

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни «Гідрологія»
*(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
спеціальності 101 Екологія)
(Електронне видання)*

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри хімічної
інженерії та екології
Протокол № 12 від 26.05.2026 р.

Київ 2026

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Гідрологія» (для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності Е2 Екологія) / Укладач Мохонько В.І. – Київ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2026. – 72 с.

У методичних вказівках надаються основні теоретичні відомості щодо підходів до кількісного визначення основних гідрографічних та гідрологічних характеристик водних об'єктів, наводяться алгоритми і приклади розрахунків, а також приклади аналізу отриманих результатів, питання для самоперевірки, перелік літературних та довідкових джерел. Завдання для самостійної роботи побудовані із залученням фактичних матеріалів спостережень.

Методичні вказівки складені відповідно до діючої програми дисципліни „Гідрологія” та освітньої програми «Екологія» підготовки бакалаврів-екологів. Вони можуть бути використані при виконанні практичних занять з інших дисциплін, що викладаються на факультеті: «Моніторинг довкілля», «Метеорологія і кліматологія», «Основи біогеохімії» тощо.

Укладач

В.І. Мохонько, к.геол.н., доц.

Рецензент

І.В. Кравченко, к.т.н., доц.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Практичне заняття № 1 РОЗРАХУНОК ЗАГАЛЬНОЇ ЗМІНИ ЗАПАСІВ ВОДИ У ВОДНОМУ ОБ'ЄКТІ.....	5
Практичне заняття № 2 ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ ПРИРОДНИХ ВОД ТА СПОСОБАМИ ЙОГО ВИРАЖЕННЯ.....	16
Практичне заняття № 3 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ	32
Практичне заняття № 4 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК РІЧКОВОГО СТОКУ	43
Практична робота № 5 ПОБУДОВА ГІДРОГРАФУ СТОКУ ВОДИ ТА ЙОГО ГЕНЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ	50
Практичне заняття № 6 ГІДРОГЕОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ	59
Практичне заняття № 7 ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ	68

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Гідрологія» відіграє значну роль у розробці наукових основ комплексного використання та охорони водних ресурсів. Метою дисципліни є вивчення природних вод, їх складу, властивостей та умов формування, загальних закономірностей процесів і явищ, що відбуваються в гідросфері.

Методичні вказівки до практичних занять покликані забезпечити майбутніх екологів необхідним обсягом теоретичних знань та алгоритмами розрахунків основних гідрологічних характеристик, умінь аналізу гідрологічної інформації, поданої у вигляді карт, графіків тощо, які можуть бути використані при екологічних дослідженнях. Об'єм викладеного теоретичного матеріалу в цілому дозволяє здобувачам вищої освіти самостійно виконувати практичні завдання.

Для кожного практичного заняття передбачені завдання, які виконуються здобувачами вищої освіти індивідуально під керівництвом викладача. Здобувачі проводять всі необхідні розрахунки, оформляють отримані результати та роблять відповідні висновки. Вихідними матеріалами для виконання практичних завдань є дані гідрологічних спостережень, що опубліковано в гідрологічних щорічниках та довідковій літературі.

На сьогодні існує низка стандартних комп'ютерних програм для розрахунків основних гідрологічних характеристик, які дозволяють отримати кінцевий результат за наявними вихідними параметрами. Але, за такого варіанту, важко зрозуміти сутність отриманих розрахункових гідрологічних характеристик та процесів. Тому рішення запропонованих практичних завдань побудовано на послідовному розкритті всього ходу отримання кінцевого результату.

Знання та вміння, набуті здобувачами вищої освіти під час практичних занять, допоможуть їм оволодіти відповідними компетенціями та в майбутньому кваліфіковано проводити гідрологічні спостереження на водних об'єктах, обробляти та аналізувати отримані результати, виконувати необхідні гідрологічні розрахунки та застосувати гідрологічні методи при дослідженні екологічних умов територій.

Практичне заняття № 1

РОЗРАХУНОК ЗАГАЛЬНОЇ ЗМІНИ ЗАПАСІВ ВОДИ У ВОДНОМУ ОБ'ЄКТІ

Мета: закріпити знання про кругообіг води на земній кулі; познайомитись з поняттям водного балансу та характеристикою його елементів; навчитись розраховувати та аналізувати зміни запасів води у річковому басейні.

Теоретичні відомості

Кругообіг води – це безперервний процес циркуляції води на земній кулі під впливом сонячної радіації та сили ваги. Найголовнішими складовими кругообігу є випаровування води, перенесення водяної пари на віддаль, конденсація водяної пари, випадання опадів, інфільтрація води в ґрунт і стік.

Позитивні температури зумовлюють випаровування вологи з поверхні океанів і суходолу та забезпечують насичення нею атмосферного повітря. У верхніх шарах атмосфери, де температура повітря знижується, волога конденсується й випадає у вигляді дощу чи снігу. Опади над океаном частково компенсують витрати води, що випарувалась з його поверхні. Опади над суходолом мають набагато складніший шлях кругообігу. Вони частково просочуються у ґрунт, підвищуючи його зволоженість, а також проникають у водоносні горизонти, підживлюючи підземні води. Певна частина цих вод формує підземний стік, інша, що не проникла в глибинні горизонти, утворює поверхневий стік водозбірного басейну. Вода, стікаючи зі схилів, збирається в улоговинах стоку, ярах, балках, малих і великих річках. Річки дренують територію водозбірного басейну, збирають поверхневі та підземні води у єдиний річковий стік і повертають Світовому океану «борг», забраний свого часу повітряними масами. Так відбувається безперервне врівноваження кількості води, яка випаровується з акваторії океану та безстічних басейнів і повертається до водойми річковим стоком.

Рушійними силами кругообігу води виступають сонячна енергія і сила тяжіння. Під впливом тепла відбуваються випаровування і активні висхідні переміщення водяної пари. Затрачена на випаровування енергія звільняється при конденсації вологи в атмосфері. Сила тяжіння є причиною падіння крапель дощу, течії рік, руху ґрунтових і підземних вод.

Залежно від географічних просторів, які охоплює кругообіг води, його особливостей формування, розрізняють *малий і великий кругообіги* (рис. 1.1). *Малий кругообіг* відбувається за схемою: випаровування води з поверхні океану –

перенесення водяної пари над океаном та її конденсація – опади на поверхню океану. *Великий кругообіг* також бере свій початок від випаровування води з поверхні Світового океану, але далі водяна пара і хмари переміщуються вітрами над акваторією у повітряний басейн суходолу, де і відбувається конденсація вологи і випадання атмосферних опадів. Цей процес є основним джерелом відновлення прісних водних ресурсів на Землі – найбільш цінних для життя людини. З часом перенесена з океану на сушу вода повертається поступово назад з материковим стоком, при цьому значні її обсяги витрачаються на випаровування і транспірацію рослин. Так завершується великий кругообіг води.

Кругообіги води в атмосфері розпочинаються не лише над океанами, а й над сушею. Якщо випаровування води відбувається з поверхні суходолу, а з утворених нею хмар опади падають назад на сушу, тоді такі переміщення вологи утворюють *малий внутрішньоматериковий кругообіг*.

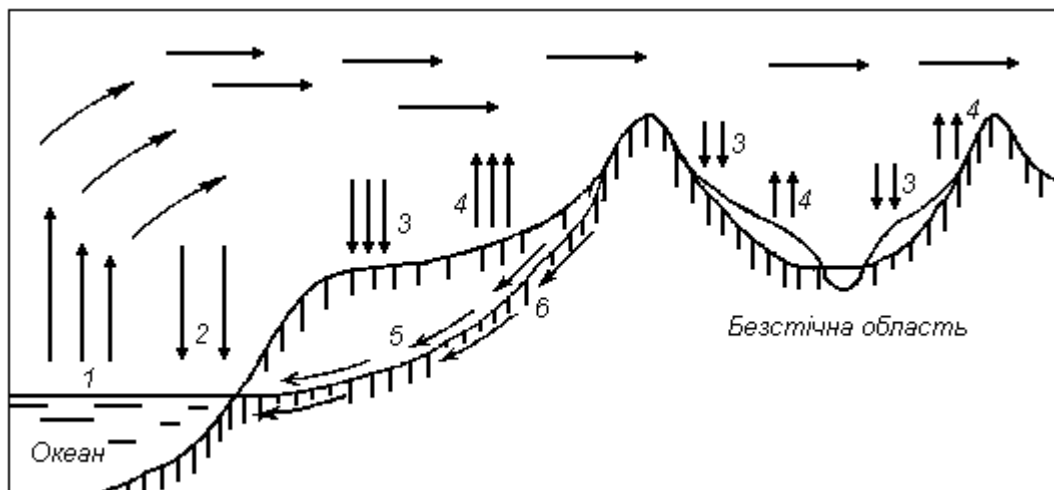


Рис. 1.1. Схема кругообігу води в природі:

- 1 - випаровування з поверхні океану, 2 - опади на поверхню океану, 3 - опади на поверхню суші, 4 - випаровування з поверхні суші, 5 - річковий стік в океан, 6 - підземний стік в океан

Протягом року внутрішньоматериковий кругообіг води може повторюватися багато разів, завдяки чому опади в окремих регіонах суходолу формуються переважно за рахунок континентальних вод. Деяка частина атмосферної вологи, що має материкове походження, переноситься повітряними течіями із суші на океан, тобто у зворотному до великого кругообігу напрямі.

