рази), ніж у водах зони мішаних лісів, але все ж таки спостерігається його збільшення у західному напрямку.

Склад органічних речовин в водах зони коливається від 5,3 до 13,5 мг/л, однак спостерігається зріст органіки у лівобережної частині р. Дніпра.

**Степова зона.** Основні риси гідрохімії природних вод зони визначають:

- від'ємний баланс вологи;
- значні теплові ресурси;
- відносно м'який клімат;
- засолонцовані ґрунти;
- глибоке залягання рівня ґрунтових вод;
- слабо розвинута річкова мережа;
- значна кількість безстічних територій;
- часті засухи, пильні бурі.

На відміну від зони мішаних лісів і лісостеповій зони, визначальними в складі вод степової зони є 2-3 аніона і 2-3 катиона. Перше місце серед аніонів належить повсюдно  $\text{SO}_4^{2-}$ . Серед катионів на першому місці лужні метали. Взагалі ж у степовій зоні переважають води сульфатно-хлоридного натрій-кальцієвого, натрій-магнієвого або натрій-кальцієвого-магнієвого, т.е змішаного катіонного складу. Річкові води степової зони у своїй більшості солонуваті, дуже жорсткі і жорсткі.

Хімічний склад вод формується в менш окисній обстановці, чим в інших зонах, в умовах слаболужного і лужного середовища. Середні, статистично оцінені, значення водневого показника в річкових водах

літньої межні складають 7,6-8,0 при фонових значеннях, що коливаються від 7,2 до 8,7. Подібна реакція обумовлена інтенсивними процесами фотосинтезу у водах, а також переваженням кальцію, натрію і гідроксильних іонів у ландшафті в цілому й особливо в ґрунтах, які представлені чорноземами і каштановими різницями.

Лужні води спостерігаються у водотоках Причорномор'я, що обумовлено суцільним розвитком на цій території солонців, солонцюватих і засолених ґрунтів, які поставляють у води додаткове в порівнянні з іншими річками кількість іонів натрію в результаті зливогого і поверхнево-схилового стоку атмосферних опадів. Низькі концентрації водневих іонів, що спостерігаються у водах Приазов'я і правих приток Північного Дінця, значною мірою обумовлені скиданнями шахтних і рудних вод у річки і ставки. Лужне середовище вод обумовлює легку окиснюваність хімічних елементів, їхню добру міграцію.

По утриманню вільного оксиду вуглецю у водах територія степової зони ділиться на різко відмінні частини - правобережну і лівобережну. На лівобережжі спостерігаються підвищені утримання у воді  $\text{CO}_2$ , максимальні середні концентрації яких у водах лівих приток Сіверського Дінця складають 93,1 мг/л, а також у Приазов'ї - 24-26 мг/л. Верхня межа фонових значень досягає 172 мг/л. У поверхневих водах правобережної частини зони концентрації вільного оксиду вуглецю дуже незначні і коливаються від аналітичного нуля до 10 мг/л при середніх значеннях, які не перевищують 2мг/л.

Однією з особливостей гідрохімічної обстановки в поверхневих водах степової зони є підвищений вміст нітратів, середні концентрації яких у водах правих притоках Сіверського Дінця досягають 1,9-9 мг/л, у Приазов'ї -1,5 мг/л и в лівих притоках Сіверського Дінця -1 мг/л. У водотоках інших територій зони концентрації  $\text{NO}_3^-$  також досить високі. Пояснюється це впливом антропогенних чинників (розораність земель, хімічні меліорації, промислові і побутові стоки). Верхні фонові значення концентрацій цього інгредієнту у водах лівобережної частини зони досягають 23-27 мг/л, що для вод інших зон цілком не властиво. Особливістю хімічного складу річкових вод зони є знижені в порівнянні з іншими зонами концентрації заліза, середні значення котрих скрізь менше 0,3 мг/л, причому мінімальні концентрації спостерігаються у водах річок басейнів Сіверського Дінця.

Вміст органічних речовин у річкових водах степової зони в кількісному відношенні такий самий, як й у водах інших зон. У перекладі на вуглець середні концентрації органіки складають 5,7-12,7 мг/л при фонових значеннях рівних 0,0-22,0 мг/л; проте спостерігаються дещо знижений вміст органічних речовин у лівобережній частині зони (5-10 мг/л) стосовно правобережної (11 мг/л).

**Кримська гірська країна.** Хімічний склад вод Гірського Криму змінюється від гідрокарбонатного кальцієвого (Передгірна область і області Головної гірської гряди) до гідрокарбонатно-сульфатного кальцієвого (басейн р.Качи) і далі до гідрокарбонатно-хлоридного кальцієво-натрієвого (верхів'я Салгира). Мінералізація змінюється від 181 до 1351 мг/л, укладаючи в середньому 321-690 мг/л.

**Карпатська гірська країна.** У південно-східній частині річкових вод Передкарпаття переважають гідрокарбонати і сульфати, хлориди - у басейні р.Свічі. У Гірських і Вулканічних Карпатах води гідрокарбонатні кальцієві, проте в басейні Ужу, Бистриці, Ломниці і Свічі води є гідрокарбонатними, сульфатними і хлоридними. Середня мінералізація вод змінюється від 210 до 322 мг/л. Річкові води Закарпатської рівнини звичайно гідрокарбонатні кальцієві, рідше магнієві (р.Ріка), мінералізація в середньому не досягає 200 мг/л.

### 5.2.2 Сучасний середньорічний хімічний склад річкових вод

**Зона мішаних лісів.** Річкові води зони гідрокарбонатно-кальцієві з середньою мінералізацією, яка коливається від 164 мг/л (басейни р.Уж, р.Уборть) до 354 мг/л (басейн Десни, без рр. Сейм, Остер і Снов). В середньому по території  $\Sigma_i$  дорівнює 258 мг/л.

Відносно умов, близьких до природних, тобто гідрохімічного фону, сучасний хімічний склад і мінералізація вод зони мало відрізняється. Лише для р.Західний Буг відзначено максимальну мінералізацію (512 мг/л), що на 38% більше ніж у природних умовах.

**Лісостепова зона.** Порівняно з фоновим у хімічному стані води відзначені певні зміни: зростання середньорічної мінералізації, концентрацій іонів  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  і  $\text{SO}_4^{2-}$  для більшості річок зони. Наприклад, в басейні р.Дністра кальцієва група змінилась на сульфатно-кальцієву, а загальна мінералізація збільшилась від 9-14% до 9-28%. В середньому по території зони середньорічна  $\Sigma_i=541$  мг/л.

**Степова зона.** Відносно фонових гідрохімічних умов практично повністю змінилися класи чи групи вод. За рахунок збільшення іонів  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  і  $\text{SO}_4^{2-}$  зросла мінералізація вод в 2,1-4,2 рази (басейни лівих приток Дніпра, Сіверського Дінця, річок Приазов'я). Середньорічний хімічний склад вод  $\Sigma_i=1747$  мг/л. Тип води в басейні р. Сіверський Донець змінився з гідрокарбонатно-сульфатного на хлоридно-сульфатний.

**Гірські країни.** Хімічний склад річкових вод порівняно з фоновим, практично не змінився. Винятком є річки Передкарпаття, де гідрокарбонатний кальцієвий склад води змінився на гідрокарбонатний кальцієво-магнієвий при збільшенні мінералізації на 10%. Сучасний



середньорічний хімічний склад річкових вод коливається від 115 мг/л (Кримська гірська країна) до 178 мг/л (Гірські Карпати) і 309 мг/л у Передкарпатті.

На основі аналізу хімічного складу і типу річкових вод на території України зроблені [2] такі висновки:

- хімічний склад річкових вод рівнинної частини України має чітку гідрохімічну зональність: зміна хімічного складу і збільшення мінералізації від західних і північно-західних областей до східних і південно-східних областей;

- гідрохімічна зональність практично збігається з фізико-географічними зонами, незалежно від напрямку течії річок.

У зоні мішаних лісів поширені прісні гідрокарбонатні кальцієві води.

Лісостепова зона – в західних частинах поширені прісні гідрокарбонатні кальцієві води, які при просуванні на схід переходять у гідрокарбонатні кальцієво-магнієво-натрієві, а далі на межі зі степовою зоною - з'являються у помітних кількостях і сульфати.

У степовій зоні переважають сульфатно-хлоридні води змішаного катіонного складу.

Великі річки (Дніпро, Південний Буг, Дністер, Сіверський Донець) – спостерігається гідрохімічна зональність: збільшення від верхів'їв до гирла сульфатів і хлоридів лужних металів, але ця закономірність не так чітко відповідає фізико-географічним зонам.

Гірські країни – не просліджується зональність, у річках переважають прісні гідрокарбонатні кальцієві води.

- Відзначаються суттєві зміни у сучасному середньорічному хімічному складі річкових вод лісостепової і степової зон порівняно з фоновими (природними) умовами, що викликано антропогенним фактором – зростанням іонів натрію, хлору, сульфатів, магнію.

- Гідрохімічна зональність річкових вод зберігається в усі пори року, в середньому за рік і багаторічний період як у природних умовах, так і при антропогенному впливі, який пов'язаний з господарською діяльністю людини.

Умови формування хімічного складу річкових вод і характеристика гідрохімічного режиму по басейнах річок Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Дніпра та ін. наведено в [2].

### **5.3 Гідрохімічні особливості гирлових областей річок**

*Гирлова область* – це ділянка впадіння річки у водойму з природним комплексом, структура і формування якого регулюється

гирловими процесами: взаємодією і змішуванням вод річки і водойми (моря, озера), відкладанням річкових і морських наносів.

Гирлову область річки розглядають у двох частинах:

- гирлову ділянку річки (з дельтою), де переважає річковий гідрологічний режим, але активно впливає море;
- гирлове узмор'я, де переважає морський гідрологічний режим, але активно впливає річка.

Ці частини розділяються морським краєм дельти чи вершиною лиману. Прикладом системи річка-ліман-море є район Північного Причорномор'я – річки Дунай, Дніпро, Дністер і Південний Буг, які утворюють в гирлових ділянках лимани Дністровський, Бузький, Дніпровський.

Дослідження гідрологічного і гідрохімічного режиму вод в цьому регіоні проведені в Інституті гідробіології НАН України [7] та в Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка [1,2].

Основним чинником, який зумовлює сольовий режим гирлових ділянок річок є гідрологічний режим річки. Збільшення водного стоку річки, яке відбувається навесні і у теплий період року, зумовлюється притокою зверху маломінералізованої (талої і дощової) води. В холодні зимові місяці приплив цієї води зменшується, а мінералізація підвищується (гирлова область Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Дніпра). Мінливий, нестійкий гідрологічний режим р.Дністра, для якого максимальний стік може спостерігатися в різні місяці року призводить до нестійкого режиму солоності води Дністровського лиману.

Другим чинником формування хімічного складу вод гирлових областей річок є згінно-нагінні явища, під час дії яких солена морська вода може потрапляти у річки. Більш виражені ці явища в гирлових ділянках (Південного Бугу, Дніпра) і лиманах (Дністровському, Дніпровсько-Бузькому), меншу роль нагони відіграють у гирлі Дунаю та Дністра.

Ще одним з факторів сольового складу води в лиманах, особливо на мілководдях, є вітри, які викликають перемішування у товщі води. Так, у Дністровському лимані, який є мілководною водоймою, під впливом вітрового перемішування вода, як правило, по всій товщі має однакову солоність.

Зарегулювання стоку на річках не стільки впливає на мінералізацію вод, скільки порушує сезонні її коливання пов'язані з режимом річкового стоку. Так, в гирлових областях р. Дніпро (від Каховського водосховища до м.Херсон) сезонні коливання мінералізації визначаються перерозподілом стоку, зумовленим режимом роботи Каховської ГЕС.

Для лиманів солоність води залежить також і від міста розташування району лиману відносно моря (Дністровський, Дніпровсько-Бузький лимани).

Особливості хімічного складу води в гирлових районах річок північного берега Чорного моря наведені в табл.5.2.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Які основні особливості гідрохімічного режиму річкових вод?
2. Як відрізняються умови формування хімічного складу річкових вод у різні сезони року?
3. Які виділяють групи річок за мінералізацією та типом вод?
4. Як змінюється тип річкових вод і їх мінералізація у період літньої межени у різних географічних зонах України?
5. Дайте порівняльну характеристику сучасного середньорічного хімічного складу річкових вод України відносно фонових (природних) умов у різних географічних зонах.
6. Дайте загальну характеристику гідрохімічної зональності річкових вод України.
7. Які основні чинники зумовлюють хімічний режим гирлових областей річок?
8. Як змінюється загальна мінералізація і хімічний склад води в гирлових районах Північного Причорномор'я?

**Таблиця 5.2 – Характеристика хімічного складу вод в гирлових областях річок**

Гирлова область (лиман)	Загальна мінералізація вод $\Sigma_i$ , мг/л	Хімічний склад води (тип води)	Вміст у воді $O_2$ , мг/л	Рівень рН	Вміст біогенних речовин у воді, мг/л				
					$NH_4^+$	$NO_2^-$	$PO_4^{3-}$	Si	Fe
Гирлова ділянка Дунаю	230-350-400	Гідрокарбонатні групи кальцію	8-12	7,6-8,4	0,02-0,6	0,02-0,03	0,01-0,1-0,2	2-8	-
Гирлова область Дністра	220-490, 560-680	Гідрокарбонатні групи кальцію	5-13	7,8-8,5	0-1	0-0,04	0,01-0,1	1,5-10	0,1-0,3
Дністровський лиман	800-1000	-	7-10-13	8,1-8,9	0-0,4	0-0,02	0-0,08	1-5	-
Гирлова область Південного Бугу	348-780	Гідрокарбонатно-кальцієві; хлоридно-натрієві	-	-	1,30	-	0-0,2	-	0,10-0,60
Гирлова область Дніпра	240-1200	Гідрокарбонатно-кальцієві	1-18	6-9,3	0,02-1,82	0,005-0,50	0-0,82	-	0-1
Дніпровсько-Бузький лиман	1870-3573	-	0-30,8	8,8-9,2	0,44-0,75	-	0,074-0,123	-	0,10-0,13

## 6 ГІДРОХІМІЯ ВОДОСХОВИЩ

**Водосховища** – це штучно створені водойми, які характеризуються слабкою проточністю і великим об'ємом води. Важливою особливістю водосховищ є те, що регулювання запасами води в них здійснюється за допомогою спеціальних інженерних споруд.

Водосховища систематизуються за такими ознаками, як генезисом, географічним положенням, розмірами, конфігурацією, глибиною, термічним режимом, водообміном та іншими.

Водосховища можуть бути розташовані в долинах річок, перегороджених греблями, озера-водосховища, в місцях виходу ґрунтових вод, прибережних ділянках моря або ж бути наливними.

### 6.1 Формування гідрохімічного режиму водосховищ

Формування гідрохімічного режиму водосховищ відбувається під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників. До перших відносяться: стік річок, які живлять водосховище, характер ґрунтів і рослинності на водозборі, атмосферні опади, антропогенний вплив. Роль другого чинника відчутна з самого початку процесу зарегулювання річки, коли змінюється водний і хімічний режим водотоку.