Такий процес кругообігу води в природі – лише спрощена схема, в дійсності він набагато складніший. Так, частина води витрачається на гідратацію гірських порід і тому виключається із загального кругообігу. Певна кількість вологи виходить на поверхню з глибоких надр і, навпаки, поповнює водні маси, які беруть участь у кругообігу. Крім того, не вся вода, що стікає по земній

поверхні, досягає океанів і морів, тому що суша ділиться на дві області – стічну, або область зовнішнього стоку і безстічну, або область внутрішнього стоку.

Стічною областю називається частина суші, річковий стік якої здійснюється в океани і моря. Безстічною областю називається частина суші, з якої немає стоку в океан і води її річок надходять у безстічні озера, або витрачаються на випаровування. З усієї площі суші безстічні області займають лише 30 млн км², а стічні області – 119 млн км².

З безстічних областей найбільшими є:

- в Європі – водозбірний басейн Каспійського моря;
- в Середній Азії – Туранська низовина,
- в Центральній Азії – пустелі Алашань, Гобі, Такла-Макан;
- в Африці – пустелі Сахара, Лівійська, Нубійська, Калахарі і Наміб, водозбори озер Чад, Руква, Рудольф тощо;
- в Північній Америці – пустелі Великого Басейну, Мексиканського нагір'я, плато Колорадо тощо;
- в Південній Америці – водозбори озер Тітікака-Поопо, пустеля Атакама, плато Патагонії тощо; в
- Австралії – західна і центральна частини материка.

Серед безстічних областей виділяють *безстічні області з внутрішнім стоком*. На території цих областей може випадати значна кількість опадів, може бути розгалужена сітка водотоків, але всі свої води вони несуть в озера (наприклад, басейни Волги, Уралу, Сирдар'ї, Амудар'ї та ін.) та арктичні області, які не мають ніякого поверхневого стоку, тому що вся вода, котра випадає на їхню поверхню, випаровується. Арктичні області займають 17 % поверхні материків, і найбільшими з них є Сахара, пустелі Австралії, Центральної і Середньої Азії та інші. Вода безстічних областей бере участь у відносно самостійних кругообігах, а зв'язок її зі Світовим океаном здійснюється лише шляхом перенесення вологи в пароподібному стані повітряними течіями в периферійні області суші чи безпосередньо на моря та океани, або підземними шляхами (незначною мірою). В межах безстічних областей у вологообміні бере участь лише 9 тис. км³ води.

Співвідношення приходу і витрат води з урахуванням змін її запасів за вибраний інтервал часу для певного об'єкту називається *водним балансом*.

Водний баланс Землі тісно пов'язаний з тепловим балансом і поряд з цим є одним із важливих показників для характеристики природних зон. Розрахунком складових водного балансу широко користуються в гідрології і в метеорології для вивчення водного режиму.

Метод водного балансу засновується на наступному очевидному рівнянні: для будь-якого простору, що обмежується деякою довільною поверхнею,

кількість води, яка ввійшла всередину цього об'єму, за відрахуванням кількості води, яка вийшла назовні, повинна дорівнювати відповідно збільшенню або зменшенню її кількості всередині даного об'єму.

Для річкового басейну з природним режимом витрата вологи за будь-який розрахунковий інтервал часу визначається рівнянням:

$$S = X - Y - E, \quad (1.1)$$

де X - атмосферні опади в межах водозбору;

Y - річковий стік у замикаючому створі;

E - сумарне випаровування з басейну;

S - загальна зміна запасів води у басейні.

Завдання до самостійної роботи

Завдання 1. Користуючись даними табл. 1.1, побудувати стовпчикові діаграми водного балансу земної кулі і окремих її частин (океану, суші зі стоком у океан, безстічних областей). Масштаб діаграм: вертикальний – в 1 см – 50000 км³, горизонтальний – довільний. Порівняйте водні баланси окремих частин земної кулі.

Таблиця 1.1 - Водний баланс Землі за рік (М.І. Львович, 1986 р.)

Елементи водного балансу	Об'єм, км ³	Шар, мм
Периферійна частина суші:		
опади	106 000	910
річний стік	44 230	380
випаровування	61 770	530
Замкнена ("безстічна") частина суші:		
опади	7 500	238
випаровування	7500	238
Світовий океан:		
опади	411 600	1140
притік річних вод	44 230	120
випаровування	455 830	1260
Земна куля:		
опади	525 100	1030
випаровування	525 100	1030

Завдання 2. Розрахувати загальну зміну запасів води в басейні річки по місяцях за один календарний рік і проаналізувати розрахований водний баланс за допомогою комплексного інтегрального графіка елементів балансу. Розрахункові дані по варіант наведені у табл.1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для розрахунку зміни запасів води в басейні річки за рік

Варіанти 1, 11. Водний баланс по місяцях за календарний рік. Р. Лісова Кам'янка - с. Новопіль				
Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	36	1,0	-	
II	31	2,0	-	
III	31	8,0	16	
IV	38	6,0	29	
V	47	2,0	64	
VI	62	3,0	83	
VII	54	1,0	98	
VIII	54	1,0	94	
IX	34	1,0	63	
X	40	2,0	34	
XI	45	1,0	111	
XII	47	2,0	-	
Рік	519	30	592	
Варіанти 2, 12. Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Гнилоп'ять - с. Головенко				
Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	42	2,0	-	
II	38	3,0	-	
III	37	22	-	
IV	41	15	33	
V	54	6,0	73	
VI	64	3,0	102	
VII	63	2,0	108	
VIII	53	1,0	97	
IX	38	2,0	62	
X	46	2,0	32	
XI	50	1,0	10	
XII	52	2,0	-	
Рік	578	61	517	
Варіанти 3, 13. Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Ірша - с. Івановичі				
Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	37	2	-	
II	32	7	-	
III	32	18	12	
IV	39	10	23	

Продовження табл. 1.2

V	49	5	51	
VI	62	3	66	
VII	53	2	78	
VIII	53	1	74	
IX	34	2	51	
X	41	3	27	
XI	45	2	8	
XII	47	3	-	
Рік	524	58	390	

Варіант 4, 14. Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Холодна - с. Левків

Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	49	2	-	
II	21	3	-	
III	47	22	18	
IV	46	12	35	
V	60	8	76	
VI	76	4	100	
VII	73	2	118	
VIII	68	1	112	
IX	39	1	79	
X	54	3	41	
XI	72	4	12	
XII	70	3	-	
Рік	675	65	591	

Варіанти 5, 15. Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Гуйва - смт Озерне

Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	35	1,0	-	
II	29	3,0	-	
III	30	12	-	
IV	35	6,0	18	
V	45	3,0	64	
VI	66	3,0	93	
VII	63	2,0	97	
VIII	49	1,0	85	
IX	31	1,0	51	
X	41	1,0	25	
XI	39	2,0	6	
XII	36	1,0	-	
Рік	495	36	439	

Продовження табл. 1.2

Варіант 6, 16. Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Ірпінь - с. Козаровичі				
Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	48	2,0	-	
1	2	3	4	5
II	21	4,0	-	
III	43	10	17	
IV	45	7,0	35	
V	57	6,0	75	
VI	72	3,0	99	
VII	70	2,0	116	
VIII	65	1,0	110	
IX	37	1,0	76	
X	51	1,0	41	
XI	69	2,0	12	
XII	67	5,0	-	
Рік	645	44	581	
Варіант 7, 17 Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Лісова - с.мт Романів				
Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	64	6,0	-	
II	59	6,0	-	
III	60	27	18	
IV	66	18	36	
V	76	9,0	79	
VI	89	4,0	103	
VII	76	7,0	122	
VIII	78	3,0	116	
IX	56	4,0	79	
X	68	5,0	43	
XI	72	5,0	12	
XII	74	7,0	-	
Рік	838	101	608	
Варіанти 8, 18. Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Уж - с. Вороневе				
Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	44	1,0	-	
II	39	4,0	-	
III	38	12	-	
IV	46	8,0	31	

Продовження табл. 1.2

V	56	5,0	72	
VI	69	2,0	104	
VII	58	1,0	109	
VIII	56	1,0	98	
IX	36	3,0	62	
X	48	2,0	31	
XI	52	3,0	11	
XII	53	2,0	-	
Рік	595	44	518	

Варіант 9, 19 Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Случ - с. Більчаки

Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	34	2,0	-	
II	29	4,0	-	
III	32	12	-	
IV	37	8,0	31	
V	47	5,0	67	
VI	67	3,0	98	
VII	64	2,0	101	
VIII	49	1,0	93	
IX	33	1,0	59	
X	43	1,0	29	
XI	41	2,0	19	
XII	38	2,0	-	
Рік	514	43	487	

Варіант 10, 20. Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Тетерів - с. Дениші

Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	52	3,0	-	
II	47	7,0	-	
III	48	34	14	
IV	54	32	28	
V	63	6,0	65	
VI	72	3,0	87	
VII	75	2,0	100	
VIII	65	3,0	94	
IX	46	4,0	65	
X	54	3,0	34	
XI	61	3,0	9	
XII	63	5,0	-	
Рік	700	105	496	

Приклад виконання завдання 2

Розрахувати загальну зміну запасів води в басейні р. Дзеркальної - с. Березівка по місяцях за 2005 календарний рік і проаналізувати розрахований водний баланс за допомогою комплексного інтегрального графіка елементів балансу.

Вихідні дані:

Елементи водного балансу: опади (X), стік (Y) і випаровування (E) у мм по місяцях за календарний рік для басейну р. Дзеркальної - с. Березівка наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Дзеркальна - с. Березівка

Місяць	Елементи водного балансу, мм		
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)
I	30	1,0	2,0
II	37	1,0	6,0
III	37	2,0	11
IV	75	66	46
V	27	8,0	95
VI	84	3,0	100
VII	43	3,0	75
VIII	88	2,0	60
IX	29	3,0	43
X	53	3,0	19
XI	90	3,0	8,0
XII	47	2,0	1,0
Рік	640	97	466

Розрахунок:

1. Визначаємо зміну запасів води в басейні річки за кожний місяць і за рік за формулою:

$$S = X - Y - E,$$

$$S_I = 30 - 1,0 - 2,0 = 27 \text{ (мм)}$$

$$S_{II} = 37 - 1,0 - 6,0 = 30 \text{ (мм)}$$

$$S_{III} = 37 - 2,0 - 11 = 24 \text{ (мм)}$$

...

$$S_{\text{рік}} = 640 - 97 - 466 = 77 \text{ (мм)}$$

Заносимо результати розрахунку у графу 5 таблиці (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 - Водний баланс по місяцях за календарний рік р. Дзеркальна - с. Березівка

Місяць	Елементи водного балансу, мм			
	Опади (X)	Стік (Y)	Випаровування (E)	Зміна запасів води в басейні (ΔS)
I	30	1,0	2,0	27
II	37	1,0	6,0	30
III	37	2,0	11	24
IV	75	66	46	-37
V	27	8,0	95	-76
VI	84	3,0	100	-19
VII	43	3,0	75	-35
VIII	88	2,0	60	26
IX	29	3,0	43	-17
X	53	3,0	19	31
XI	90	3,0	8,0	79
XII	47	2,0	1,0	44
Рік	640	97	466	77

2. Виконуємо послідовне підсумовування місячних сум елементів водного балансу. Тобто значення X , Y , E потрібно додавати помісячно. Наприклад, для опадів для першого місяця з табл. 4 переписуємо значення 30.

Для другого місяця сумуємо значення першого і другого місяців

$$X_1 + X_2 = 30 + 37 = 67.$$

Для третього місяця

$$X_1 + X_2 + X_3 = 30 + 37 + 37 = 104.$$

Так само розраховуємо інтегральні показники для стоку та випаровування.

Потім знаходимо $\Sigma (Y + E)$.

Заносимо результати у таблицю (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 - Інтегральні зведені дані елементів водного балансу (мм) р. Дзеркальна - с. Березівка

Місяць	ΣX	ΣY	ΣE	$\Sigma (Y + E)$
I	30	1	2	3
II	67	2	8	10
III	104	4	19	23
IV	179	70	65	135
V	206	78	160	238
VI	290	81	260	341
VII	333	84	335	419
VIII	421	86	395	481
IX	450	89	438	527
X	503	92	457	549
XI	593	95	465	560
XII	640	97	466	563

3. За даними таблиці 1.5 викреслюємо комплексний інтегральний графік елементів водного балансу (суми елементів відносяться на кінець кожного місяця) (рис. 1.2).

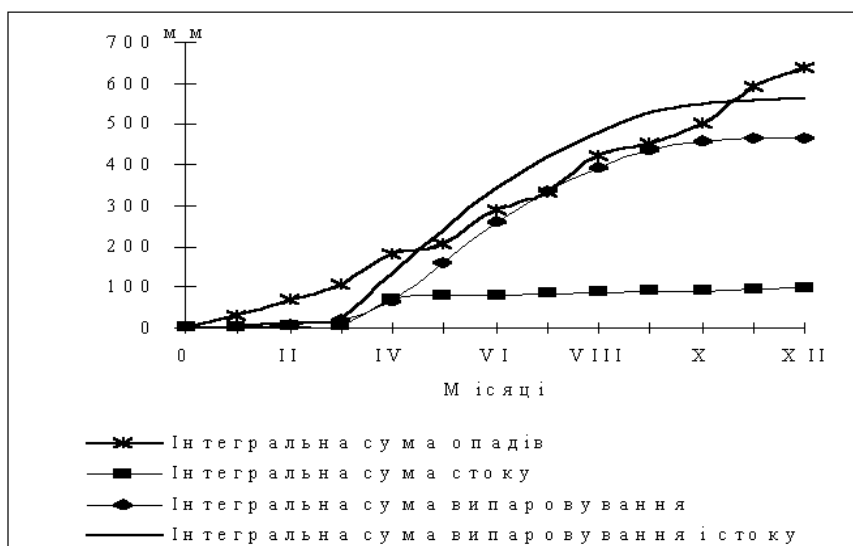


Рис. 1.2. Комплексний інтегральний графік елементів водного балансу

4. Проаналізуємо зміни прибуткових і витратних елементів $\sum X$, $\sum Y$, $\sum E$, $\sum (Y + E)$ (табл. 1.5).

Отримані результати показали, що у період з січня по березень відбувається наростання опадів та запасів води у вигляді снігу при дуже незначному зростанні випаровування і стоку. З квітня почалося сніготанення, в зв'язку з чим спостерігалось зменшення запасів води, зростання стоку і випаровування. З травня по грудень стік поступово зростає і досягнув до кінця періоду 97 мм, сумарне випаровування до кінця року досягнуло 466 мм, що в сумі склало 563 мм.

Зміна запасів вологи в басейні за рік склала

$$\Delta S = \sum X - \sum Y - \sum E = 640 - 563 = 77 \text{ мм.}$$

Контрольні питання

1. Який процес називається кругообігом води в природі?
2. Назвіть основні рушійні сили кругообігу води. Яка їх роль?
3. Які елементи включає в себе рівняння водного балансу?
4. Чим характеризується малий та великий вологообіги?
5. Охарактеризуйте материкову та океанічну ланки вологообігу.
6. Які області називають безстічними? Назвіть найбільші безстічні області земної кулі.
7. Яке значення кругообігу води на земній кулі?

Практичне заняття № 2

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ ПРИРОДНИХ ВОД ТА СПОСОБАМИ ЙОГО ВИРАЖЕННЯ

Мета: Вивчення хімічного складу природних вод. Ознайомлення з методами обробки та представлення результатів хімічного аналізу вод.