При заповненні водосховища затоплюються значні площі водозбору. Під водою йдуть активні процеси розкладання залишків рослинності. Змив побутових, промислових, сільськогосподарських забруднень, вимивання солей з ґрунту і формування нових ґрунтів дна водосховища призводять до надходження у води великої кількості розчинних мінеральних і органічних речовин, які змінюють хімічний склад води.

Більша частина водосховищ має води невисокої і помірної мінералізації. Гідрокарбонатні води переважають в водосховищах лісової і лісостепової зон, сульфатні – у південній частині лісостепу і степовій зоні, хлоридні і хлоридно-сульфатні – в напівпустелях.

В цілому хімічний склад води водосховища залежить в першу чергу від складу вод річок, які наповнюють водосховище. Менш за все при цьому змінюється загальна мінералізація вод і співвідношення між головними іонами, більше – нестійкі біогенні і органічні компоненти вод водосховищ. Після заповнення водосховища, через деякий час настає сольова рівновага, яка може порушуватися сезонними коливаннями притоку річкових вод (для великих водосховищ), а також надходженням ґрунтових вод, опадів на дзеркало водосховища, втрат води при інфільтрації та випаровуванні, льодоутворення, витратою води на господарські потреби (для малих водосховищ). Крім того, вміст багатьох інгредієнтів неоднорідний по площі акваторії і глибині водосховища, на

відміну від річки; неоднаковий він і для водосховищ розміщених на північ і на південь, малопроточних і проточних; різний він і у різні за водністю роки.

Загальні закономірності формування гідрохімічного режиму водосховищ розглянуті О.І.Денисовою та ін. (інститут гідробіології НАН України) на прикладі каскаду дніпровських водосховищ.

### **1.3 Гідрохімічний режим водосховищ дніпровського каскаду**

Водосховища дніпровського каскаду розміщені в трьох природних зонах: мішаних лісів (Київське,  $W= 3,73 \text{ км}^3$ ), лісостепу (Канівське,  $W= 2,62 \text{ км}^3$  і частково Кременчуцьке), степу (Кременчуцьке,  $W=13,5 \text{ км}^3$ , Дніпродзержинське,  $W= 2,45 \text{ км}^3$ , Запорізьке або Дніпровське,  $W= 3,3 \text{ км}^3$ , Каховське,  $W= 18,2 \text{ км}^3$ ).

Роль поверхневого стоку в формуванні режиму найбільш відчутна у верхньому водосховищі (Київському), де акумулюється стік таких крупних приток Дніпра як рр.Березина, Сож, Прип'ять. Річковий стік тут становить  $28,9 \text{ км}^3$ . Вниз по каскаду роль цього фактору поступово знижується:  $11 \text{ км}^3$  – в Канівському,  $2,5 \text{ км}^3$  – в Кременчуцькому, менш ніж  $0,1 \text{ км}^3$  – в інших. При цьому зростає роль внутрішніх процесів у формуванні гідрохімічного режиму водосховищ.

#### ***Іонний склад і мінералізація***

Положення водосховищ в каскаді та особливості їх гідрологічного режиму значно впливають на сезонну і багаторічну динаміку мінералізації води і вмісту головних іонів.

При експлуатації каскаду дніпровських водосховищ суттєвих змін у мінералізації і концентрації головних іонів не спостерігається [8]. Так мінералізація дещо зростає від  $380 \text{ мг/л}$  у Київському водосховищі до  $450 \text{ мг/л}$  – у Каховському.

Домінуючим катіоном у воді Дніпра і його водосховищ є  $\text{Ca}^{2+}$ , аніоном –  $\text{HCO}_3^-$ . Абсолютний і відносний вміст інших іонів значно менший.

Річна амплітуда коливань мінералізації і концентрації головних іонів у водосховищах значно менша ніж у річці. Найбільша амплітуда коливань характерна для Київського водосховища, найменша – для Каховського.

В проточних Київському і Канівському водосховищах спостерігається сезонна динаміка іонного складу води, зумовлена гідрологічним режимом річок Дніпра і Прип'яті. Мінімальна мінералізація ( $120\text{-}140 \text{ мг/л}$ ) спостерігається під час високих вод – в період весняного

водопілля (квітень - травень). У літній період вона підвищується (200 – 300 мг/л), а максимальних значень (350-400 мг/л) досягає зимою і ранньою весною. У Кременчуцькому водосховищі мінімум мінералізації спостерігається у серпні – жовтні.

У водосховищах, розміщених нижче за течією Дніпра (Дніпродзержинському, Запорізькому, Каховському) мінімальна мінералізація характерна для зими, максимальна – для весняного періоду. Такий режим іонного стоку пов'язаний з зарегулюванням річного стоку водосховищами, розміщеними на північ.

Для великих водосховищ дніпровського каскаду характерна рівномірна по глибині мінералізація і концентрація окремих іонів. На рівень мінералізації значний вплив має водність року. Так, у багатоводні і середні за водністю роки вона нижча, ніж у маловодні.

Незважаючи на сезонні та інші зміни концентрації іонів у воді водосховищ, їх співвідношення для кожного водосховища залишається постійним: для катіонів -  $Ca^{2+} > Na^{+} + K^{+} > Mg^{2+}$  і аніонів -  $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-} > CO_3^{2-}$ .

### ***Розчинені гази і рівень рН***

Формування газового складу вод водосховищ відбувається під впливом багатьох факторів, таких як вітрове перемішування і циркуляція водних мас, фізико-хімічні і біологічні процеси, взаємодія води з ґрунтами, життєдіяльність водних організмів, утворення органічної речовини, господарська діяльність. Інтенсивність впливу цих факторів різна у різні пори року. В теплий період року і на початку літа основним процесом є фотосинтез рослинних організмів, який збагачує воду розчиненим киснем. У другій половині літа переважають процеси окиснення, які знижують вміст  $O_2$  і збільшують концентрацію  $CO_2$ .

Розчинений кисень є одним з важливих гідрохімічних показників інтенсивності окисно-відновних біохімічних процесів.

У перші роки існування водосховища найбільший вплив на газовий режим мають процеси розкладу рослинності, окиснення органічних речовин. При цьому витрачається велика кількість  $O_2$ , що призводить до недостатку кисню у придонних шарах (вміст  $O_2$  близький нуля). Поверхневий шар води постійно збагачується киснем і його вміст досягає 23,5 мг/л (290% насичення).

На вміст в воді розчиненого  $CO_2$  впливають процеси фотосинтеза та інші біохімічні процеси. Обіднення води  $CO_2$  спостерігається влітку при підвищенні температури. Максимальні значення концентрації  $CO_2$  відмічені в зимовий період.

Значення рН змінюються при зміні вмісту  $\text{CO}_2$  і залежать від стану карбонатної рівноваги. Максимальні значення рН (до 9,7) характерні для літа, мінімальні (до 7,0) – для зими.

Найбільш несприятливий газовий режим в водосховищах Дніпра створюється в маловодні пори року (влітку), за рахунок заморних умов, які виникають при тихій погоді, високих температурах повітря і води, розвитку біологічного життя.

У придонних шарах води відбувається накопичення  $\text{CO}_2$  до 5-10 мг/л, іноді й до 20-45 мг/л. При цьому рівень рН знижується до 7,4. В поверхневих шарах – рівень рН підвищується до 8,8-9,7, а концентрація  $\text{CO}_2$  знижується практично до нуля. Встановлюється вертикальна стратифікація вмісту  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  і рН.

Ранньою весною і пізньою осінню внаслідок доброго вітрового перемішування, не значної ролі фотосинтезу стратифікація  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  і рівня рН частіше не спостерігається. Насичення води киснем в цей період становить близько 100%.

У період льодоставу в Київському, Канівському, Кременчуцькому водосховищах спостерігається гострий дефіцит кисню (20-30% насичення), концентрація  $\text{CO}_2$  має максимальне річне значення – до 50-70 мг/л, а рівень рН не перевищує 7-7,2. У добре проточних Дніпродзержинському, Запорізькому і Каховському водосховищах кількість  $\text{CO}_2$  не перевищує 20-25 мг/л.

На режим газового складу ( $\text{O}_2$  і  $\text{CO}_2$ ) впливає також зміна біомаси синє-зелених та інших водоростей – “цвітіння” води, що визвано порушенням екологічної рівноваги в водоймі, підвищенням концентрації азоту і фосфору, слабким водообміном, значним прогрівом води, дефіцитом кисню. Звичайно цей процес відбувається у перші 3-4 роки експлуатації водосховища. У цілому дослідження газового режиму [2] свідчать, що в останні роки у водосховищах дніпровського каскаду спостерігається тенденція зниження “цвітіння”.

Формування складу вод водосховищ залежить від розвитку процесів самоочищення. Під самоочищенням розуміють сукупність усіх природних процесів у забруднених водах, які направлені на відновлення початкових властивостей і складу води. Процесам самоочищення сприяють седиментація (опадонакопичення), розбавлення і розкладання органічної речовини. Однак специфіка водного режиму водосховища (як відстійника) призводить до накопичення в них забруднюючих речовин. На процеси самоочищення суттєвий вплив має теплове забруднення, пов'язане з надходженням теплообмінних вод АЕС і ТЕС.

### ***Біогенні елементи***

Біогенні речовини надходять у водойми з водою річок, атмосферними опадами, промисловими і господарськими стічними водами



та ін., накопичуються у водоймі і визначають якість води. Процеси надходження біогенних речовин залежать від місця розміщення водосховища в каскаді. Так на гідрохімічний режим Київського водосховища великий вплив мають притоки верхньої частини Дніпра і Прип'яті, вода яких насичена гуміновими речовинами, амонійним азотом і залізом.

Концентрація біогенних і органічних речовин у воді водосховищ змінюється в різні сезони і роки, за акваторією і глибиною водосховища.

Максимальна концентрація біогенних речовин спостерігається взимку і перед водопіллям, особливо в придонних шарах води, де накопичуються продукти мінералізації органічної речовини. Стратифікація біогенних елементів відмічається і влітку, а весною і восени через більшу циркуляцію водних мас вона зменшується.

Зміст біогенних елементів ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) на мілководдях значно вищий, ніж у глибоководних зонах, внаслідок активних процесів розкладання водної рослинності і уповільненого водообміну на мілководних зонах.

Переважаючою формою азоту у воді водосховищ є амонійний азот  $\text{NH}_4^+$ . Чинниками, які призводять до збільшення концентрації  $\text{NH}_4^+$ , є господарська діяльність людини, зарегулювання річкових басейнів та їх забруднення. Концентрація  $\text{NH}_4^+$  коливається у межах 0,22 до 3,7 мг/л, а в середньому становить 0,22-1,17 мг/л. Найбільший вміст азоту спостерігається у Київському водосховищі внаслідок високої концентрації його у водах Прип'яті. Найбільші концентрації  $\text{NH}_4^+$  спостерігаються у придонних шарах. Більш вираженою є його стратифікація влітку і взимку, а менш помітна вона під час весняного водопілля і восени.

Концентрації нітритів у воді водосховищ ( $\text{NO}_2^-$ ) коливаються від нуля до порядку 0,028 мг/л. Найбільші концентрації нітритів спостерігаються в зимовий і ранній весняний період. Весною і особливо літом їх зміст знижується до нуля. Зараз відмічається стабілізація нітритів у водах дніпровських водосховищ.

Вміст нітратів у воді дніпровських водосховищ ( $\text{NO}_3^-$ ) змінюється від 0 до 3 мг/л. Максимальні його величини спостерігаються зимою, мінімальні – в літній період, коли нітрати інтенсивно поглинаються фітопланктоном. Спостерігається вертикальна стратифікація  $\text{NO}_3^-$  із збільшенням його вмісту в придонних шарах, особливо влітку і зимою. Останніми роками значно збільшилась концентрація  $\text{NO}_3^-$  у воді дніпровських водосховищ внаслідок зниження “цвітіння” води і

покращення кисневого режиму, що сприяє окисненню азоту  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_3^-$ .

Зміст фосфатів у воді дніпровських водосховищ коливається в залежності від сезону року від 0 до 0,95 мг/л. Найбільші концентрації  $\text{PO}_4^{3-}$  спостерігаються у внутрішньокаскадних водосховищах, найменші – у верхньому Київському. Під час весняного водопілля концентрація фосфатів зменшується, а в літній період – значно збільшується і наприкінці літа під час масового розкладання фітопланктону досягає максимальних значень. Стратифікація (у напрямку збільшення) за глибиною слабо виражена весною і восени, але достатньо помітна літом і зимою. Зараз вміст фосфатів в Київському водосховищі стабілізувався, в інших – відмічена тенденція його зростання.

Створення водосховищ зменшило концентрацію заліза ( $\text{Fe}^{2+}$ ) у воді порівняно з вмістом його у Дніпрі. Його значення в останні роки не перевищують 2 і 1,2 мг/л. Вміст заліза у воді залежить від сезону і водності року, глибини і місця розміщення водосховища в каскаді. Так, в Київському водосховищі вміст заліза високий в усі пори року. У каскаді водосховищ відбувається седиментація  $\text{Fe}^{2+}$  і його акумуляція в донних відкладах. У літній період його вміст знижується за рахунок інтенсивних біологічних процесів, в результаті яких розчинене залізо переходить в завислий стан. Спостерігається стратифікація вмісту заліза із збільшенням у придонних шарах.

Органічні речовини містяться у дуже малих кількостях і тому важко з достатньою достовірністю оцінити їх компонентний склад.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Під дією яких чинників формується гідрохімічний режим водосховищ?
2. Як впливає склад річкових вод, які наповнюють водосховище на його хімічний режим?
3. У чому особливості каскаду дніпровських водосховищ? Як проявляються в них зовнішні і внутрішні чинники при формуванні складу води?
4. Який гідрохімічний режим спостерігаються в водосховищах дніпровського каскаду?

## 7 ГІДРОХІМІЯ ОЗЕР

### 7.1 Умови формування хімічного складу вод озер

**Озера** – це здебільшого природні утворення, які на відміну від відкритих систем – річок, є напівзамкненими або повністю замкненими системами і являють собою акумулятори мінеральних і органічних речовин.

Мінералізація води озер, на відміну від річок, змінюється в дуже широких межах: від дуже низьких значень – кілька десятків мг/л (близько до дощової води) до дуже високих – 300-350 мг/л (солоні озера, з розсоллом, насичені солями).

Основним фактором, який зумовлює мінералізацію і хімічний склад води озера є **проточність озера**. За цією ознакою озера поділяються на три групи: проточні, безстічні і проміжного типу (тимчасово стічні).

**Проточні озера**, характерні для зони надлишкового зволоження, є прісними (за класифікацією О.О.Алекіна), мають невелику мінералізацію (до 1 ‰) – близько до середньої мінералізації їх приток.

**Безстічні озера**, які формуються в посушливих кліматичних умовах, є солоними, мають підвищену мінералізацію (понад 25 ‰) за рахунок сильного випаровування стоячих вод і мінералоутворення, випадіння солей (мінералів) з води озера.