Теоретичні відомості

Природні води представляють собою розчини, для яких, на відміну від штучних розчинів, характерні специфічність якісного та кількісного складу для різних водних об'єктів, яка обумовлена не лише фізичними умовами середовища, а й біологічними процесами. Від хімічного складу води залежать її фізичні властивості – температура замерзання, величина випаровування, прозорість, характер протікання хімічних реакцій.

Дани про хімічний склад вод широко застосовуються при водопостачанні, гідротехнічному будівництві, зрошенні, веденні рибного господарства. Систематичні гідрохімічні дослідження входять до комплексу заходів боротьби із забрудненням природних вод.

1.1 Способи вираження концентрації розчинів

Для позначення концентрацій розчинів існують різні способи.

1. *Масова концентрація* – відношення маси деякого компонента, який міститься в розчині, до загального об'єму розчину. Виражається в грамах на літр (г/л) або грамах на кубічний дециметр (г/дм³) (або кратних їм одиницях: г/мл, мг/л, мг/мл тощо).

При визначенні таких понять, як молярна концентрація, молярна концентрація еквівалента, моляльна концентрація, використовується вираз «кількість речовини».

Кількість речовини – основна величина, яка характеризує розмір порції речовини кількістю одиниць, що містяться в ній. Одиницею кількості речовини є моль. Наприклад, $n(\text{Ca}^{2+}) = 2$ моль; $n(\text{CH}_4) = 25$ кмолів.

Під *молем* розуміють кількість речовини, маса якої, виражена в грамах, чисельно дорівнює її молекулярній масі, вираженій в атомних одиницях маси (а.о.м.), що визначаються як 1/12 частина маси атома ізотопу ¹²C, яка дорівнює $1,66056 \cdot 10^{-24}$ г.

Моль поширений на будь-які види реальних і умовних частинок. Під реальними частинками розуміють молекули, атоми, іони, електрони, радикали, під умовними – еквіваленти. Відповідно можна говорити про моль молекул, моль іонів, моль електронів.

2. *Молярна концентрація* – концентрація кількості речовини $c(x)$ – відношення кількості речовини $n(x)$ в молях, яка міститься в розчині, до загального об'єму V розчину, тобто

$$c(x) = \frac{n(x)}{V}.$$

Одиницею молярної концентрації є моль/м³. Звичайно використовується моль/л або моль/дм³. Приклади наведення молярної концентрації: $c(\text{HCl}) = 0,1$ моль/л; $c(\text{NH}_4^+) = 0,2$ моль/л.

3. *Моляльна концентрація*, чи моляльність $b(x)$ – відношення кількості речовини $n(x)$ в молях, яка міститься в розчині, до маси розчинника m :

$$b(x) = \frac{n(x)}{m}.$$

Одиницею моляльності є моль/кг, наприклад, $(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O})=0,1$ моль/кг.

4. *Молярна концентрація еквівалента* $c(\frac{1}{z}x)$ - відношення кількості речовини $n(\frac{1}{z}x)$ еквівалента до об'єму V розчину:

$$c(\frac{1}{z}x) = m / \left[M(\frac{1}{z}x) V \right], \text{ звідки } c(\frac{1}{z}x) = z c(x).$$

Одиницею є моль/л чи моль/дм³.

В деяких реакціях, зокрема нейтралізації, окислення – відновлення та іонообміну, бере участь не ціла частинка x , а її частина, яка називається еквівалентом, наприклад, $\frac{1}{2}$ моля сірчаної кислоти в кислотно – лужних реакціях чи $\frac{1}{5}$ моля перманганату калію для окисно – відновної реакції. Еквівалентом є $1/z$ моля речовини. При $z=1$ еквівалент ідентичний молю. Приклади вираження еквівалентів концентрації $c(\frac{1}{z})$, де z – число чи фактор еквівалентності:

$$c\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0,1 \text{ моль / л}; c\left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4\right) = 0,1 \text{ моль / л}.$$

Кількість речовини еквівалента $n(\frac{1}{z}x)$ - кількість речовини в молях, в якій частинками є еквіваленти, наприклад,

$$\left(\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+}\right) = 4 \text{ ммоль}; \left(\frac{1}{2} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 12 \text{ моль}.$$

5. *Молярна маса* $M(x)$ речовини, яка складається з частинок x , дорівнює відношенню маси m речовини до її кількості $n(x)$, тобто $M(x)=m/n(x)$.

Одиницею молярної маси M є г/моль. Наприклад, $M(\text{Ca})=40,08$ г/моль; $M(\text{HgCl})=236,045$ г/моль.

6. *Молярна маса еквівалента* $M\left(\frac{1}{z}x\right)$ - відношення молярної маси M , віднесеної до частинок x , до числа еквівалентності z :

$$M\left(\frac{1}{z}x\right) = M(x) / z.$$

Одиницею є кг/моль, звичайно застосовується одиниця – г/моль. Наприклад,

$$M(\text{HCl})=36,461 \text{ г/моль}; M\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4\right) = 45,019 \text{ г / моль}.$$

Молярна маса еквівалента чисельно дорівнює грам-еквіваленту (г-екв) і еквівалентній вазі, які застосовувались раніше. Останні поніття слід замінювати поняттям молярної маси еквівалента. Наприклад, 1 г-екв $\text{Ca}^{2+}=20$ слід записувати

$$M\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right) = 20 \text{ г / моль}.$$

1.2 Склад природних вод

Оскільки основна кількість води на Землі міститься в Світовому океані, середній склад природних вод близький до складу океанічної води. У океанічній воді знайдені практично всі елементи, але вміст їх різний. На вісім елементів — кисень (85,7%), водень (10,8%), хлор (1,93%), натрій (1,03%), магній (0,13%), сірка (0,09%), кальцій (0,04%), калій (0,039%) – приходить 99,78% маси води Світового океану. Вся решта елементів в сумі складає менше 1% від маси гідросфери.

Всі компоненти, які містяться у складі природних вод, поділяють на групи:

1. *Головні іони, або макроелементи* аніони - хлоридні (Cl^-), сульфатні (SO_4^{2-}), гідрокарбонатні (HCO_3^-), карбонатні (CO_3^{2-}); катіони - натрію (Na^+), калію (K^+), магнію (Mg^{2+}), кальцію (Ca^{2+}).

2. *Біогенні речовини*: сполуки азоту N, фосфору P, заліза Fe, кремнію Si. Це перш за все нітрати (NO_3^-), нітроти (NO_2^-), амоній (NH_4^+), фосфати (PO_4^{3-}). Ці речовини потрапляють у воду з атмосфери, ґрунту, при розкладанні органічних сполук, при скиданні у водні об'єкти промислових, сільськогосподарських і побутових вод. В природних водах їх мало (від тисячних до десятих долей міліграм в 1 м³), але вони мають важливе значення для розвитку життєвих процесів.

3. *Органічні речовини* – різноманітні органічні сполуки (органічні кислоти, складні ефіри, вуглеводи, білки, аміни, амінокислоти, ліпіди, гумінові кислоти та ін. Зустрічаються в природних водах переважно у вигляді вуглецю, кисню та водню, які складають 98,5% їхньої маси. Останні 1,5% становлять азот, фосфор, сірка, калій, кальцій та інші елементи.

4. *Розчинні гази*: O_2 , CO_2 , H_2S , CH_4 , N_2 та ін.

5. *Мікроелементи* – це речовини, які знаходяться в природних водах у дуже малих концентраціях, у мікрограмах на $дм^3$ ($мкг/дм^3$). Серед них виділяють: бром В, йод І, фтор F, літій Li, барій Ва; важкі метали: залізо Fe, нікель Ni, цинк Zn, кобальт Со, мідь Cu, кадмій Cd, свинець Pb, ртуть Hg та ін.

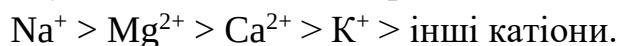
6. *Радіоактивні елементи* як природного (^{40}K , ^{87}Rb , ^{238}U , ^{226}Ra та ін.), так і антропогенного (^{90}Sr , ^{137}Cs та ін.) походження.

7. Особливе місце займають *іони Гідрогену*, які утворюються в результаті дисоціації вугільної кислоти ($H_2CO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$) і самої води ($H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$).

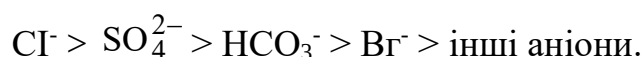
8. *Забруднюючі речовини* – нафтопродукти, ядохімікати (пестициди, гербіциди), добрива, миючі засоби та ін.

Наведені групи носять умовний характер, оскільки деякі елементи, наприклад кальцій і калій, засвоюються й необхідні організмам, як і біогенні, а концентрації останніх часто менші, ніж мікроелементів.

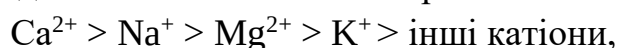
Серед головних катіонів, присутніх у воді Світового океану (табл. 2.1), переважаючими є (в порядку зменшення концентрації):



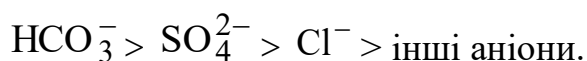
З аніонів у воді Світового океану переважають:



У річковій воді серед катіонів найбільш поширені:



а серед аніонів



Для середнього складу дощової води переважаючим катіоном є Na^+ , а аніоном - SO_4^{2-} . Проте необхідно відзначити, що для річкової і дощової води не тільки кількість розчинених солей, але і співвідношення між катіонами і аніонами, що найбільш часто зустрічаються, змінюється в широких межах залежно від територіальних особливостей місцевості.

Таблиця 2.1 - Середній склад природних вод

Іони	Вміст, ppm (млн ⁻¹)*		
	у водах Світового океану	у річковій воді	у дощовій воді
Катіони:			
Na ⁺	10560	5,8	1,1
Mg ²⁺	1270	3,4	0,36
Ca ²⁺	400	20	0,97
K ⁺	380	2,1	0,26
Аніони:			
Cl ⁻	18980	5,7	1,1
SO ₄ ²⁻	2650	12	4.2
HCO ₃ ⁻	140	35	1.2
Br ⁻	65	-	-
F ⁻	1	-	-

*Для виразу концентрації домішки в розчинах, як і для газів, іноді використовується поняття мільйонної частки (млн⁻¹, або в англійській транскрипції - ppm), проте у разі розчинів йдеться про масову частку. Так, 1 млн⁻¹ (мас.) означає вміст 1 г домішки в 1 т розчину. Уточнення «(мас.)» часто опускається.

1.3 Обробка і представлення результатів хімічного аналізу вод

У гідрохімічній практиці результати лабораторного аналізу хімічного складу природних вод зазвичай заносять у таблицю, в якій, крім результатів хімічного аналізу, вміщують відомості щодо: а) водного об'єкта і його розташування; б) дати відбору проб води (рік, місяць, число). До таблиці обов'язково вноситься сума іонів, яка характеризує мінералізацію води. Іони розташовують у такому порядку: Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ згідно з їхньою активністю (окрім Ca²⁺, активнішого за Mg²⁺).

Результати лабораторного аналізу хімічного складу природних вод зазвичай виражають у трьох формах:

- ваговій;
- еквівалентній (мг-екв/дм³);
- процент-еквівалентній (%-екв).

Результати аналізу проб води у ваговій формі виражаються відповідно до типу компонентів:

1) *головні іони* при загальній мінералізації води більш ніж 1 г/дм³ (г/л) звичайно виражаються в проміле (‰) чи г/кг, менш ніж 1 г/дм³ – в мг/дм³ (мг/л), оскільки за даних умов 1 дм³ води практично дорівнює 1 кг;

2) *розчинені гази* (O_2 , N_2 , CO_2 , H_2S , CH_4 тощо) – кількістю міліграмів, розчинених в 1 $дм^3$ води (мг/л, мг/дм³), а в океанологічній практиці – кількістю мілілітрів, які містяться в 1 $дм^3$ води (мл/л, мл/дм³, чи % за об'ємом);

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

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

Мінералізація води - сума всіх знайдених при аналізі мінеральних речовин. В океанології замість мінералізації використовується термін *солоність*.

Крім мінералізації, існує ще близьке до неї поняття *суми йонів* ($\sum i$), тобто сума всіх видів йонів в мг/дм³, концентрація яких перевищує 0,1 мг/дм³.

Важливе значення має еквівалентна форма вираження результатів. В еквівалентній формі всі речовини описують у тих хімічно рівноцінних одиницях, пропорційно до яких вони вступають між собою в реакцію і зв'язані в солях, перебуваючи в твердому стані.

Для переходу від масової до молярної концентрації еквівалентів слід числове значення маси поділити на числове значення молярної маси еквівалента або йонну вагу, яка є співвідношенням сумарної атомної маси іону та величини його заряду.

Наприклад, масовій концентрації HCO_3^- 0,189 г/дм³ відповідає молярна концентрація еквівалента:

$$C_{HCO_3^-} = 0,189 / 61,016 = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/дм}^3 = 3,1 \text{ ммоль/дм}^3.$$

Іонна вага сульфат-іону (SO_4^{2-}) становить $(32,065 + 16 \cdot 4) / 2 = 48,03$. Якщо вміст сульфату, виміряний у воді, складає 155 мг/дм³, його еквівалентна концентрація становитиме:

$$C_{SO_4^{2-}} = 0,155 / 48,03 = 3,23 \cdot 10^{-3} \text{ моль/дм}^3 \text{ або } 3,23 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Перерахунок від масової до молярної концентрації еквівалентів зручно проводити за допомогою коефіцієнтів (табл. 2.2). Перерахунок мг/дм³ у мг-екв/дм³ проводять множенням масової концентрації на коефіцієнт. А перерахунок від молярної концентрації еквівалентів до масової концентрації проводять множення на еквівалентну вагу відповідних іонів.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти для перерахунку та еквівалентна вага головних іонів

Іон	Коефіцієнт	Еквівалентна вага	Іон	Коефіцієнт	Еквівалентна вага
Na ⁺	0,0435	22,99	Cl ⁻	0,0282	35,46
Mg ²⁺	0,0822	12,16	SO ₄ ²⁻	0,0208	48,03
Ca ²⁺	0,0499	20,04	HCO ₃ ⁻	0,0164	61,02
K ⁺	0,0256	39,10	Br ⁻	0,0125	79,92

При порівнянні складу природних вод слід знати і співвідношення між іонами. Для цього використовується відносний вміст кількості речовини еквівалентів (КРЕ) від загальної суми іонів у воді. При цьому суми аніонів і катіонів беруться за 100%. Звідси відносний еквівалентний вміст будь – якого з іонів визначається виразом:

$$KPE_a = i \cdot 100 / \sum a; KPE_k = i \cdot 100 / \sum k;$$

де i – вміст іона, ммоль/дм³.

Еквівалентна форма дає змогу розраховувати кількість деяких головних іонів без аналітичного визначення. Зокрема, якщо не потребується окреме визначення Na⁺ і K⁺, то обчислити їх кількості можна за різницею сум еквівалентів. Сума еквівалентів Na⁺+K⁺ дорівнюватиме різниці еквівалентів аніонів і катіонів:

$$Na^+ + K^+ = (HCO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}).$$

Безумовно таке визначення досить неточне, бо воно включає всю суму похибок, накопичених під час окремих визначень. Для переведення молярної концентрації еквівалентів Na⁺+K⁺ (ммоль/л) у масову концентрацію (мг/л) використовують емпіричний коефіцієнт, який дорівнює для прісних вод 25, а для мінералізованих – 24. Останній коефіцієнт відповідає відношенню Na⁺/K⁺=7,05. Проте оскільки значення наведеного відношення коливаються в прісних і маломінералізованих водах у невеликих межах, і концентрації Na⁺ і K⁺ стосовно інших іонів невеликі, то похибкою можна знехтувати.

Точність аналізу води не перевищує 1% і тому досить обмежуватися трьома значущими цифрами. Наприклад, замість 2,843 мг/дм³ слід записувати 2,84 мг/дм³ або замість 41,59 мг/дм³ – 41,6 мг/дм³.

Результати визначень представляють у табличній формі, або, для наочного зображення даних хімічного складу – у графічній формі чи у вигляді формул, серед яких найчастіше використовують формулу сольового складу або формулу Курлова.