**Тимчасово стічні озера**, поширені в областях недостатнього зволоження, є солонуватими (до 25 ‰). Частина солей, що потрапляє в озеро, виноситься і тому безперервного їх накопичення не відбувається.

В Україні налічується близько 20 тис. озер. Найбільш поширені озера, які виникли внаслідок ерозії. Це заплавні озера в басейнах Дніпра, Десни, Прип'яті, Сіверського Дінця. Зустрічаються такі озера і в Українських Карпатах. Поширені в Україні і карстові озера (озера Кримської Ялти, межиріччя Західного Бугу і Прип'яті).

На півдні України зустрічаються озеровидні водойми – лимани, які утворилися внаслідок пониження морського узбережжя.

У Карпатах поширені завальні озера, утворені при гірських обвалах, які перегородили гірські річки.

**Гідрологічний і гідрохімічний** режими заплавних озер залежать від режиму річок, з якими вони пов'язані. Рівень озер має два максимуми за рік (весною і восени) і два мінімуми (літній і зимовий). Сезонні коливання рівнів карстових озер не такі значні і становлять 0,3-0,5 м.

**Термічний режим** озер залежить від кліматичних умов, глибини та умов живлення, рослинності.

**Утворення льоду** на озерах починається в листопаді-грудні за статичним типом, а руйнування – в березні.

## 7.2 Хімічний склад вод прісних озер

Згідно з біологічною класифікацією прісноводні озера поділяють на евтрофні, мезо-, оліго- та дистрофні.

**Евтрофні** (високопродуктивні) - це неглибокі рівнинні озера з великим надходженням біогенних елементів. В Україні їх переважна більшість, особливо серед заплавлених.

**Оліготрофні** озера містять мало біогенних елементів (гірські озера Карпат і Криму), а **мезотрофні** займають проміжне положення між оліго- та евтрофними.

**Дистрофні** (малопродуктивні) озера часто заболочені, з торф'яними викладами на дні. У воді мало біогенних елементів, в них часто немає риби із-за бідності планктону і бентосу. Дистрофні озера є в північно-західних областях, у басейні Прип'яті.

Для прісних озер характерні хімічні особливості, як і для річкових вод, типовий такий порядок розподілу головних іонів:  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ;  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ . Але при підвищенні мінералізації до 500-1000 мг/л в озерній воді переважають гідрокарбонатні іони, понад 1 ‰ - сульфатні, а при 3-5 ‰ - сульфатні і хлоридні. Домінуюча роль  $\text{Ca}^{2+}$  зберігається лише до 1-2 ‰, при подальшому рості мінералізації переважають іони натрію. За хімічним складом більшість прісних озер є гідрокарбонатними кальцієвими.

Гідрохімічний режим озера зумовлюється факторами: розмірами озера, його площею, глибиною і конфігурацією.

Найважливіші компоненти хімічного складу – гідрокарбонати і сульфати – включаються у водах озер в біологічний кругообіг, при цьому утворюються вуглець і сірка, змінюється карбонатна і сульфатна рівновага.

Типовими прісними озерами в Україні є Шацькі озера, які розташовані в межиріччі Західний Буг - Прип'ять у широких заболочених низовинах і є в основному мілководними водоймами з плоским рівним дном і глибиною не вище 7 м. Найбільш глибокі озера – Світязь, Пулемецьке, Пісочне (глибини досягають 20-50 м).

За матеріалами експедиції Київського університету [2] мінералізація вод невелика (132 –199 мг/л), склад гідрокарбонатно-кальцієвий. Реакція вод слаболужна (рН 7,7-7,9), води мають незначні концентрації мінеральних сполук азоту,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  - немає. Твердість вод становить 1,3-1,7 ммоль/л.

Придунайські заплавні озера – значна група озер, які розташовані в нижній течії Дунаю в Одеської області. Найбільшими з них є озера Ялпуг, Кагул, Кугурлуй, Катлабух, Китай. Середні глибини в озерах становлять 1-

7 м, усі озера витягнуті з півночі на південь і примикають до Дунайської заплави.

У період весняного водопілля води Дунаю заповнюють озера, а в межень вода з озер надходить у Дунай через природні протоки і штучні канали. Невеликі степові річки, які впадають в озера, маловодні і мало впливають на їх рівень.

Водна маса всіх озер зазнає вітрового перемішування, максимальна прозорість води спостерігається влітку у тиху погоду.

Мінералізація придунайських заплавних озер зумовлена водообміном з Дунаєм – у озерах, розташованих нижче за течією і менше пов'язаних з рікою мінералізація вища, ніж у озерах вищих за течією. Сумарна концентрація головних іонів змінюється від 1316 мг/л в озері Ялпуг до 460 мг/л в оз.Кагул.

Під час надходження річкової води у Кагул, Кугурлуй, Ялпуг, Соф'ян і Катлабух мінералізація мінімальна (225-390 мг/л), а загальна твердість – 2,9-3,8 ммоль/л, склад води гідрокарбонатно-кальцієвий.

Взимку мінералізація в цих озерах збільшується до 0,5-1,5г/л, а твердість – до 5-13 ммоль/л. При цьому склад води в Кагулі і Кугурлуї гідрокарбонатно-кальцієвий, а в Ялпузі, Соф'яні, Катлабусі – сульфатно-натрієвий.

Вміст біогенних речовин у воді придунайських озер такий: сполуки азоту  $\text{NH}_4^+$  найбільші в озері Соф'ян – 0,850 мг/л, найменші в озерах Ялпуг і Кугурлуй – 0,336-0,338 мг/л,  $\text{NO}_3^-$  змінюється від 0,472 мг/л (оз.Китай) до 0,070 мг/л (оз.Соф'ян). Склад фтору  $\text{PO}_4^{2-}$  змінюється у межах 0,030-0,089 мг/л, заліза Fe - 0,111-0,194 мг/л, силіцію Si - 2,4-4,2 мг/л.

### 7.3 Хімічний склад вод солонуватих і соляних озер

Солонуваті озера (мінералізація від 1 до 25 ‰) створюються в областях недостатнього зволоження – сухих степах, напівпустелях і пустелях. Солонуваті озера можуть бути напівпроточними і безстічними. Хімічний склад озерної води суттєво відрізняється від складу води річок, які живлять озеро. У солонуватому озері вода піддається випаровувальному концентруванню, що сприяє зміні співвідношення головних іонів і зміні хімічного складу води. В процесі концентрування солей відбувається їх частковий випад в осад.

Соляними озерами (за А.М.Никоноровим) називаються такі озера, вміст солей у водах яких близький до вмісту солей в океанічній воді, з мінералізацією 25-35 ‰ і вище.

В соляних озерах містяться різні солі, які надають воді гірко-солонуватий і гіркий смак. Соляні озера також мінеральні, бо їх розсоли використовують в медицині.

В соляних озерах концентрація солей настільки близька до насичення, що подальше її зростання може привести до кристалізації (садки солей) – такі озера називаються самосадочними.

Воду озера, яка є насиченим розчином солей при високій концентрації, називають розсолом або ропою, а озеро – ропним. Мінералізація ропного озера весь час змінюється під впливом гідрометеорологічних факторів. Найменша концентрація ропи спостерігається на початку весни, максимальна – наприкінці літа. Випадіння солей спостерігається влітку, а іноді взимку та інші пори року.

За своїм походженням мінеральні озера поділяються на морські – утворилися на місці заток і лиманів, які відокремились від моря, і материкові, які живляться річками і ґрунтовими водами.

Прикладом морських озер є озера-лимани Причорномор'я в межиріччі Дунай-Дністер-Дніпро, деякі з них – Сасик, Шагани, Алібей, Хаджибейський, Куяльницький, Тилігульський, Березанський.

Утворення лиманів пов'язане з режимом рівнів води моря і процесами коливання прибережної ділянки суші.

Гідрохімічний режим більшості лиманів пов'язаний з водним режимом. У верхніх частинах лиманів води менш мінералізовані (2-5 г/л) завдяки постійному впливу прісного стоку річок. Основна маса вод озер має мінералізацію 20-30 г/л. Склад вод хлоридно-натрієвий, динаміка показників хімічного складу води має сезонний характер.

Солоні озера-лимани Причорномор'я використовуються для видобування солі.

Найбільш цінними видами ресурсів лиманів є лікувальні грязі і ропи лиманів, яка містить хлористий натрій, хлористий і сірчанистий кальцій, сірчаноокислий магній, йодисті речовини. Мулові грязі, що мають лікувальні властивості, є у всіх лиманах. Велику цінність мають грязі Куяльницького і Шаболотського лиманів, а також їхні мінеральні хлоридно-натрієві води.

Соляні озера є й у Криму (понад 50-ти). Вони є крупними джерелами солей і бальнеологічних грязей. Високі температури повітря і ропи, низька вологість повітря призводять до інтенсивного випаровування і підвищення концентрацій розсолів в основному в період з травня до жовтня. Встановлено [1,2], що річне випаровування води в 1,2 – 1,3 рази більше, ніж об'єми соляних водойм.

## 7.4 Хімічний склад вод у ставках

Вивченню закономірностей формування хімічного складу води у ставках і малих річках присвячені дослідження Г.Д.Коненко [9].

Хімічний (іонно-сольовий) склад ставків і малих водойм на території України відрізняється значною різноманітністю у різних фізико-географічних зонах і районах України: Полісся, лісостепова зона, різнотравний Північний та посушливий Південний степ, гірськи і передгірськи райони Криму і Карпат.

На формування хімічного складу води впливають, крім регіональних, антропогенні чинники. Найбільшою концентрацією сульфатів і хлоридів від забруднення шахтовими водами характеризуються ставки Донбасу та Кривого Рогу. Сезонна динаміка складу головних іонів та мінералізації води ставків обумовлена характером водного балансу цих водойм – долею поверхневого та підземного живлення. За цією ознакою ставки поділяють на “атмосферні” чи наливні і ставки глибоких ярів та балок, які дренують водоносні горизонти. До останніх наближаються також руслові проточні ставки – водойми.

Водойми з “атмосферним” живленням характеризуються:

- у зонах підвищеної вологості (Полісся, гірські райони Карпат і Криму) істотних змін у іонному складі протягом року не відбувається. Води гідрокарбонатні групи кальцію. Мінералізація води в межах не перевищує 24-80 мг/л;
- у лісостеповій зоні протягом року спостерігається підвищення мінералізації води на кінець літа, зменшення концентрації  $\text{HCO}_3^-$  і  $\text{Ca}^{2+}$ ; води гідрокарбонатного класу групи  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ ;
- у степовій зоні хімічний склад вод більш різноманітний. Води гідрокарбонатні групи кальцію і магнію. Склад води залежить від віку ставків: у нових ставках  $\Sigma_i$  не перевищує 350-400 мг/л (ставки Миколаївської області), у старих ставках – досягає 600-800 мг/л.

Водойми з ґрунтовим живленням характеризуються більшою різноманітністю складу води, яка обумовлена різним характером ґрунтів, літологією водозборів, дебітом і хімічним складом підземних вод. Відмічена така регіональність в хімічному складі води ставків:

- у Поліссі мінералізація вод складає 100-300 мг/л і більше до 600-1200 мг/л. Переважають води гідрокарбонатні групи кальцію;
- у лісостеповій зоні склад води у ставках переважно гідрокарбонатно-кальцієвий, утворюються також гідрокарбонатно-магнієві та гідрокарбонатно-натрієві води (лівобережне Придніпров'я), сульфатні води (Західний Лісостеп, Мале Полісся);

- у степових ставках залежно від віку ставків і умов водообміну мінералізація води в межах коливається від 2 до 5 г/л, а в ставках Степового Криму – понад 20 г/л. Води сульфатні та сульфатно-хлоридні (Миколаївська, Херсонська, Запорізька області), хлоридного класу групи натрію (узбережжя оз.Сиваш та морів).

Г. Д. Коненко виконане гідрохімічне районування ставків України, в основу якого було покладено схожість води за складом головних іонів і максимальною (протягом вегетаційного періоду) мінералізацію. Всього виділено дев'ять районів, карта і характеристика районів наведені в [9].

Для визначення закономірностей міграції хімічних елементів у гідросфері, генезису вод, а також для розв'язання конкретних практичних завдань встановлено [9] регіональний розподіл окремих хімічних елементів у воді ставків та малих річок України.

Концентрації основних іонів сольового складу води у ставках змінюється відповідно мінералізації – збільшується в напрямку з півночі на південь. Це в більшій мірі відноситься до таких іонів як хлор, сульфати. Концентрації їх в різних зонах України наведені в табл. 7.1.

Концентрація гідрокарбонатних і карбонатних іонів зумовлена поширенням карбонатних ґрунтів – чорноземів та карбонатних солончаків. У ставках  $\text{HCO}_3^-$  змінюється в широких межах в залежності від ґрунтових і кліматичних умов (табл. 7.1).

Розподіл кальцію у воді ставків пов'язаний з розподілом вапняків, мергелів і гіпсоангідритів.

Концентрація магнію різна і залежить від зміни загальної мінералізації, відображаючи розподіл магнію в ґрунтах.

Розподіл біогенних та органічних речовин в водах ставків і малих водоймів України характеризується меншою регіональністю, ніж розподіл основних іонів, внаслідок природи біогенних елементів та впливу антропогенних чинників. Зокрема, хімізація сільського господарства, застосування мінеральних добрив (змив азоту, фосфору, мікроелементів в водойми), вплив промислових стоків, що надходять у річки та водойми з цукрових, спиртових, азототукових та інших заводів призводять до порушення природного розподілу хімічних елементів у ґрунтах і поверхневих водах. В цілому концентрації біогенних органічних речовин у воді ставків мінімальні влітку, що зумовлено активністю біохімічних процесів завдяки фітопланктону і водоростям, а взимку – ці процеси пригнічені і значення мінеральних сполук біогенних елементів максимальні. Відмічена вертикальна стратифікація біогенних і органічних речовин – нагромадження їх в придонних шарах і відкладах ставків. Середні концентрації амонійного азоту, нітратів і фосфатів у воді ставків наведені в табл. 7.1.



**Таблиця 7.1 – Характеристика хімічного складу вод в ставках і малих річках (за Г.Д.Кононенко [9])**

Зона	Концентрації основних іонів, мг/л					Вміст біогенних речовин у воді, мг/л				Вміст O <sub>2</sub> , % насичення
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fe	
Полісся	5-10	8-10	10-100	30	1,5-6	0,12-3,2	0,1	≤ 0,20	0-1	40-120
Лісостеп	> 20	50-60	350-500- 800	20- 100	20-35- 70	0,25-3,2	0,1	0,26-0,30- 1,5	0-1	> 200
Степ	10-20	50 – 60* 4000 – 5000	350-500- 800	400- 600	10 – 80* 300		2-2,5		0-1	≤ 100
Карпати	5-10				1,5-6	найменші			0-1	100
Закарпаття	5-10	8-10	10-100	30	1,5-6					
Прикарпаття	5-10		200-300							
Крим						найменші			0-1	100
Степовий Крим	10-20			до 1500	2000- 2500					

\* "атмосферні ставки"  


---

 ставки з підземним живленням

Кількість розчиненого у воді ставків кисню пов'язана з їх гідробіологічним режимом – збільшення водоростей збагачує воду киснем внаслідок фотосинтезу, проте витрати кисню на окиснення органічних речовин і на дихання призводить до негативного балансу кисню у ставках.