У таблиці аніони розміщують за порядком їх хімічної активності. Щодо катіонів цього правила не дотримано, оскільки більш активний кальцій стоїть

після магнію. Таке розміщення йонів зручне для комбінування при перерахуванні хімічного складу води з йонної форми в еквівалентну. Об'єднуючи еквівалентні кількості катіонів і аніонів в тому порядку, в якому вони розміщені, отримують сольовий склад води.

Формула Курлова спочатку використовувалась для відображення хімічного складу мінеральних вод, але зараз її використовують також для систематизації даних про склад прісних вод. Вона представляє собою псевдодріб, у числівнику якого вказують аніони (у %-екв) у порядку зменшення, у знаменнику – катіони у такому ж порядку. До формули підставляють зазвичай ті іони, вміст яких перевищує 10 %-екв. Величини %-екв округлюються до цілих значень.

Ліворуч від дробу скорочено показують величину мінералізації (М) і вміст специфічних компонентів (розчинені гази, радіоактивні речовини) у г/дм³ до першого десятинного знаку. Праворуч від дробу вказують температуру води у градусах Цельсія, величину дебіту води у м³/с, а також фізико-хімічні показники води (рН, Eh тощо):

$$pM = \frac{\text{аніони}(100\%)}{\text{катіони}(100\%)} T, Д,$$

де р – специфічні компоненти, які містяться у природних водах;

М – мінералізація води, г/л;

Т – температура води, °С;

Д – дебіт (для свердловин та джерел), л/с або м³/добу.

У формулі Курлова не існує загальноприйнятого принципу виділення головних йонів. Найчастіше для мінеральних вод як межу беруть 20 %, а для прісних – 25 %. У гідрохімічній практиці до головних відносять ті йони, вміст яких дорівнює чи більший 25 % кількості речовини еквівалента.

Наприклад, склад води однієї з свердловин в районі Шацького національного парку (Волинська область) за формулою Курлова можна виразити таким чином:

$$M_{0,42} \frac{HCO_3 52 SO_4 26 Cl 22}{Ca 56 Mg 32 K + Na 12} T_8 D_{15}.$$

В наведеному прикладі найменування складу води буде: гідрокарбонатно-сульфатна кальцієво-магнієва з мінералізацією 0,42 г, температурою 8°С і дебітом свердловини 15 л/с.

Формула сольового складу води відрізняється від формули Курлова тим, що в ній зазначені всі основні аніони і катіони, незалежно від їх вмісту, і не вказані температура і дебіт води. Формулою сольового складу води особливо зручно користуватися в тих випадках, коли необхідно проводити велику кількість аналізів, так як вона дозволяє спрощувати табличний матеріал і робити його більш наочним.

Вода отримує назву за першими двома аніонам і першими двома катіонам в порядку їх зменшення (якщо кількість другого аніона або катіона менше 10% екв., його назва опускається).

Виражені у вигляді цієї формули результати аналізу води складу (в мг-екв/л): $\text{HCO}_3^- = 5,0$; $\text{SO}_4^{2-} = 1,40$; $\text{Cl}^- = 1,64$; $\text{NO}_3^- = 0,16$; $\text{Ca}^{2+} = 2,46$; $\text{Mg}^{2+} = 0,82$; $\text{Na}^+ = 4,51$; $\text{K}^+ = 0,41$; сухий залишок - 466 мг/л, набувають вигляд:

$$\text{M}_{0,5} \frac{\text{HCO}_3 61 \text{Cl} 20 \text{SO}_4 17 \text{NO}_3 2}{\text{Na} 55 \text{Ca} 30 \text{Mg} 10 \text{K} 5}.$$

Назва води з наведеного прикладу буде: гідрокарбонатно-хлоридна натрієво-кальцієва.

Графічними способами представлення хімічного складу підземних вод є використання кругових діаграм, зокрема – графіку-кругу Н.І. Толстіхіна, трикутних та прямокутних діаграм, графіку-квадрату діаграми Стіфа тощо (рис. 2.1, а, б).

Наприклад, для зображення хімічного складу природних вод іноді використовують *діаграми-прямокутники*. Прямокутник поділяється навпіл, кожна з половинок – на три ділянки для аніонів і катіонів, які зображуються індексами іонів (штриховкою чи кольором). Кількісну характеристику у ммоль/дм³ наносять з урахуванням масштабу (рис. 2.1 в).

У гідрохімічній практиці застосовується *графік-квадрат Н.І. Толстіхіна*. Сторони цього квадрата поділено на 100 частин, які відповідають 100% кількості речовини еквівалента. На верхній стороні нанесено вміст $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, на нижній – $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, а на бокових – вміст $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3^{2-}$ і $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$. Значення концентрацій кожної пари катіонів змінюється на протилежних сторонах у зворотних напрямках, тому для нанесення на квадрат складу будь-якої води досить знати абсцису – $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ чи $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, у відсотках кількості речовини еквівалентів і ординату – одну з груп аніонів у відсотках кількості речовини еквівалента. Подібні за складом, а часто й за генезисом води розташовані на наведеному квадраті близько одна від одної, утворюючи природні угруповання (рис. 2.1 г).

Для графічного зображення хімічного складу вод з урахуванням окремого вмісту Ca^{2+} від Mg^{2+} і SO_4^{2-} від HCO_3 . користуються *трикутником Фере*. Один з трикутників (рис. 2.1 д) призначається для зображення катіонів, другий (е) – аніонів. У кожному трикутнику на основі значень (у відсотках) кількості речовини еквівалента наноситься точка, яка відповідає даному складу вод на графіку. Досить мати значення двох іонів у відсотках кількості речовини еквівалентів. Спочатку відкладають на стороні трикутника кількість речовини еквівалента у відсотках одного з іонів і проводять у напрямі другої сторони пряму лінію, паралельну третій. Аналогічно проводять лінію і на третій стороні трикутника. Перетин двох проведених ліній дає точку, що характеризує тип води.

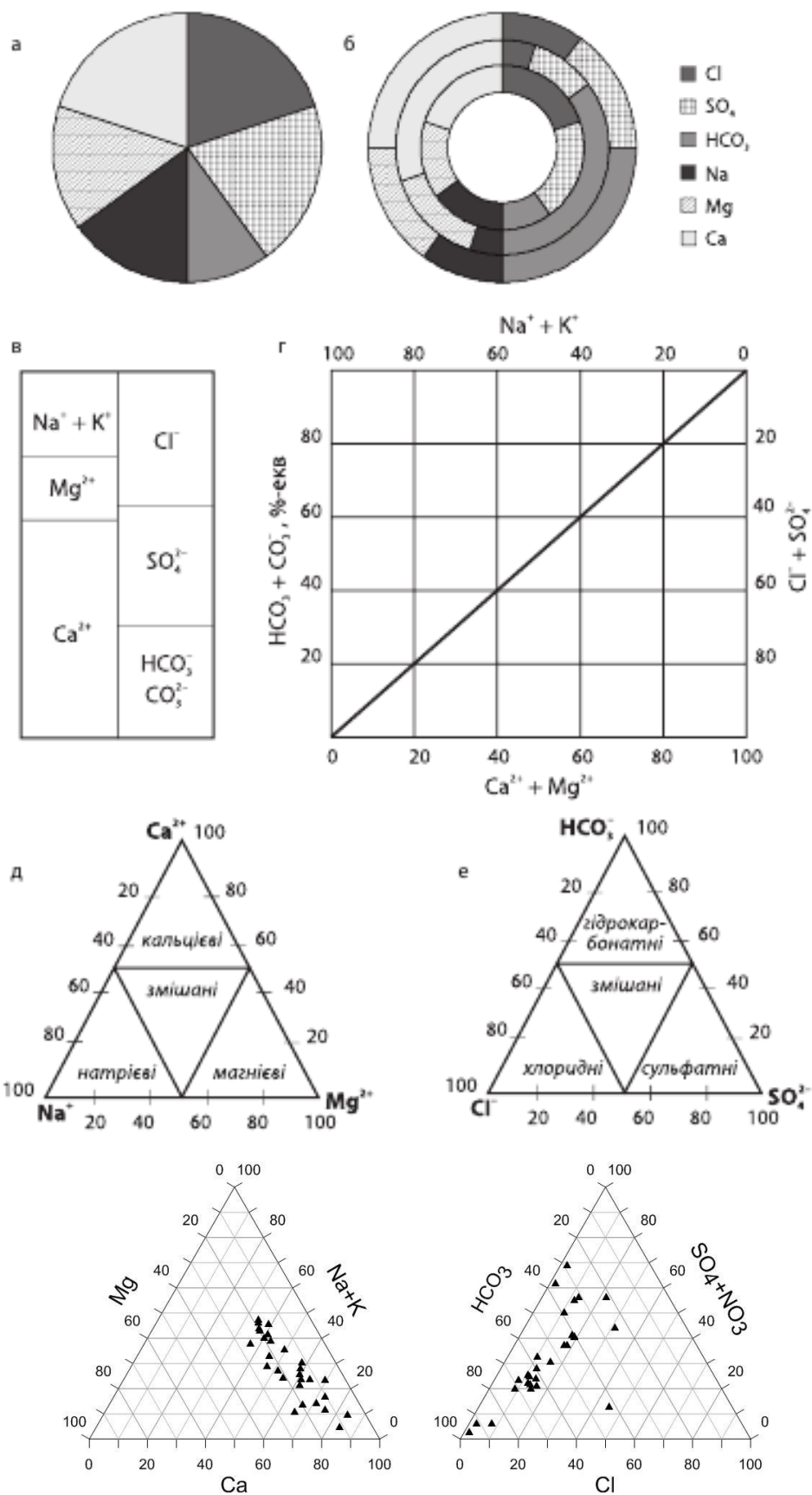


Рис.2.1 Приклади графічного зображення хімічного складу природних вод:
а, б – графік-круг Н.І. Толстіхіна, в – діаграма-прямокутник, г - графік-квадрат Н.І. Толстіхіна,
д, е – трикутник Фере, ж – трикутні діаграми

1.4 Класифікація вод за хімічним складом

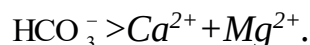
Розроблено багато підходів до систематизації даних про склад природних вод. Насамперед це класифікації, які ґрунтуються на різних принципах і використовуються з різною метою. Втім єдиної універсальної класифікації природних вод не існує. До найбільш вживаних належать класифікації У. Пальмера, С.О. Щукарева, Н.І. Толстихіна, В.О. Сулина, О.О. Алекіна. Для мінеральних вод найчастіше використовуються класифікації В.О. Олександрова, В.В. Іванова і Г.О. Невраєва, для розсолів – класифікація М.Г. Валяшко, для поверхневих вод – класифікація О.О. Алекіна. Вони досить прості і дістали широкого практичного застосування. Ці класифікації враховують лише головні іони (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) і катіони (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), які є в природних водах.

Найбільш поширеною в гідрохімічній практиці класифікацією природних вод за хімічним складом є класифікація О.О. Алекіна. В її основу покладено два принципи: переважання іонів і співвідношення між іонами. Переважаючими вважаються іони з найвищим відносним вмістом у процентах з перерахунком на кількість речовини еквівалента.

Всі природні води за переважаючим аніоном поділяються на три класи: гідрокарбонатні; сульфатні; хлоридні. За ними визначають у загальних рисах гідрохімічну характеристику води. До першого класу належить більша частина маломінералізованих вод річок, озер і деяких підземних вод. До третього – переважно високомінералізовані води океану, морів, соляних озер, підземні води закритих структур тощо. Води сульфатного класу за поширеністю й мінералізацією є проміжними між гідрокарбонатними і хлоридними. Генетично вони пов'язані з деякими осадовими породами.

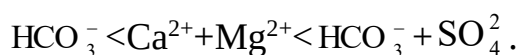
Кожний клас поділяється за переважаючим катіоном на три групи вод – кальцієву, магнієву і натрієву, кожна група – на чотири типи вод, які зумовлюються співвідношенням між іонами в еквівалентах.

Перший тип характеризується відношенням



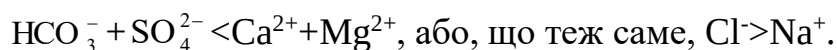
Води цього типу є лужними, м'якими, утворюються при розчиненні продуктів вивітрювання вивержених порід, які містять значну кількість натрію і калію. Також можуть утворюватись за рахунок обмінних реакцій між кальцієм вод і натрієм у ввібраному комплексі порід. Води першого типу найчастіше маломінералізовані, проте у безстічних озерах трапляються й з високою мінералізацією. До першого типу належать також деякі води нафтових родовищ.

Другий тип характеризується співвідношенням



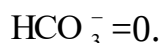
Води цього типу формуються при взаємодії з деякими осадовими породами і продуктами вивітрювання корінних порід. До цього типу належать більшість вод річок, озер і підземних вод малої та помірної мінералізації.

Третій тип співвідношенням



Генетично води цього типу є змішаними і метаморфізованими, формуються в результаті випарювання молекул води і катіонного обміну (звичайно Na^+ розчину на Ca^{2+} і Mg^{2+} ґрунтів і порід). До них належать води океану, морів, лиманів, багатьох соляних озер, більшість сильномінералізованих вод.

Четвертий тип характеризується виразом



Тобто води цього типу кислі й не належать до класу гідрокарбонатних вод, а лише до сульфатного і хлоридного класів у групах Ca^{2+} і Mg^{2+} , де перший тип відсутній. Кислі води формуються при вивітрюванні та розробці сульфатних родовищ і багатих на сульфід вугільних покладів; при вулканічній діяльності (*кратерні озера, гарячі джерела); при активних сульфатредуючих процесах (води грязьових вулканів і нафтових родовищ); у північних і вологих регіонах (тундрові води, води торф'яників і лісів). Це зумовлює належність до цього типу рудних, рудничних, болотних, вулканічних, а також вод, сильно забруднених промисловими стічними водами.

Класи, групи і типи позначаються відповідними символами: С – HCO_3^- , S – SO_4^{2-} , CL – Cl^- ; група – катіонами: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; тип – римською цифрою.

Символи записуються таким чином: C_I^{Ca} (гідрокарбонатний клас, група кальцієва, тип перший), $\text{S}_{II}^{\text{Mg}}$ (сульфатний клас, група магнієва, тип другий) або для складнішого випадку – $\text{SCL}_{III}^{\text{Na,Mg}}$ (сульфатно-хлоридний клас, група натрієво-магнієва, тип третій).

Другий аніон чи катіон вводиться в індекс, якщо його вміст до 5% у перерахунку на кількість речовини еквівалента поступається першому іону.

До індексу додається значення мінералізації (знизу, з точністю до 0,1 г/дм³) і загальної твердості (згори, з точністю до цілих одиниць речовини еквівалента у мілімолях на кубічний дециметр). Наприклад, вода р. Тетерів біля Житомира у 1994 р. класифікувалась як $\text{C}_{II,3}^{\text{Ca}4}$ (клас гідрокарбонатний, група кальцієва, тип другий, мінералізація 0,3 г/дм³, твердість 4 ммоль/дм³; інакше цю воду можна назвати так: гідрокарбонатна кальцієва другого типу).

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Проведіть обробку результатів хімічного аналізу річкової води за одним із варіантів, наведених у таблиці 2.3. Запишіть дані про склад води у вигляді формули сольового складу. Надайте назву води за хімічним складом.

Завдання 2. Охарактеризуйте річкову воду відповідно до класифікації О.О. Алекіна.

Номер варіанту відповідає номеру в списку журналу академічної групи.

Таблиця 2.3 – Концентрації головних іонів у воді деяких річок України

№ варіанту	Річка–пункт	Концентрація, мг/дм ³					
		HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
1	Десна – м. Чернігів	224,4	24,4	18,5	61,6	12,0	16,1
2	Ігулець – м. Кривий Ріг	229,1	453,5	1132,6	129,6	110,1	933,1
3	Дніпр – м. Київ	169,5	23,4	16,3	47,5	15,4	13,5
4	Сіверський Донець – с. Кружилівка	258,0	330,5	368,6	173,3	40,0	219,1
5	Тиса – м. Рахів	125,0	26,8	7,4	32,4	6,9	9,1
6	Салгир – с. Піонерське	286,5	70,8	22,6	101,4	15,8	21,8
7	Молочна – м. Токмак	267,7	1213,5	321,4	2557,4	301,1	146,1
8	Кальчик – м. Маріуполь	199,1	1243,6	557,4	271,8	80,7	494,6
9	Прут – м. Яремча	117,9	41,4	10,7	30,2	7,4	9,2
10	Західний Буг – м. Сомаль	291,2	68,7	53,2	95,9	18,5	31,1
11	Латориця – м. Мукачеве	128,3	38,4	15,6	35,6	10,8	7,2
12	Уж – м. Ужгород	113,7	29,4	17,2	32,2	8,9	7,7
13	Ворскла – с. Чорнеччина	363,9	71,9	25,6	70,2	23,6	51,3
14	Тясмин – с. Велика Яблунівка	482,5	70,4	45,8	85,9	34,7	83,8
15	Дністер – м. Галич	110,4	76,4	64,3	41,5	16,2	29,7

Приклад розрахунків

Завдання 1

Провести обробку результатів хімічного аналізу річкової води. Записати дані про склад води у вигляді формули сольового складу. Охарактеризувати склад річкової води за результатами обчислень.