Автором [9] здійснена класифікація малих водойм України на основі їх гідрохімічної характеристики. В основу такої схеми покладено характер водозборів, характер водопостачання водойм, господарське використання. У межах ландшафтних зон України виділено *типи водозборів* за типовими ознаками хімічного складу води у водоймах. У межах водозборів виділено *групи* водойм за характером живлення і господарським призначенням:

1. Руслівні водойми і великі ставки, споруджені в руслах малих річок, проточні водойми; використовуються комплексно в різних галузях господарства.

2. Наливні водойми і ставки – обваловані або копані водойми, що наповнюються водами річок і озер; використовуються для питного і технічного водопостачання, ставки – для розведення риби.

Водойми перших двох груп найбільш характерні для зони надлишкового зволоження – Полісся, Західного і Правобережного Лісостепу, гірських країн Криму і Карпат.

3. Ставки на джерелах – водойми, споруджені в балках, що живляться підземними водами. Це невеликі проточні ставки, які використовуються комплексно в різних галузях господарства; характерні для районів розвитку карсту і глибокої ерозії.

4. Ставки атмосферного живлення, розташовані в сухих балках, які наповнюються поверхневими весняними водами або під час літніх злив – непроточні водойми, розташовані поблизу сіл; використовуються комплексно в різних галузях господарства; характерні для степових районів України, де вони є джерелом побутового і господарського водопостачання.

Для класифікації малих водойм України були прийняті [9] екстремальні (за вегетаційний період) значення мінералізації, загальної жорсткості води, співвідношення головних іонів, концентрації біогенних елементів (азоту, фосфору, заліза) та органічних речовин.

Гідрохімічна характеристика вод малих водойм у межах географічних зон і виділених типів водозборів наведена в [2] і може бути використана у практиці водного господарства для проектування водойм та оцінки якості води, призначених для зрошення, водопостачання чи рибництва.

### Запитання для самоконтролю

1. Назвіть особливості формування хімічного складу вод озер.
2. Які закономірності режиму головних іонів і біогенних речовин у водах прісних озер?
3. Які особливості формування хімічного складу вод солонуватих і соляних озер?
4. Класифікація соляних озер, їх гідрохімічна характеристика.
5. Які чинники впливають на формування хімічного складу вод ставків?
6. Якими основними ознаками характеризуються водойми з «атмосферним» живленням?
7. Якими основними ознаками характеризуються водойми з ґрунтовим живленням?
8. Дайте характеристику хімічного складу вод в ставках і малих річках по зонах гідрохімічного районування.

## 8 ГІДРОХІМІЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД

*Підземні води* – це природні води, які залягають у земній товщі нижче поверхні землі: чим ближче до поверхні землі знаходяться підземні води, тим більшу роль вони відіграють у загальному кругообігу води у природі. Виділяють два основних типи підземних вод [1,2]: ґрунтові і напірні води. Особливу групу становлять мінеральні води.

### 8.1 Умови формування хімічного складу підземних вод

Основні особливості, які визначають хімічний склад підземних вод такі:

- 1) тісний контакт підземних вод з породами і мінералами земної кори;
- 2) наявність важкопроникних шарів порід, які відокремлюють певні горизонти підземних вод, що порушує водообмін між водоносними горизонтами;
- 3) утрудненість зв'язку підземних вод з атмосферою і земною поверхнею;
- 4) ослаблення біологічних процесів (у підземних водах, крім карстових, є лише життєдіяльність мікроорганізмів);
- 5) різка зміна фізичних умов (температури і тиску) з глибиною: на великих глибинах вода взаємодіє з породами при дуже високому тиску і високих температурах (понад 100°C);
- 6) зниження з глибиною вмісту кисню, низького окиснювально-відновного потенціалу, розвиток анаеробного середовища.

Ці особливості визначають такі основні риси хімічного складу підземних вод:

1) дуже велика різноманітність хімічного складу вод, своєрідний склад газів, до якого входять всі природні хімічні елементи (наприклад, підвищені концентрації  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Ra^{2+}$ ,  $H^+$ , великий вміст  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $CH_4$  та ін.), співвідношення між головними іонами різне, а склад води буває всіх класів, груп і типів;

2) мінералізація підземних вод змінюється від прісних до розсолів, а сума іонів – від 10-20 мг/л до 600-650 г/л. Такий широкий діапазон зміни мінералізації (за винятком озер) не спостерігається у інших природних водах;

3) відсутність у більшості підземних вод чітко вираженої сезонної зміни хімічного складу вод.

Велика різноманітність хімічного складу підземних вод і його розподіл в земній корі обумовлені багаторічним розвитком виникнення вод

у гірських породах, їх динамікою, перетворенням їх складу при взаємодії з породами і під впливом життєдіяльності організмів.

В Київському національному університеті ім.Тараса Шевченка, авторами [2] розглянуто закономірності середньорічних концентрацій головних іонів і нестійких хімічних компонентів у підземних водах відкладів четвертинного (грунтові води) і дочетвертинного віку (пластові води), хімічний склад підземних вод, які впливають на формування річкових вод, а також склад мінеральних вод. Здійснено районування території України за хімічним складом таких видів підземних вод і виконана статистична оцінка концентрації і складу хімічних компонентів у водах в межах однорідних полів.

## 8.2 Хімічний склад ґрунтових вод

На території України виділено 47 однорідних гідрохімічних полів [1,2,5], у межах яких ґрунтові води мають певні особливості хімічного складу. Коротка характеристика ґрунтових вод у межах географічних зон і полів надана нижче за [2].

### *Зона мішаних лісів.*

Всього виділено 9 однорідних гідрохімічних полів. Основною особливістю ґрунтових вод цієї зони є поширення гідрокарбонатно-кальцієво-магнієвого і гідрокарбонатного кальцієво-натрієвого типів, але зустрічаються гідрокарбонатно-хлоридні натрієво-калієві з підвищеним вмістом  $\text{Na}^+$ . Води зони ультрапрісні та прісні (сума іонів  $\Sigma_i$  складає в середньому 189-507 мг/л), переважно помірно жорсткі. В окисних чи відновних умовах формуються слабокислі чи кислі води з незначним вмістом біогенних елементів (фосфору, калію), за винятком азоту, алюмінію, з підвищеною концентрацією  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ . Води збагачені органічними сполуками гумусового типу і мінеральними колоїдами. За достатнім доступом кисню розвиваються процеси амоніфікації – білки розкладаються на амінокислоти, які потім перетворюються в аміак, що утворює з кислотами солі амонію. При інфільтрації поверхневих і ґрунтових вод аміак нагромаджується у ґрунтових водах у значних кількостях. Анаеробні умови призводять до підвищення вмісту нітритів (до 0,06 мг/л). Нітрати накопичуються у ґрунтових водах за рахунок інфільтрації забруднених вод, внаслідок господарської діяльності та забруднення навколишнього середовища азотними сполуками, особливо в районах населених пунктів і промислових підприємств.

### *Лісостепова зона.*

Виділяють 12 гідрохімічних полів, у межах яких поширені такі типи вод: в основному гідрокарбонатні кальцієві (Волино-Подільський

артезіанський басейн), з просуванням на схід - гідрокарбонатні кальцієво-магнієві (зона розміщення Українського кристалічного щита і значна площа Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну), а також гідрокарбонатні змішанокатіонні (поля східної половини Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну і поля в області Придніпровської рівнини) і гідрокарбонатні кальцієво-натрієві води, які поширені в межах Південної лісостепової області Подільської височини.

За мінералізацією ґрунтові води лісостепової зони прісні, сума іонів коливається незначно від 529 до 790 мг/л, за вмістом лужно-земельних металів води тверді.

Хімічний склад ґрунтових вод формується в умовах окиснення і нейтральної реакції води, середні значення рН становлять 7-7,8.

Концентрації вуглекислоти  $\text{CO}_2$  у ґрунтових водах коливаються від 12 до 22 мг/л, при підвищенні значень до 110-140 мг/л (максимальних – 230-450 мг/л) у північно-східних районах Дніпровсько-Донецької западини.

Вміст гідрокарбонатних іонів коливається в значних межах – середні значення змінюються від 310 до 600 мг/л, що пов'язано із станом карбонатно-кальцієвої системи. Найменші концентрації  $\text{HCO}_3$  відмічені у водах Західно-Української провінції.

Вміст біогенних речовин у ґрунтових водах лісостепової зони такий: іони амонію ( $\text{NH}_4^+$ ) в середньому складають 0,2-0,4 мг/л (фонові значення до 2,8 мг/л), нітритів ( $\text{NO}_2^-$ ) – 0,01 мг/л (межа фонових значень досягає 0,6 мг/л), нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ) – від 12-25 мг/л (максимальні значення у водах Західно-Української, Лівобережно-Дністровської і Середньоруської провінцій) до 10 мг/л (найменші значення у водах Дністровсько-Дніпровської провінції).

Найбільші концентрації нітратів (480 мг/л) визначаються у водах південно-західної частини межиріччя Сули, Псла, Ворскли, що зумовлено високим вмістом органічних речовин у чорноземах, доброю аерацією товщі ґрунтів і хімічною меліорацією ґрунтів.

Спостерігаються незначні концентрації заліза ( $\text{Fe}^{2+}$  і  $\text{Fe}^{3+}$ ) у ґрунтових водах, що пояснюється лужною реакцією і наявністю у воді кисню, відсутністю болотних масивів та ін. Середні концентрації заліза змінюються від сотих часток міліграмів у літрі до максимальних значень – 1 мг/л.

Вміст органічних речовин у ґрунтових водах у 2-3 рази менший, ніж у поверхневих водах зони, і в 3-4 рази нижчий, ніж у ґрунтових водах Волинського, Житомирського і Київського Полісся.

### **Степова зона.**

На території зони виділено 16 полів, ґрунтові води яких характеризуються підвищеними значеннями головних іонів. У зоні спостерігається зміна складу вод у південних напрямках. У північній частині зони (Північна степова підзона) переважають гідрокарбонатно-сульфатно типові кальцієві чи натрієво-кальцієві води, в південній частині (Південна степова підзона) у водах переважають іони сульфатів і хлору, а також  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  чи  $\text{Ca}^{2+}$ , рідше  $\text{Mg}^{2+}$ .

За мінералізацією ґрунтові води степової зони солонуваті (1234-2565 мг/л), іноді – солоні (3128-3317 мг/л), за вмістом лужно-земельних металів дуже тверді (9-30 ммоль/л).

Хімічний склад ґрунтових вод формується в умовах окисного слаболужного середовища. Але на відміну від поверхневих ґрунтові води менш лужні, а окисно-відновний потенціал нижчий. Середні значення водневого показника в межах усіх полів не значно змінюються – 7,4-7,7 (фонові значення рН складають 6,8-8,3). Отже, ґрунтові води степової зони мають слаболужну і лужну реакцію, на відміну від зони мішаних лісів і лісостепової, що обумовлює їх фізико-хімічні особливості.

Коливання у водах вільного діоксиду вуглецю менше, ніж у лісостеповій зоні і становить 19-35 мг/л, але концентрації  $\text{CO}_2$  можуть зростати до 110-140 мг/л (Середньоруська лісостепова провінція) чи знижуватися до 4-9 мг/л (Нижньодніпровська область степової зони).

Концентрації гідрокарбонатних іонів, які лімітуються карбонатно-кальцієвою рівновагою, приблизно такі самі як і у лісостепової зоні – 340-830 мг/л.

У зв'язку з меншою забрудненістю ґрунтових вод степової зони вони містять іонів амонію в 1,5-2 рази менше ніж у річкових водах, при середніх концентраціях  $\text{NH}_4^+$  порядку 0,2-0,3 мг/л (фонові значення коливаються від аналітичного нуля до 4 мг/л).

Середні концентрації нітритів становлять 0,05-0,1 мг/л, а фонові – від нуля до 0,8 мг/л. Відсутність біологічного споживання мінеральних сполук азоту спричинює значне нагромадження в ґрунтових водах нітратних іонів. Концентрації  $\text{NO}_3^-$  в ґрунтових водах у десятки і сотні раз перевищують вміст їх у поверхневих водах.

Найменші концентрації нітратів спостерігаються в умовах недостатчі кисню в ґрунтових водах правобережної частини Дністровсько-Дніпровської північно-степової провінції – менше 0,2 мг/л; найбільші – у водах лівобережної частини степової зони (16-90 мг/л), що обумовлено впливом антропогенних чинників.

Характерною рисою хімічного складу ґрунтових вод степової зони є переважаючий вміст заліза ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) в умовах недостачі кисню.

Вміст розчинених органічних речовин в цілому вищий, ніж у водах лісостепової зони, але нижчий, ніж у водах Полісся. Це пов'язано з антропогенним впливом і малою окисною здатністю водного середовища.

#### ***Кримська гірська країна.***

Ґрунтові води на півночі Кримських гір мають такий склад: від сульфатно-хлоридного до гідрокарбонатно-сульфатного кальцієво-натрієвого. У південній частині гірських схилів води переважно гідрокарбонатні натрієво-кальцієві.

Загальна мінералізація вод у середньому становить 604-6200 мг/л, а фонові значення змінюються від 150 до 20300 мг/л.

#### ***Карпатська гірська країна.***

Ґрунтові води закарпатської рівнини характеризуються сульфатно-хлоридним змішано-катіонним складом, вулканічних Карпат – гідрокарбонатно-хлоридним натрієвим, Передкарпаття – гідрокарбонатним кальцієвим. Середні значення мінералізації становлять 495-469 мг/л, а фонові змінюються від 50 до 4250 мг/л.

### **8.3 Хімічний склад пластових (напірних) вод**

На території України виділено 59 однорідних гідрохімічних полів з певними особливостями хімічного складу підземних напірних вод [1,2,5]. Характеристика складу головних іонів, біогенних, органічних речовин та інших особливостей цих вод надається в табл.8.1 за даними [2].

### **8.4 Мінеральні води**

***Мінеральні води*** – це підземні природні води, які мають специфічні особливості фізичного і хімічного складу, а також мають цінні властивості, які використовуються з лікувальною метою і в промисловості. Загальна мінералізація мінеральних вод може змінюватися у широких межах – від дуже малої (наприклад, марціаліні залізисті води) до розсолів з мінералізацією понад 50 г/л. Деякі мінеральні води мають підвищену температуру, а загальна їх мінералізація коливається від 0,3 до 10 г/л і більше.

Відповідно до закономірностей формування і поширення основних типів мінеральних вод (у тому числі й лікувальних) на території України виділяють такі провінції:

1) провінція вуглекислотних вод областей молодого магнетичної діяльності в області внутрішніх Карпат;



Таблиця 8.1 – Характеристика хімічного складу пластових напірних вод [2]

Зона	Тип води	Загальна мінералізація, мг/л	Твердість	pH	CO <sub>2</sub> , мг/л	HCO <sub>3</sub> , мг/л	NO <sub>2</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л	Fe, мг/л
Мішаних лісів	HCO <sub>3</sub> , Ca (Mg)	прісні, 335-578	помірно тверді, тверді	6,4-6,6	9-52	-	-	-	0,3-0,6
Лісостепова	HCO <sub>3</sub> , Ca HCO <sub>3</sub> змішаного катіонного складу	прісні, 539-720	помірно тверді, тверді	7-7,2 7,3-7,6	3-9,5 до 16-26 до 155	310-430 (фонові 100-660)	0,01-0,05 (фонові 0-0,08)	0,2-5 до 25-32 (фонові 0-300)	від 0,01-0,1 до 0,1-0,3
Степова 1)Північна степова підзона	HCO <sub>3</sub> Ca,Na, Na,Mg	прісні, 846-980; слабо солоні, 1053-1355; солоні, 3130	помірно тверді	<i>в цілому по зоні</i> 7,4-7,5 (фонові 6,8-8,5)	<i>в цілому по зоні</i> від 18-30	<i>в цілому по зоні</i> 270-400	-	<i>в цілому по зоні</i> 0,05-0,1	<i>в цілому по зоні</i> 0,01-0,05 (фонові 0-0,5)
2)Південна степова підзона	SO <sub>4</sub> ,Cl змішаного катіонного складу	солонуваті 1056-2650	помірно тверді						

Продовження таблиці 8.1

Зона	Тип води	Загальна мінералізація, мг/л	Твердість	pH	CO <sub>2</sub> , мг/л	HCO <sub>3</sub> , мг/л	NO <sub>2</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л	Fe, мг/л
Кримська гірська країна	HCO <sub>3</sub> ,Ca	388-546 (фонові 250-1100)	-	-	-	-	-	-	-
Карпатська гірська країна									
1)Передкарпаття	HCO <sub>3</sub> ,Ca, Na	-	-	-	-	-	-	-	-
2)Ліво-бережний Дністер	HCO <sub>3</sub> -Ca	465-2596 (фонові 45-5200)	-	-	-	-	-	-	-
3)Гірськи Карпати	HCO <sub>3</sub> -Ca- Mg	366-551 (фонові 20-6400)	-	-	-	-	-	-	-

Вміст сполук NH<sub>4</sub><sup>+</sup> відмічений для лісостепової зони 0,2-0,4 мг/л (фонові 0,001-4 мг/л); для степової - 0,3-1 мг/л.  
Умовні позначення: „-” - дані відсутні

2) провінція азотних, азотно-метанових і метанових артезіанських басейнів, крайових і складчастих областей (сірководневі води, поширені уздовж західної окраїни платформи);

3) провінція радонових киснево-азотних вод у межах Українського кристалічного масиву.

У межах провінцій виділяють області поширення основних типів мінеральних вод за такими їх ознаками:

- а) величина загальної мінералізації;
- б) іонний склад;
- в) газовий склад (розчинені і спонтанні гази);
- г) вміст фармакологічно важливих мікроелементів;
- д) радіоактивність;
- є) активна реакція (рН);
- ж) температура.

Усі різновиди мінеральних вод, які зустрічаються в Україні, діляться на дві групи:

1. Води без специфічних компонентів, лікувальне значення яких визначається іонним складом і мінералізацією.

2. Води специфічного складу, лікувальне значення яких визначається наявністю підвищених концентрацій біологічно активних компонентів. Це води вуглекислі, сульфідні, радонові, з високим вмістом йоду, бромю та органічних речовин.

Схема поширення основних типів мінеральних вод в Україні показана на карті [2].

**Води специфічного складу** викликають найбільший інтерес. Характеристика їх надається за даними А.Є.Бабинця.

Вуглекислі води є найбільш цінним видом мінеральних вод, який використовується в медицині, вони дуже поширені у Закарпатській області (у межах внутрішніх Карпат і зони Вигорлат-Гутинського вулканічного хребта). На території України знайдені такі родовища вуглекислих вод як нарзани, води боржомського, есентуцького типів і вуглекислі води типу “Арзні”.

Води типу “Нарзан” найбільш широко поширені в Україні, зокрема в районі Ужгорода на глибині біля 50 м, у Рахівському районі, в Закарпатській області. Переважно це солонуваті чи прісні води з невеликою мінералізацією (1-3 г/л), тип води гідрокарбонатний кальцієво-магнієвий і кальцієво-натрієвий, вміст вуглекислого газу коливається від 0,8 до 2,9 г/л.

Джерела типу “Боржомі” переважають у Мукачевському і Свалявському районах Закарпатської області (заводські води “Поляна Квасова”, “Лужанський”, “Плосківський”). Води залягають на глибині від

36 до 77 м, мінеральний склад їх представлений натрію гідрокарбонатом (содові води) із загальною мінералізацією 4,3-11 г/л. Води мають підвищений вміст біологічно активних іонів фтору і бору.

Найбільш поширені води типу “Єсентуки” в Хустському районі. За хімічним складом вода гідрокарбонатно-натрієва (сода) з мінералізацією 5,9-10,5 г/л.

Води типу “Арзні” відрізняються від інших хлоридним, натрієвим складом з високою мінералізацією – до 16 г/л, у сольовому складі переважає хлорид натрію. Відомі ці води у Закарпатті в долинах р.Уж та її приток.

Вуглекислі мінеральні води наведених типів мають підвищену кількість (порівняно з прісними водами) йоду, фтору, бору, сірководню, органічної речовини. Розчинені гази на 90-99% представлені вуглекислотою.

Сульфідні води поширені на південно-західній частині Волино-Подільського артезіанського басейну, а також поблизу с.Шкло і с.Щербінці.

У північній частині зони (м.Немиров Львівської області) переважають міцні сульфідні води з вмістом сірководню 60-156 мг/л. За хімічним складом вода є сульфатною кальцієво-натрієвою з мінералізацією біля 2,7 г/л.

У південній частині Чернівецької області розташоване також родовище сульфідних мінеральних вод з вмістом сірководню 38-52 мг/л, сульфатних кальцієво-натрієвих з мінералізацією 3,1 г/л.

Сульфідні води відомі також у Криму.

Формування мінеральної частини сульфідних вод здійснюється збагаченням вод кальцію сульфатами внаслідок розчинення гіпсу. Виявлення сірководню у водах пов'язане з резервами вуглецю у породах.

Води залістисті та арсенисті (миш'якуваті) в Україні рідко трапляються. Вони відомі переважно в межах гірськоскладчастої області Карпат, у зоні розвитку вуглекислих мінеральних вод (с.Келечина і с.Кобилецька Поляна). Вміст заліза у цих водах досягає 30 мг/л, води гідрокарбонатні кальцієві з мінералізацією 0,4-0,9 г/л.

Миш'якуваті води поширені у межах тільки одного родовища (с.Кваси Рахівського району). Вміст миш'яка у водах складає 5-10 мг/л (для питних вод ГДК становлять 0,05 мг/л миш'яку). Води гідрокарбонатно-хлоридні кальцієво-натрієві з мінералізацією 1,3 г/л.

Води з високим вмістом органічних речовин – джерело “Нафтуса” на курорті Трускавець, джерела березівських мінеральних вод в районі м.Харків. За хімічним складом вода прісна гідрокарбонатна кальцієво-магнієва із мінералізацією 0,6-0,8 г/л. Органічні речовини у воді “Нафтуса”

представлені бітумами (до 25 мг/л), жировими кислотами, фенолами, нафтоновими кислотами, гуміновими речовинами; з мікроелементів у ній є марганець, свинець, стронцій. Вода має специфічний запах і смак.

Газонасиченість вод становить 45-53 мг/л (азот – 64%, вуглекислота – до 20%).

Радонові води поширені в районі Українського кристалічного масиву (м.Полонне, Житомир, Коростинів, Біла Церква, Умань та ін.). Вміст радону у водах коливається в межах  $n \cdot 10^{-9}$  –  $n \cdot 10^{-8}$  г/л, за складом води гідрокарбонатно-кальцієво-магнієві з мінералізацією 1-3 г/л. Найбільш високі концентрації радону спостерігаються в районі м.Біла Церква, Миронівка, Хмельник.

Таким чином, лікувальні мінеральні води є майже в усіх областях України, особливо в Передкарпатті, Закарпатті і Криму.

До промислових вод в Україні можуть бути віднесені води, залягаючи на невеликих глибинах, які містять величезні запаси високомінералізованих хлоридно-натрієвих вод (вважаються промисловими) з мінералізацією понад 50 г/л. Води поширені у північно-західній частині Донбасу, Дніпровсько-Донецькій западині, Перекарпатті та Закарпатті. Крім хлористого натрію, з підземних промислових вод добувають йод і бром.

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/л, для гідрокарбонатних вод – з мінералізацією близько 6 г/л. Інші типи мінеральних вод, а також наведені, але з вищою мінералізацією обов'язково вживаються під контролем лікаря, оскільки вони фізіологічно дуже активні.

### Запитання для самоконтролю

1. Назвіть умови формування і основні риси хімічного складу підземних вод України.
2. Назвіть особливості хімічного складу ґрунтових вод у різних фізико-географічних зонах України.
3. Дайте характеристику хімічного складу пластових (напірних) вод.
4. Дайте характеристику хімічного складу основних типів мінеральних вод, які зустрічаються в Україні.

## 9 ГІДРОХІМІЯ МОРІВ

Вода у морі і океані є складною багатоелементною хімічною системою, в якій хімічні сполуки містяться у розчиненому стані і в складі колоїдів, завислих речовин і багатьох живих організмів.

Вода морів і океанів має особливі фізичні властивості, які визначаються режимом сольового і газового складу води. В моря та океани безпереривно надходять хімічні сполуки з суші, атмосфери, надр Землі, а в свою чергу вони стають джерелом солей, які повертаються в атмосферу і на сушу. Хімічна (сольова) рівновага у воді встановлюється під впливом *хімічних* і *фізико-хімічних процесів* (розчину солей, солеосадження, поглинання або виділення газу з води, іонний обмін між водою і твердими речовинами, адсорбція, окисно-відновні процеси та ін.); *біологічних* і *біохімічних процесів* (фотосинтез, хемосинтез); *фізичних процесів* (випаровування та льодоутворення, льодотанення, опадів, конденсації, змішування солоних і прісних вод).

Для характеристики мінералізації морської океанічної води прийнято користуватися величиною солоності. 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<sup>0</sup>С. Виражається вона в г/кг, або проміле ‰.

Для визначення солоності необхідно знати концентрацію хлоридного іону (*хлорність*) – сумарний вміст у грамах на 1 кг морської води галогенів (хлору, броду, фтору та йоду), перерахованих на еквівалентний вміст хлору. Виражається хлорність в Cl, ‰.

Так, для Чорного моря солоність води може бути визначена за формулою

$$S = 1,1856 + 1,7950 Cl, \quad (9.1)$$

для Азовського моря

$$S = 0,21 + 1,794 Cl. \quad 9.2)$$

Солоність морської води визначає її електропровідність: чим більше солей у воді, тим більша електропровідність.

Неоднорідність солоності води зумовлюється процесами, які змінюють концентрацію іонів. Зниження солоності виникає при: 1) випадінні атмосферних опадів на поверхню акваторії моря; 2) стоці з суші; 3) воді, яка утворюється при таненні льоду; 4) випадінні солей в осад.

Підвищенню солоності сприяє 1) випаровування з водної поверхні та 2) утворення льоду.

Формування хімічного складу вод морів розглянуто на прикладі Чорного та Азовського морів за даними [2].

## 9.1 Чорне море

### Загальна характеристика.

**Чорне море** - це величезна котловина з порівняно плоским дном і достатньо крутими берегами. На південному заході воно через протоки Босфор і Дарданелли має вихід у Мармурове море і далі в Середземне море Атлантичного океану. Керченська протока з'єднує Чорне і Азовське моря. Глибоко врізане в сушу Чорне море належить до внутрішніх морів.

У сучасних межах воно характеризується такими основними морфометричними показниками: площа 420,3 тис.км<sup>2</sup>, об'єм 547 тис.км<sup>3</sup>, середня глибина 1315 м, найбільша глибина – 2210 м (43°17' пн. ш., 33°28' сх.д.).

Щорічно у море *надходять* близько 310 км<sup>3</sup> прісної річкової води (стік рр. Дунай, Дніпро, Ріоні, Чорох, Ешіль-Ірмак, Сакаря та ін. малих річок). З них близько 200 км<sup>3</sup> річкового стоку припадає на р.Дунай, а 44 км<sup>3</sup> на р. Дніпро.

*Атмосферні опади* дають 230 км<sup>3</sup> прісної води на рік.

*Верхньою течією* з Азовського моря надходить в Чорне море щорічно близько 30 км<sup>3</sup> опріснених вод.

*Глибинною течією* через Босфор в Чорне море поступає близько 175 км<sup>3</sup> солоної середземноморської води.

**Віддача** чорноморської води відбувається через *випаровування* в атмосферу (360 км<sup>2</sup> на рік), *поверхневий стік* через Босфор у Мармурове море (210 км<sup>3</sup>) і *нижньою течією* в Азовське море (близько 20 км<sup>3</sup>).

Добре прогрівання поверхні Чорного моря зумовлює високу середню температуру води в ньому (8,9°C). Влітку температура поверхневого шару води може досягати 25-26°C. Спостерігається вертикальний градієнт зменшення температури води до горизонтів 60-75 м, звідки вона дуже повільно підвищується з глибиною і біля дна на глибинах 2000 м досягає 9,2°C, що пояснюється геотермічним притоком від дна.

Акваторія Чорного моря, за невеликим винятком, завжди вільна від льоду. Лише в окремі роки в північно-західній частині прибрежні води покриваються льодом.

У Чорному морі у порівняно малому верхньому шарі вода містить кисень (до 200 м), а вся інша товща води є практично неживою. Це море є

єдиною водоймою на земній кулі, в якій об'єм вод, які містять сірководень, досягає величезних розмірів. У окремих частинах морів і океанів є ділянки, в яких води, насичені сірководнем, зберігаються протягом усього року.

Всебічне вивчення Чорного моря відбувалося, починаючи з 20-х років. У цих роботах брали і беруть участь Севастопольська морська обсерваторія, Інститут біології південних морів НАН України, Головне гідрофізичне управління, Азово-Чорноморський НДІ морського рибного господарства та океанографії, Батумська морська станція, Морський гідрофізичний інститут НАН України, Інститут океанології Російської Академії Наук, Державний океанографічний інститут та інші установи. Однією з узагальнюючих є робота Б.О.Скопинцева.

#### **Основні іони та солоність води.**

*Хлориди і броміди (хлорність).* Відомо що при аргентометричному визначенні хлорності (Cl %) іони срібла зв'язуються не тільки хлоридами, а також бромідами і йодидами. Тому мова йде про сумарний вміст цих компонентів. Встановлено, що у воді з хлорністю 19 ‰ величини співвідношення  $Cl^- : Cl \% = 0,99894$  і  $Br^- : Cl \% = 0,00340$ .

Для вод Чорного моря характерне збільшення хлорності за глибиною. Вона складає на поверхні 10 ‰, а на глибині 2000 м 12,34 ‰.

*Сульфати.* Для чорноморських вод характерним є зростання вмісту  $SO_4^{2-}$  від поверхні до 750-1000 м глибини, а потім спад. На поверхні вміст  $SO_4^{2-}$  складає 1,14 мг/л, на глибині 1000 м – 1,69 мг/л, а на глибині 2000 м – 1,68 мг/л. Співвідношення  $SO_4^{2-} : Cl \%$  зменшується від поверхні, залишається сталим на 150-200 м, де є нестача кисню і з'являється сірководень; глибше це співвідношення знову зменшується.

Малі величини співвідношення  $SO_4^{2-} : Cl\%$  в глибинних водах Чорного моря зумовлені процесом сульфатредукції, який супроводжується утворенням сульфатів і збільшенням лужності води.

Сталість співвідношення  $SO_4^{2-} : Cl \%$  на 150 і 200 м пов'язана з окисненням сульфідів до сульфатів, яке відбувається у цьому проміжному шарі.

*Натрій і калій.* Зростання з глибиною лужних металів натрію і калію практично пропорційне зростанню хлорності, що зумовлює відносну стабільність по вертикалі співвідношення лужних металів і Cl %. На глибині 180 м вміст  $Na^+$  - 6,254 мг/л,  $K^+$  - 0,236 мг/л, а на глибині 2000 м вміст  $Na^+$  - 6,767 мг/л,  $K^+$  - 0,245 мг/л. Відмічена близькість хлорного коефіцієнта чорноморських і океанських вод.

*Кальцій і магній.* Вміст кальцію зростає по вертикалі. Співвідношення  $Ca^{2+} : Cl \%$  має найбільше значення у верхніх шарах, де особливо відчувається вплив вод річкового стоку. Починаючи з глибини 150 м ця величина практично стала. На поверхні вона становить 0,2504 мг/л, на



глибині 150 м – 0,2744 мг/л, а на глибині 2000 м – 0,2870 мг/л. Більш високі значення величини  $\text{Ca}^{2+}$ : Cl відносно океану по всій вертикалі Чорного моря (приблизно на 10 %) зумовлені насамперед відносно вищим впливом вод річкового стоку.

Абсолютна концентрація магнію по вертикалі у воді Чорного моря зростає, а співвідношення достатньо стале і становить 0,0668. У чорноморській воді воно вище на 2 %, а причина цього явища така сама, що й у випадку з кальцієм.

*Солоність води.* Великий річковий стік і надходження солоних вод з Мармурового моря зумовлюють досить високу (21,90 ‰) середню солоність Чорного моря. Однак солоність на його поверхні майже в 2 рази менша, ніж солоність поверхневих вод морів Світового океану (35‰). Установився відносно стабільний хлорний баланс Чорного моря.

Розподіл солоності на поверхні моря характеризується її незначним (від 17,5 до 18,3 ‰) збільшенням з північного заходу на південний схід. Це пояснюється впливом річок, які впадають у північно-західну частину моря. Понижена до 5-10 ‰ солоність спостерігається також у вузькій прибережній смузі, поблизу гирл великих річок.

Величини поверхневої солоності змінюються за сезонами. Зимом солоність дещо підвищена у зв'язку із зменшенням притоку річкових вод у море, в північно-західній частині якого її збільшенню сприяє осолонення в процесі утворення льоду. Влітку значний річковий стік і надходження азовської води підтримують розпріснення, а морські течії поширюють його на схід і до південно-західного берегу Криму.

Солоність збільшується з глибиною у відкритій частині моря від значень 17-18 ‰ на поверхні до 22,5 ‰ біля дна. Важлива особливість розподілу солоності по вертикалі - існування постійного за часом галоклину між горизонтами 100-150 м. Помітні сезонні зміни солоності спостерігаються до горизонту 150 м у західній половині моря і до 100-120 м - у східній. Глибше солоність однакова в усьому морі.

### **Розчинені гази і рН.**

*Кисень.* У Чорному морі спостерігається обмежене поширення кисню за глибиною. Нижня межа кисню, близьким до нуля, збігається з нижньою межею вертикального розподілу зоопланктону, залягає нижче верхньої межі вмісту у воді сірководню.

У середньому вміст кисню на глибині верхніх 50 м може досягати 80-120 % насичення, найбільша його концентрація спостерігається на глибині 10-25 м. Цей шар максимального вмісту кисню характерний для теплого періоду року. На глибині 70-80 м вміст кисню різко знижується до 10-15 % і глибше - до нуля. На глибині 300 м насичення киснем складає 0% насичення.

Виникнення шару кисневого максимуму в теплу пору року зумовлене процесами фотосинтезу фітопланктону.

*Азот (вільний азот).* До глибини 200 м у воді Чорного моря вільного азоту міститься 97-100 % (10-13,8 мг/л). На глибині понад 200 м його концентрація зростає і перевищує розрахункову величину насичення води азотом у середньому на 0,6 мг/л. Таке перенасичення пояснюється утворенням азоту у воді як внаслідок розпаду органічних речовин, що містять азот, так і внаслідок життєдіяльності денитрифікуючих бактерій.

*Вуглецю (IV) оксид.* У верхніх шарах моря до глибини близько 50 м вільна вуглекислота перебуває в рівновазі з її тиском в атмосфері. На глибині понад 50-60 м тиск  $\text{CO}_2$  зростає безперервно від 334,29 кПа (на глибині 10 м) до 2612,54 кПа (на глибині 200 м). У зв'язку з великим річковим стоком Чорне море є областю віддачі вільної  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

*Сірководень.* Чорне море - єдина водойма на земній кулі, де об'єм вод, які містять сірководень, досягає величезних розмірів. Основна причина цього - наявність великої кількості сульфатредуючих бактерій і слабкий вертикальний водообмін.

Згідно з М. М. Книпович (1932), високе положення верхньої межі сірководневої зони (близько 125 м) характерне для глибоководних областей моря; поблизу берегів вона знижується до 200 м. Характерні для кожної глибини межі крайніх значень максимального і мінімального вмісту сірководню: для глибини 300 м максимальний вміст сірководню – 1,7–1,9 мг/л і мінімальний 1,1-1,3 мг/л. На глибині 1000 м максимальні значення – 6,1-6,3 мг/л і мінімальні – 5,1-5,3 мг/л. На глибині 1000 м максимальні значення сірководню 7,0-7,5 і мінімальні – 5,7-6,0 мг/л.

Вважають, що близько 99,5 % загальної кількості  $\text{H}_2\text{S}$  в чорноморській воді утворюється за рахунок редукції сульфатів, 0,5 % - за рахунок процесів гниття.

*Значення рН.* На поверхні Чорного моря найчастіше визначається рН 8,31-8,33. Із збільшенням глибини рН знижується, досягаючи на глибині близько 2000 м 7,6. За сезонами рН чорноморської води змінюється мало. На глибині 100 м восени – 7,87, а навесні значення рН – 7,89.

#### **Біогенні елементи та органічні речовини.**

*Азот амонійний.* Найменший середній вміст  $\text{NH}_4^+$  спостерігається у поверхневому шарі води (до 40 мг/м<sup>3</sup>), де він утворюється внаслідок розкладу органічних сполук. Спостерігаються значні сезонні коливання  $\text{NH}_4^+$ . Із збільшенням глибини його концентрація зростає, на глибині 2000 м досягає 1300-1400 мг/м<sup>3</sup>. Це пояснюється припиненням на великих глибинах життєдіяльності нітрифікуючих бактерій.

Наявність великих концентрацій  $\text{NH}_4^+$  в основному пов'язана з процесами розпаду залишків організмів, які осаджуються на дно.

Максимальний вміст  $\text{NH}_4^+$  (як і сірководню) свідчить про те, що основна його маса, утворюючись на дні, поширюється у воді внаслідок вертикального перемішування вод. Біля верхньої межі сірководневої зони відбувається його окиснення до нітратів, а в шарі фотосинтезу він може використовуватись і фітопланктоном.

*Нітрити.* Максимум нітритів у воді Чорного моря визначається в шарі від 100 до 200 м. Причина цього явища полягає в тому, що максимум  $\text{NO}_2^-$  у Чорному морі утворюється внаслідок відновлення нітратів бактеріями-денітрифікаторами, які тут значно поширені.

У верхніх горизонтах збільшення вмісту  $\text{NO}_2^-$  починається з жовтня - листопада і утримується протягом усієї зими по всій вертикалі 100-200 м. В теплі пори року максимум вмісту  $\text{NO}_2^-$  визначається переважно на глибині 50-75 м.

*Нітрати.* У шарі фотосинтезу Чорного моря вміст  $\text{NO}_3^-$  значно змінюється за сезонами, досягаючи максимуму біля поверхні зимою, мінімуму - літом внаслідок споживання нітратів фітопланктоном.

Глибше від шару фотосинтезу концентрація нітратів зростає внаслідок нітрифікації, але на противагу океану та іншим морям у Чорному морі наростання концентрації нітратів обмежується глибиною близько 150-175 м. Нижче 200 м де кисню в Чорному морі практично немає, вміст різко знижується через уповільнення нітрифікації і частково внаслідок перемішування вод.

*Фосфати.* Вертикальний розподіл фосфатів у Чорному морі подібний до розподілу суми мінеральних сполук азоту: мінімум у верхньому 50-метровому шарі і підвищення концентрації у напрямку дна.

Якщо порівнювати концентрацію  $\text{OP}_4^{3-}$  на великих глибинах у Чорному морі і Атлантичному океані, то виявляється що на глибині 2000 м у чорноморській воді  $\text{OP}_4^{3-}$ , у 4 рази більше. Приблизно таке саме перевищення спостерігається і для суми сполук мінерального азоту.

*Органічні речовини (ОР).* Вміст ОР має достатньо рівномірний розподіл по вертикалі і зменшується із збільшенням глибини.

Абсолютний вміст сумарного органічного вуглецю в кисневій зоні дещо зменшується по вертикалі у верхній частині цієї зони, підвищуючись у нижній частині.

Середній вміст органічного вуглецю у воді Чорного моря становить 3,12 мг/л, а Атлантичному океані 1,54 мг/л, тобто майже у 2 рази менший, що зумовлено, ймовірно, значним надходженням органічних речовин з річковим стоком.

### **Екологічні проблеми.**

Значна водозбірна площа Чорного моря (1864000 км<sup>2</sup>) через води річок сприяє потраплянню у море великої кількості розчинених речовин як природного, так і антропогенного походження, що веде до проблеми забруднення Чорного моря. За рахунок господарської діяльності у воду надходять як уже існуючі у морі речовини, так і чужорідні штучно синтезовані сполуки. Причиною негативних ефектів є інтенсифікація сільського господарства (прискорення ерозії ґрунтів, збільшення стоку добрив і ядохімікатів з полів, відходів тваринницьких комплексів), розвиток промисловості (газоподібні, рідкі і тверді відходи), зростання населених пунктів (господарсько-побутові відходи) та ін. Усі перераховані антропогенні забруднення надходять у Чорне море основними каналами: з атмосфери, річок, берегів, сусідніх морів.

Проведення комплексних природоохоронних заходів потрібно здійснювати усіма країнами, розташованими в басейні Чорного моря. Прикладом у цьому плані може бути р. Дунай, яка омиває десять країн Європи. До 70-х років р. Дунай була головним джерелом надходження в Чорне море радіоактивних забруднень від випробування ядерної зброї. Лише після підписання Московської угоди про заборону ядерних випробувань у відкритих середовищах (1963 р.) концентрація стронцію-90 стала поступово знижуватись до рівня, при якому р. Дунай перестала підвищувати концентрацію цього радіонукліду в Чорному морі. Однак р. Дунай залишається джерелом евтрофування північно-західного шельфу Чорного моря внаслідок перенесення великої кількості фосфатів, нітратів і органічних речовин.

З мінеральних ресурсів на Чорному морі добуваються будівельний пісок і гравій, газ, ведуться пошуки нафти на шельфі. У чорноморських пісках знайдені крупинки золота, кристалики алмазів, але добування їх нерентабельне.

Над вирішенням проблем Чорного моря працюють науковці причорноморських країн: України, Росії, Румунії, Болгарії, Турції. До цих досліджень залучаються також фахівці з багатьох інших країн.

## 9.2 Азовське море

### Загальна характеристика.

*Азовське море* належить до типу внутрішніх морів, це наймілкіше море на землі. Мілководність моря визначає малу термічну і динамічну інерцію вод цього моря. Азовське море - найменше на планеті, про що свідчать його основні морфометричні характеристики: площа 39,1 тис. км<sup>2</sup>,

об'єм 290 км<sup>3</sup>, найбільша глибина 13м, середня - близько 7,4 м. Однак Азовське море - самостійне море.

В Азовське море впадають дві великі річки - Дон і Кубань і близько 20 малих річок Приазов'я. Найбільша частина берегового стоку припадає на весняно-літній сезон, однак після зарегулювання р. Дону і р. Кубані сезонний розподіл стоку кількісно змінився.

Переважає частина обміну водами Азовського моря відбувається через Керченську протоку з Чорним морем. У цілому за багаторічний відрізок часу найбільшу частку надходження утворюють материковий стік (43 %) і приплив води з Чорного моря (40 %). У витратній частині переважають стік азовської води в Чорне море (58 %) і випаровування.

Інтенсивне прогрівання мілководного Азовського моря в теплу пору року зумовлює високу температуру його поверхневих вод. Багаторічна середньорічна температура води на поверхні моря становить 11 °С. На Азовському морі щорічно утворюється лід, але під час зими він може з'являтися і руйнуватися.

Сольовий баланс Азовського моря такий: у морі акумулюються близько 67 % всіх принесених річками іонів Ca<sup>2+</sup> і HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> або близько 36 % всіх солей, принесених річками в Азовське море. В Азовське море також надходить Mg<sup>2+</sup> і SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> більше, ніж витрачається.

#### **Основні іони та солоність води.**

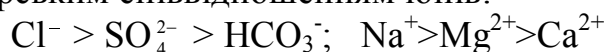
*Основні іони.* Основний іонний склад води відкритої частини Азовського моря характеризується малою кількістю іонів хлору і натрію та підвищеним вмістом переважаючих іонів вод суші - кальцію, гідрокарбонатів і сульфатів.

В Азовському морі виділяється чотири райони, в яких може спостерігатись своєрідний режим головних іонів: передзатоковий район Керченської затоки, присивашський район, Таганрозька затока і пригирлова область р. Кубань.

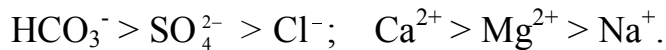
У районі Керченської протоки відбувається змішування двох близьких за типами вод Азовського і Чорного морів, тому у разі зміни загальної мінералізації не відбувається різкої зміни іонного складу змішаної води.

У присивашському районі також змішуються води, близькі за своїм складом; крім того, надходження вод із Сиваша незначне. Тому змішування азовських вод з сивашськими помітної зміни іонного складу в цьому районі не може дати.

У Таганрозькій затоці зовсім інакше відбувається змішування азовської води з водою Дону. Тут зустрічаються два різних типи вод: морська (азовська) хлоридно-натрієва вода з мінералізацією 11-12 ‰ і характерним морським співвідношенням іонів:



та річкова гідрокарбонатно-кальцієва вода середньої мінералізації 0,42‰ з іонним складом:



У вузькій мілководній затоці ці два типи вод змішуються. Тут достатньо чітко проявляються всі перехідні стадії іонних співвідношень від типово річкових до морських.

У зимовий період в Азовському морі спостерігається висока *солоність води*.

Навесні на режимі солоності починають впливати річковий стік в море, танення снігу, зміна загальних гідрометеорологічних умов. По всій акваторії моря солоність навесні становить близько 11 ‰, біля входу в Таганрозьку затоку - 10 ‰. Влітку до липня продовжується зниження солоності води завдяки розпріснюючому впливу річкового стоку.

Восени в Азовському морі солоність підвищується і досягає найбільшого рівня - до 13 ‰ в центральній і західній частинах відкритого моря.

Спостерігається і багаторічна зміна солоності води Азовського моря.

#### **Розчинені гази і рН.**

*Кисень.* Режим вмісту кисню за часом визначається гідрометеорологічними і гідробіологічними умовами в басейні Азовського моря.

В режимі кисню в Азовському морі відмічаються певні відміни за сезонами року. Навесні як абсолютний вміст кисню, так і насичення його відносно великі. У період весняного прогрівання водних мас у відкритій частині моря можна спостерігати чітку залежність між температурою води і вмістом кисню. У літній період не спостерігається зворотного зв'язку між температурою води і вмістом кисню по вертикалі, як це буває навесні.

Восени розподіл кисню в Азовському морі достатньо рівномірний. Різниця насичення поверхневих і глибинних шарів становить 12 ‰. Внаслідок осіннього перемішування водних мас відбувається деяке вирівнювання концентрацій кисню із збільшенням глибини.

Взимку концентрації кисню, коли поверхня моря відкрита, найвищі (9-9,5 мг/л).

Незначне насичення вод Азовського моря *вільною вуглекислотою* пов'язане з інтенсивним розвитком процесів фотосинтезу в морі та енергійним вітровим перемішуванням всієї товщі води, яке перешкоджає нагромадженню CO<sub>2</sub> у придонних шарах.

*Значення рН.* Навесні характерні високі значення рН у центрі Таганрозької затоки із їх зниженням у сторону моря.

Влітку у відкритій частині моря рН на поверхні в середньому змінюється в межах 8,22-8,48, а в Таганрозькій затоці - 8,42-8,65.

Восени відмічаються майже однакові значення рН у морі і Таганрозькій затоці. Від весни і літа до осені відбувається деяке підвищення рН у відкритому морі. Взимку рН води знижується і розподіляється порівняно рівномірно.

### **Біогенні елементи та органічні речовини.**

Азовське море належить до водойм з високою кормовою і промисловою продуктивністю. Це є наслідком того, що у море надходить із стоком річок великий об'єм поживних речовин, а також великої інтенсивності життєдіяльних процесів у морі. До числа таких поживних речовин належать сполуки азоту, фосфору і кремнію.

*Амонійний азот.* Вміст  $\text{NH}_4^+$ , як і інших біогенних речовин, тісно пов'язаний з об'ємом берегового стоку. Талі і паводкові води змивають з суші і несуть у море велику кількість розчиненого амонійного азоту і завислих мінеральних та органічних часток. Органічні речовини донних відкладів, розкладаючись в анаеробних умовах, дають велику кількість аміаку.

Характерним для Азовського моря є наявність у ньому великої кількості  $\text{NH}_4^+$ . Найчастіше глибоководні моря мають порівняно невеликі його кількості, які не перевищують 100-130 мг/м<sup>3</sup>; у той час як у Азовському морі вміст  $\text{NH}_4^+$  доходить інколи до 800 мг/м<sup>3</sup>. Середні значення  $\text{NH}_4^+$  для Азовського моря - 72 мг/м<sup>3</sup>, для Таганрозької затоки 98 і для невеликої ділянки поблизу гирла Дону 161 мг/м<sup>3</sup>. Навесні концентрації  $\text{NH}_4^+$  неоднакові в окремих районах моря. Влітку спостерігається певне зменшення концентрацій  $\text{NH}_4^+$  по всій акваторії моря (70-100 мг/м<sup>3</sup>).

Зимом відмічається підвищений вміст  $\text{NH}_4^+$  (250 мг/м<sup>3</sup>) у районі поблизу р. Дон. При цьому середні величини становлять 75-85 мг/м<sup>3</sup> у морі і 160-170 мг/м<sup>3</sup> - у Таганрозькій затоці.

*Нітрити.* Азовське море, як і інші моря, відрізняється малим вмістом нітритної форми азоту. Вміст нітритів різний у різних районах.

Навесні вміст нітритного азоту малий. Мінімальні концентрації припадають на квітень. У відкритому морі часто  $\text{NO}_2^-$  знижуються до аналітичного нуля. Мінімальний вміст припадає на квітень, незважаючи на початок припливу паводкових вод і значний винос нітритів донською водою, який досягає біля м. Азова 22,8 мг/м<sup>3</sup>. Влітку кількість  $\text{NO}_2^-$  залишається надзвичайно низькою (0,4-0,7 мг/м<sup>3</sup>).

Восени вміст нітритів у морі підвищується, за винятком східної частини Таганрозької затоки, при скороченні виносу їх з Дону. Середній вміст  $\text{NO}_2^-$  у відкритій частині моря становить 2,9 мг/м<sup>3</sup>, у Таганрозькій затоці - 6,6 мг/м<sup>3</sup>.

Узимку вміст  $\text{NO}_2^-$  у відкритій частині моря знижується, але залишається високим порівняно з весняними і літніми концентраціями. У морі

концентрації  $\text{NO}_2^-$  в середньому становлять  $1,8 \text{ мг/м}^3$ , у Таганрозькій затоці –  $0,5$  і поблизу гирла р. Дон –  $0,3 \text{ мг/м}^3$ . Розподіл нітритів по вертикалі характеризується підвищенням їх вмістом на поверхні.

*Нітрати.* Навесні в Азовському морі разом з прогріванням води відбувається інтенсивний розвиток фітопланктону, який споживає нітратний азот. Зимове нагромадження і великий винос  $\text{NO}_3^-$  із стоком р.Дону часто споживаються повністю, знижуючи вміст їх до аналітичного нуля.

Для весни характерний підвищений вміст  $\text{NO}_3^-$  у центрі моря ( $12,5 \text{ мг/м}^3$ ) і зниження біля берегів ( $8,1 \text{ мг/м}^3$ ). Це може бути викликано більш інтенсивним розвитком фітопланктону в прибережних водах внаслідок кращого прогрівання.

Влітку концентрація нітратів у Азовському морі дещо знижується порівняно з весною. Як і навесні, зберігаються райони, де нітратів немає зовсім. Середній вміст  $\text{NO}_3^-$  морі становить до  $10 \text{ мг/м}^3$ . У Таганрозькій затоці підвищується вміст  $\text{NO}_3^-$  вздовж по осі затоки до гирла р. Дон.

На початку осені зберігаються низькі концентрації в морі. У жовтні і особливо листопаді значно зростає вміст нітратів і в морі (від  $10$  до  $56,4 \text{ мг/м}^3$ ), і в Таганрозькій затоці (від  $60,7$  до  $185,4 \text{ мг/м}^3$ ) за рахунок осіннього перемішування.

Взимку відбувається далі нагромадження нітратів, зумовлене насамперед скороченням життєдіяльності організмів у морі і споживання ними  $\text{NO}_3^-$ . Внаслідок значного виносу нітратів р. Дон у зимовий період на поверхні  $\text{NO}_3^-$  частіше буває більше, ніж біля дна.

*Фосфати.* В Азовському морі вміст фосфатів та їх сезонні зміни залежать від ряду чинників, найважливішими серед яких є: біогенний стік річок Дону і Кубані, інтенсивність обміну між ґрунтом і водною масою, а також внутрішній кругообіг фосфатів у морі. Середня концентрація  $\text{PO}_4^{3-}$  в Азовському морі становить  $10,5 \text{ мг/м}^3$ , у Таганрозькій затоці –  $21,7$ , а поблизу гирла р. Дон –  $30,6 \text{ мг/м}^3$ , поблизу гирла р. Кубань –  $27 \text{ мг/м}^3$ .

*Органічні речовини.* Для оцінки вмісту органічних речовин у Азовському морі використовується метод визначення перманганатної окисності (мг/л).

Основними чинниками, які визначають формування режиму органічних речовин в Азовському морі, є: стік річок Дону і Кубані, які виносять велику кількість органічних речовин. Середні величини окисності за сезонами в Азовському морі на поверхні мають мінімальне значення ( $2,59 \text{ мг/л}$ ) літом, а максимальне значення ( $3,75 \text{ мг/л}$ ) зимою, у дна мінімальне значення ( $2,51 \text{ мг/л}$ ) весною і літом, а максимальне значення



(2,98 мг/л) зимою. Таганрозька затока має на поверхні мінімальне значення (2,71 мг/л) восени, максимальне значення (3,20) весною.

**Екологічні проблеми.** Після створення на р. Дон Цимлянського гідровузла (1952) гідрологічний, а також гідрохімічний режими Азовського моря почали змінюватися. Після зарегулювання розподіл стоку протягом року став рівномірнішим, скоротилось весняне водопілля у пониззях р.Дон. Поряд з цим будівництво зрошувальних систем у басейні Кубані та Дону зменшило загальний приплив прісних вод у море на  $14 \text{ км}^3$  і відповідно знизило стік біогенних елементів.

Зменшення весняного стоку і розливів у заплавах Дону та Кубані погіршило умови розмноження цінних видів риби, які приходять сюди на нерест. Зниження сумарного прісного стоку призвело до зменшення кількості поживних солей, особливо фосфору, які потрібні для розвитку водоростей планктону. Їх продукція зменшилась у середньому на 14 % порівняно з періодом природного режиму. Поряд з цим збільшився приплив чорноморської води і дещо підвищилась солоність, що викликало ряд змін у співвідношенні видів і груп планктону моря. При осолоненні з 10 до 14 ‰, яке поширюється від Керченської протоки на північний схід, організми, що проживають у воді з меншою солоністю, почали переміщуватись до Таганрозької затоки і їх спільність стала зменшуватись.

Таким чином, середня маса рослинного і тваринного планктону і відповідно його продукція скоротились порівняно з періодом до зарегулювання стоку на 30-35 %. Якщо осолонення моря буде продовжуватись і надалі, то треба чекати подальшого зниження біомаси фіто- і зоопланктону.

Мінеральні ресурси Азовського моря представлені насамперед хімічною сировиною Сиваша. Загальні запаси солей у ньому оцінюються в 190 млн т, а середній їх вміст у воді 12-14 %. У їх складі переважає сіль  $\text{NaCl}$  - 77-79 % загальної суми,  $\text{MgCl}$  - 9-10,  $\text{MgSO}_4$  - 6-7,  $\text{KCl}$  - 2,  $\text{MgBr}$  - 0,2 %. Вміст кальцію карбонату і сульфату -  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  і  $\text{CaSO}_4$  - змінюється в межах 4-6 %.

Окрім проблеми осолонення Азовського моря за рахунок зміни водного балансу гостро стоїть проблема забруднення його стічними водами промисловості і сільського господарства, наприклад, такого великого промислового центру, як м. Маріуполь, а також сільсько-господарських угідь у пониззі р. Кубань, де інтенсивно використовуються отрутохімікати.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Поняття про хімічну рівновагу моря (океану).
2. Які основні закономірності формування хімічного складу води Чорного моря?
3. Дайте загальну характеристику хімічного складу води Азовського моря.

## **10 ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ХІМІЧНОГО СКЛАДУ РІЗНИХ ТИПІВ ПРИРОДНИХ ВОД**

Під *взаємозв'язком хімічного складу вод суші* розуміють вплив природних вод різних типів на формування гідрохімічного режиму кожного з них. Кількісно оцінити цей взаємозв'язок можна на підставі розрахунку балансу розчинених у природних водах речовин, які потрібно генетично виділити з сукупності їх у природних водах. Такі розрахунки здійснені у дослідженнях В.І.Пелешенка.

Закономірності розподілу основних іонів, які надійшли в річкові води з атмосферними опадами, із-за вилуговування порід, з підземними водами і водами місцевого стоку, узагальнені у вигляді карт [2] і наводяться у табл.10.1.

### **10.1 Вплив атмосферних опадів на формування хімічного складу річкових вод**

Кількість мінеральних речовин, які надійшли з опадами у річкові води в середньому за рік становить для території України 46 мг/л, змінюючись від 27 мг/л (у межах Гірського Криму) до 59 мг/л (у степовій зоні). Склад атмосферної води переважно сульфатний, натрієво-калієво-магнієвий. Внесок мінеральної маси від атмосферних опадів змінюється від 3% (зона степу) до 23% (гірський Крим), середнє для країни значення становить 9% (табл.10.1).

### **10.2 Вплив вилуговування порід на формування хімічного складу річкових вод**

Води, які формуються на території країни за рахунок вилуговування порід мають виражений гідрокарбонатний характер. У межах степової зони у складі води, крім  $\text{HCO}_3$  і  $\text{SO}_4$  переважають також іони  $\text{Cl}$ ,  $\text{Na}$  і  $\text{Mg}$ . Вміст мінеральних речовин обумовлених даною складовою змінюється від 85мг/л у Гірському Криму до 933 мг/л – у межах степової зони. Спостерігається зростання мінералізації в південно-східному напрямку з найменшими значеннями у гірських районах і найбільшими – в межах Донбасу і Приазов'я (1250-1461 мг/л), де води є гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатно-кальцієві.

Внесок вилуговування порід у формування мінералізації річкових вод становить від 83% - у лісостеповій зоні, до 54 % - у степовій, а в середньому по країні дорівнює 70% (табл.10.1).

Таблиця 10.1 – Середньорічний склад розчинених у річкових водах України мінеральних речовин, які надійшли у річки із різних типів природних вод

Природні регіони	Джерело надходження мінеральних речовин у річкові води							
	Атмосферні опади		Вилуговування порід		Підземні води		Місцевий стік	
	$\sum i$ , мг/л (переважаючі іони)	Частка у складі річкових вод, %	$\sum i$ , мг/л (переважаючі іони)	Частка у складі річкових вод, %	$\sum i$ , мг/л (переважаючі іони)	Частка у складі річкових вод, %	$\sum i$ , мг/л (переважаючі іони)	Частка у складі річкових вод, %
Полісся	46 (SO <sub>4</sub> , Mg, Na+K)	17	218 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	81	357 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	26	247 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	74
Лісостеп	50 (SO <sub>4</sub> , Na+K, Mg, Ca)	9	446 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	83	593 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	37	515 (HCO <sub>3</sub> , Ca, Na+K)	63
Степ	59 (SO <sub>4</sub> , Na+K, Mg)	3	933 (HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Cl, Ca, Na, Mg)	54	1400 (HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Ca, Na+K)	16	1833 (SO <sub>4</sub> , Cl, Na+K, Ca)	84
Передкарпаття	57 (SO <sub>4</sub> , Na+K, Mg)	18	227 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	74	405 (HCO <sub>3</sub> , Cl, Ca, Na+K)	58	232 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	42
Гірські Карпати	35 (SO <sub>4</sub> , Mg, Ca)	20	142 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	79	270 (HCO <sub>3</sub> , Ca, Mg)	63	110 (HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Ca)	37
Закарпатська рівнина	33 (SO <sub>4</sub> , Na+K, Mg, Ca)	17	150 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	79	475 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	74	75 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	26
Гірський Крим	27 (SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> , Mg, Ca)	23	85 (HCO <sub>3</sub> , Ca, Na+K)	74	387 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	38	80 (SO <sub>4</sub> , Cl, Ca, Na+K)	62
Україна в цілому	46 (SO <sub>4</sub> , Na+K, Mg, Ca)	9	344 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	70	492 (HCO <sub>3</sub> , Ca)	31	500 (SO <sub>4</sub> , Cl, Ca, Na+K)	69

### **10.3 Вплив підземних вод на формування хімічного складу річкових вод**

Відсоток підземних вод у формуванні складу річкових вод змінюється від 16% у зоні степу до 74% у межах Закарпатської рівнини, а в середньому по території становить 31%. Високі значення спостерігаються у гірських країнах (до 63%), низькі – в рівнинних районах (26% - у Поліссі, 37% - у лісостеповій зоні). Води переважно гідрокарбонатні кальцієві, з вмістом  $SO_4$  і (Na+K) в зоні степів та  $Cl$  і (Na+K) – в Передкарпатті.

Причому, у Закарпатті за рахунок підземних вод формується 93% іонів  $Cl$ , близько 90% всіх катіонів, тоді як в Поліссі, наприклад ці значення становлять лише 16 і 25%.

Загальна мінералізація підземних вод, які формують річковий стік, найбільша – 1400 мг/л у степовій зоні і найменша – 270 мг/л у межах гірських Карпат, в середньому ж по території України – 492 мг/л (табл.10.1).

### **10.4 Вплив місцевого стоку на формування хімічного складу річкових вод**

До місцевого стоку відносяться води поверхнево-схилові, ґрунтово-поверхневі та підґрунтові у межах малих водозборів. Основним процесом формування хімічного складу вод є розчинення мінеральних і органічних речовин товщі ґрунтів.

За результатами оцінки хімічного складу вод місцевого стоку внесок його у формування хімічного складу річкових вод становить 74% у Поліссі, 63% - у лісостеповій зоні, 84% - у степовій (при найвищій мінералізації 1833 мг/л).

У межах гірських країн ці значення знижуються до 26 – 42% у Карпатах і до 62% у Криму, при найменшій мінералізації 75 мг/л на Закарпатській рівнині. Формуються води найбільшої різноманітності – переважаючі іони наведені в табл.10.1.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Визначте поняття про взаємозв'язок хімічного складу різних типів природних вод.
2. Дайте оцінку ролі різних типів природних вод у формуванні хімічного складу вод річок України.

## **11 ВПЛИВ АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНИХ ВОД. ПРОМИСЛОВЕ ТА РАДІОЛОГІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ**

Серед різного виду антропогенного впливу на водні об'єкти забруднення вод викидами промисловості, міст, сільськогосподарського виробництва має домінуючий характер. Все це загостило екологічну ситуацію на всіх рівнях. Крім того, для України після аварії на Чорнобильській АЕС стало важливим питання радіоактивного забруднення природних вод. Тому надзвичайно актуальною є проблема охорони водних ресурсів в Україні, у тому числі й питної води.

Джерелами забруднення природних вод є промислові та господарсько-побутові стічні води, стічні води сільськогосподарських територій, стічні води промислових підприємств, забруднення повітряного басейну, радіоактивне забруднення.

*Забрудненням* водних об'єктів називається перевищення концентрацій забруднювальних речовин над гранично допустимими концентраціями (ГДК), яке спричиняє порушення якості води. Розрізняють *хімічне, фізичне та біологічне* забруднення водоймищ. Хімічне забруднення зумовлюється збільшенням вмісту у воді неорганічних та органічних шкідливих домішок. Фізичне забруднення пов'язане зі змінами фізичних параметрів водного середовища. Біологічне забруднення полягає в змінах властивостей водного середовища внаслідок збільшення кількості мікроорганізмів, рослин та тварин.

Забруднення поверхневих вод знижує запаси питної води, негативно впливає на розвиток флори і фауни. Порушується кругообіг речовин в біосфері, знижується об'єм біомаси на планеті.

### **11.1 Промислові та господарсько-побутові стічні води**

Головним джерелом надходження у природні води України токсичних речовин є стічні води *промислових підприємств*, які можуть вміщувати важкі метали, детергенти, нафтопродукти, феноли, кислоти, гербіциди, неорганічні сполуки, токсичні речовини, радіоактивні елементи та ін. Особливо забруднюють водойми нафта та нафтопродукти (керосин, дизельне паливо, масла). Наявність на поверхні води масла, жирів, мастильних матеріалів перешкоджає газообміну між водою та атмосферою, що знижує насиченість води киснем. Забруднення води нафтою шкідливе перш за все для фітопланктону та зумовлює загибель птахів. Найбільш небезпечним є забруднення вод ртуттю, тому що зараження морських організмів викликає отруєння людей.

Сильним джерелом забруднення водойм є стічні води целюлозно-паперової промисловості - це щолок, волокна із деревини і органічних речовин. Стічні води коксохімічної і коксогазової промисловості містять токсичні речовини такі, як феноли, ціаніди та ін. Особливо забруднені цими речовинами річкові води Донбасу.

Існують методи очищення стічних вод промислових підприємств [1]: в першу чергу це локальне очищення на підприємстві, а далі після попадання вод до міської каналізації - фізичне, хімічне, фізико-хімічне та біологічне очищення. Після очищення стічну воду можна знов використовувати для водопостачання даного підприємства або для повторного водопостачання.

Не менш суттєвим джерелом надходження забруднюючих речовин до водотоків є *господарсько-побутові стічні води*, які утворюються при використанні населенням водопровідної води, а далі скидання її через каналізаційну мережу у водойми. Існують різні методи очищення стічних міських вод [1] - це біологічне очищення стічних вод в аеробних умовах, біологічні ставки-відстійники, поля зрошення, аеротенки, біофільтри та ін.

Комплексна оцінка впливу (за період 1987-1990 рр.) промислових і господарсько-побутових стічних вод на якість річкових вод України за різними хімічними показниками, у тому числі і синтетичних поверхневих активних речовин, дозволила [2] виділити чотири класи якості річкових вод: 1- слабо забруднена, 2- забруднена, 3- брудна, 4- дуже брудна.

Так, в басейні р.Дніпро більша частина вод слабозабруднені (59%), далі ідуть води забруднені і брудні, у басейні р.Дністер якість вод змінюється від слабо забруднених до брудних, де забруднюючими речовинами виступають феноли, мідь, цинк, сполуки азоту. В басейні р.Південний Буг води взагалі слабо брудні.

Високу ступінь забруднення показують проби якості вод р.Сіверський Донець, при цьому основними забруднювальними речовинами є нафтопродукти і феноли. Навпаки, води Криму на фоні річок різних частин території України оцінюються як значно кращої якості.

## 11.2 Сільськогосподарські стічні води

Вплив сільськогосподарського виробництва проявляється в забруднюванні природних вод від змиву добрив і отрутохімікатів з угідь (поверхневих чи ґрунтових), тваринницьких комплексів, ерозії ґрунтів.

На сільгосподарські угіддя України привносяться близько 200 видів пестицидів, велика кількість інших добрив. Доза внесення добрив у середньому (на 45% площі всіх сільгоспугідь) становить 140 кг/га і залежить від виду культур.

На території України діють понад 45 тис. тваринницьких ферм, в результаті роботи яких відбувається змив азотистих сполук (450 тис. т за рік) та гною (300 млн. т за рік).

За даними [2] найбільш забруднені пестицидами річкові води басейнів Сіверського Донця, Південного Бугу, річок Приазов'я. Виявлені також пестициди і у підземних водах більшої частини території України. Особливо забрудненими є ґрунтові води півдня країни - Одеська, Миколаївська, Донецька області. Фонові значення залишкових концентрацій пестицидів у ґрунті (близько 80 різноманітностей) становлять порядку 0,2 кг/га, при максимальних - до 3 кг/га.

Забруднення питних вод пестицидами відмічається й в Криму: 22% з них є речовинами дуже небезпечними, 53% - помірно небезпечними, 25% - мало небезпечними.

### **11.3 Радіоактивне забруднення**

Основними джерелами радіоактивного забруднення природних вод є радіонукліди природного та штучного походження. Природні радіонукліди можуть бути присутні у воді свердловин та іноді у воді криниць в результаті вимивання їх з геологічних структур. В поверхневих джерелах питного водопостачання (річках, озерах, водоймах) вміст радіонуклідів дуже низький і складає проценти чи долі процентів.

Джерелом радіоактивного забруднення природних вод штучного походження є випробувальні ядерні вибухи та радіоактивні відходи ядерної енергетики, промисловості і транспорту. Найбільш небезпечними для життя людей є такі радіоактивні речовини як стронцій і цезій. Випадаючи на земну поверхню, радіоактивні елементи потрапляють у водойми. Однак, при фільтруванні води крізь ґрунти і породи більша частина радіоізотопів адсорбується. При порушенні технологічних процесів на ядерних об'єктах (аваріях) відбувається значний викид радіоактивних речовин у навколишнє середовище, що призводить до важких екологічних і соціально-економічних наслідків.

Найбільш значною техногенною катастрофою останніх років є аварія на Чорнобильській АЕС, в результаті якої виведено з використання 2,5 млн. га угідь, в тому числі в Україні - 377,5 тис. га. Важливою особливістю радіоактивного забруднення від аварії на ЧАЕС є плямистість, яка пов'язана з різними механізмами викидів радіонуклідів, а також погодними умовами та характером рельєфу місцевості. На той час виділені три зони забруднення небезпечних для здоров'я населення: 1) радіоекологічної катастрофи; 2) радіоекологічного забруднення; 3) особливої радіоекологічної ситуації.



Під час аварії при випадінні радіоактивних речовин безпосередньо на водну поверхню та їх змиву поверхнево-схиловим шляхом забрудненими виявилися річкові води Прип'яті, Десни і Дніпра. Найбільшого радіоактивного забруднення зазнали водозбірні та заплавні території р. Прип'ять в близькій зоні ЧАЕС. На цієї території сформувався найбільш забруднений слід стронцієвих випадів. Після припинення випадів радіоактивних речовин джерелом забруднення річкових вод стали процеси вимивання їх з поверхні та ґрунтів водозборів, а також обмінні процеси між донними відкладами і водною масою.

На протязі років після аварії на ЧАЕС відбувалося самоочищення вод. Основними факторами самоочищення вод є природне зменшення вмісту радіонуклідів в верхньому контактному шарі ґрунтів водозбірних площ, адсорбція радіонуклідів частинками річкової завісі і їх седиментація у водосховищах, тобто перехід ряду радіонуклідів у донні відклади (близько 70% радіоактивних речовин захоронено у донних відкладах Київського водосховища під шаром чистих осадів), а також природний радіоактивний розпад. Однак в періоди штормів і транзитного річкового потоку під час весняного водопілля відбувається переміщення радіонуклідів у інші водосховища каскаду.

Детальне вивчення та аналіз причин і наслідків екологічної катастрофи на ЧАЕС виконане О.В. Войцеховичем [10].

Управління якістю дніпровських вод та інших об'єктів, які знаходяться під впливом радіоактивного забруднення в результаті аварії на Чорнобильській АЕС, є актуальною проблемою й у теперішній час.

#### **11.4 Загальний вплив антропогенних чинників**

Антропогенна складова розчинених у річкових водах мінеральних речовин формується в основному за рахунок іонів калію ( $K^+$ ), натрію ( $Na^+$ ), магнію ( $Mg^{2+}$ ), хлору ( $Cl^-$ ), кисневих сполук сірки ( $SO_4^{2-}$ ) і складає в цілому по Україні 6087 тис. т, чи  $10,1 \text{ т/км}^2$  стоку щорічно. Найменші значення антропогенного забруднення виявлені у річках Полісся ( $0,4 \text{ т/км}^2$ ), гірських країнах Карпат ( $0,7 \text{ т/км}^2$ ) і Криму ( $1,3 \text{ т/км}^2$ ). Найбільші значення цих показників відмічаються у зоні степу ( $28,4 \text{ т/км}^2$ ).

Середній хімічний склад розчинених у річкових водах мінеральних речовин антропогенного походження має характер хлоридно-сульфатний натрієво-магнієвий. Середня мінералізація становить 105 мг/л, причому спостерігається закономірне зростання її у південно-західному напрямку від 4 мг/л у Поліссі до 755 мг/л у степовій зоні. У межах гірських країн вплив антропогенних факторів значно знижується.

Кількісні показники стоку та розподіл іонів антропогенного походження в річкових водах України узагальнені і наведені у вигляді карт [2].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Назвіть генетичні складові техногенезу, який впливає на хімічний склад природних вод.
2. Дайте характеристику впливу промислових і сільськогосподарських неочищених вод на хімічний склад природних вод.
3. Радіоактивне забруднення природних вод.
4. Яка роль антропогенних факторів у формуванні хімічного складу річкових вод України?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна

1. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. – К.:Либідь,1997. – 382 с.
2. Горев Л.М.,Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України. – К.:Вища шк., 1995. – 307 с.
3. Справочник по гидрохимии/Под ред. А.М.Никанорова.Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.

### Додаткова

4. Алекин О.А. Основы гидрохимии. - Л.: Гидрометеиздат, 1970.- 444 с.
5. Горев Л.Н., Никаноров А.М., Пелешенко В.И. Региональная гидрохимия. - К.:Вища шк., 1989. - 279 с.
6. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб:Гидрометеиздат, 2001. 444 с.
7. Алмазов А.М. Гидрохимия устьевых областей рек. - К.:Изд-во АН УССР, 1962. - 254 с.
8. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ / А.И. Денисова, В.М. Тимченко, Е.П. Нахшина и др.-К.:Наук. Думка, 1989.- 216 с.
9. Кононенко Г.Д. Гідрохімія ставків і малих водоймищ України. - К.:Наук. думка, 1989. - 311 с.
10. Войцехович О.В. Управление качеством поверхностных вод в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС: Монография / Серия «Радиация и вода». – К.: Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, 2001. – 136 с.

Навчальне видання

**Гопченко Євген Дмитрович, Шакірзанова Жанна Рашидівна**

## **ГІДРОХІМІЯ УКРАЇНИ**

Конспект лекцій

Підп. до друку  
Умовн. друк. арк.

Формат  
Тираж

Папір  
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул.Львівська, 15

---