Вихідні дані представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4– Вихідні дані

Річка–пункт	Концентрація іонів, мг/дм ³					
	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
Сіверський Донець – с. Огурцово	377,9	99,5	40,3	112,1	26,4	46,8

Рішення.

1. Визначаємо молярну концентрацію еквівалентів:

$$C_{\text{HCO}_3^-} = 377,9 / 61,018 = 6,19 \text{ ммоль/дм}^3;$$

$$C_{\text{SO}_4^{2-}} = 99,5 / 48,03 = 2,07 \text{ ммоль/дм}^3;$$

$$C_{\text{Cl}^-} = 40,3 / 35,453 = 1,14 \text{ ммоль/дм}^3;$$

$$C_{\text{Ca}^{2+}} = 112,1 / 20,04 = 5,59 \text{ ммоль/дм}^3;$$

$$C_{\text{Mg}^{2+}} = 26,4 / 12,15 = 2,17 \text{ ммоль/дм}^3;$$

$$C_{\text{N}^+ + \text{K}^+} = (6,19 + 2,07 + 1,14) - (5,59 + 2,17) = 1,64 \text{ ммоль/дм}^3.$$

2. Знаходимо відносний еквівалентний вміст іонів:

$$CKB_{\text{HCO}_3^-} = 6,19 \cdot 100 / 9,4 = 66 \text{ \% -екв};$$

$$CKB_{\text{SO}_4^{2-}} = 2,07 \cdot 100 / 9,4 = 22 \text{ \% -екв};$$

$$CKB_{\text{Cl}^-} = 1,14 \cdot 100 / 9,4 = 12 \text{ \% -екв};$$

$$CKB_{\text{Ca}^{2+}} = 5,59 \cdot 100 / 9,4 = 60 \text{ \% -екв};$$

$$CKB_{\text{Mg}^{2+}} = 2,17 \cdot 100 / 9,4 = 23 \text{ \% -екв};$$

$$CKB_{\text{N}^+ + \text{K}^+} = 1,64 \cdot 100 / 9,4 = 17 \text{ \% -екв}.$$

3. Визначаємо мінералізацію води:

$$377,9 + 99,5 + 40,3 + 112,1 + 26,4 + 46,8 = 703,0 \text{ мг/дм}^3 = 0,7 \text{ г/дм}^3.$$

4. Записуємо отримані дані у вигляді формули сольового складу.

Вихідні дані, дані розрахунків і формулу сольового складу заносимо у таблицю (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Приклад представлення результатів хімічного аналізу річкових вод

Іони	Сіверський Донець – с. Огурцово		
	Вміст, мг/дм ²	Кількість речовини-еквівалента	
		ммоль/ дм ² (мг-екв/дм ²)	% - екв
Аніони			
Cl ⁻	40,3	1,14	12

SO_4^{2-}	99,5	2,07	22
HCO_3^-	377,9	6,19	66
$\sum_a$	517,7	9,4	100
Катіони			
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	46,8	1,64	17
Mg^{2+}	26,4	2,17	23
Ca^{2+}	112,1	5,59	60
$\sum_k$	185,3	9,4	100
Мінералізація, г/дм ²	0,7		
Формула сольового складу	$M_{0,7} \frac{\text{HCO}_3 66 \text{SO}_4 22 \text{Cl} 17}{\text{Ca} 60 \text{Mg} 23 (\text{Na} + \text{K}) 17}$		

Відповідь: Вода гідрокарбонатно-сульфатна кальцієво-магнієва.

Завдання 2

Вихідні дані представлені в табл. 2.5.

Рішення.

Для визначення типу води підсумуємо концентрації катіонів кальцію і магнію в морській воді, виражені в ммоль-екв./дм³, і порівняємо суму з концентрацією гідрокарбонат-іона:

$$C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}} = 2,17 + 5,59 = 7,76 \text{ ммоль-екв./дм}^3 > C_{\text{HCO}_3^-} = 6,19 \text{ ммоль-екв./дм}^3.$$

Отже, річкова вода не відноситься до першого типу.

Порівняємо сумарну концентрацію аніонів HCO_3^- і SO_4^{2-} з сумарною концентрацією катіонів кальцію і магнію в морській воді:

$$C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{SO}_4^{2-}} = 6,19 + 2,07 = 8,36 \text{ ммоль-екв./дм}^3 < C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}} = 2,17 + 5,59 = 7,76 \text{ ммоль-екв./дм}^3 < C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{SO}_4^{2-}} = 1,14 + 2,07 = 3,21 \text{ ммоль-екв./дм}^3$$

Отже, річкова вода відноситься до другого типу.

Відповідь: За класифікацією Алексіна склад річкової води можна записати у вигляді $C_{II,0,7}^{Ca}$ - вода гідрокарбонатного класу, групи кальцієвої, другого типу, з мінералізацією 0,7 г/дм².

Контрольні питання

1. Які засоби вираження концентрації розчинів використовують в гідрохімічній практиці?
2. Які іони визначають хімічний склад природних вод?
3. Чим відрізняється склад морських вод і склад поверхневих вод суши?
4. В чому полягає обробка результатів хімічного складу природних вод?
5. В якому вигляді записуються дані про склад води у формулі Курлова?
6. Як визначаються типи природних вод за класифікацією О.О. Алекіна?
7. Які існують графічні способи представлення інформації про склад природних вод?

Практичне заняття № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ

Мета: сформувати загальне уявлення про річку, річковий басейн, його фізико-географічні характеристики та опанувати прийоми визначення гідрографічних характеристик річкового басейну.

Теоретичні відомості

Басейн річки - це частина суходолу, яка включає дану річкову систему, та обмежена *вододілом* (вододільною лінією, яка ділить стік атмосферних опадів по двох протилежних схилах). Вододільна лінія проходить по найвищих відмітках рельєфу, що розмежовують суміжні похили або водозбори сусідніх річок.

Басейн кожної річки включає в себе поверхневий і підземний водозбори.

Водозбір річки - це частина земної поверхні та товщі ґрунтів, звідки дана річка отримує своє живлення.

Поверхневий та підземний водозбір можуть не співпадати. Поверхневий водозбір охоплює площу земної поверхні, з якої води поступають в дану річкову систему або окрему річку. Підземний водозбір утворюється товщею ґрунтів, із яких води поступають в річкову мережу. Через значні труднощі в визначенні меж підземного водозбору при розрахунках та аналізі формування стоку за величину басейну приймають величину поверхневого водозбору.

Сукупність водотоків (річок, струмків, тимчасових водотоків, каналів), водойм (озер, водосховищ) та особливих водних об'єктів (боліт, льодовиків) у межах річкового басейну складають *гідрографічну мережу* басейну.

Сукупність природних та штучних водотоків називають *руською мережею*.

Частиною гідрографічної (та руслової) мережі є *річкова мережа*. Річкова мережа за характером малюнку може бути деревовидною (або центричною), прямокутною, центроспрямованою тощо.

Сума довжин усіх річок у межах басейну або будь-якої території дає *довжину річкової мережі L*.

Відношення довжини річкової мережі до площі басейну характеризує *густину річкової мережі* басейну або території, що має розмірність км/км².

Річкову систему складають головна річка, що впадає до приймальної водойми (океану, моря, безстічного озера, та усі впадаючи до неї притоки різного порядку. У якості головної річки у різних випадках вважають або найбільш довгу річку в басейні, або найбільш багатоводну річку.

Річкова мережа дренує басейн з тенденцією до охоплення усієї площі водозбору при мінімальній затраті енергії, тому вона розвивається за певними закономірностями. Вперше закономірності формування рисунку річкової мережі були відзначені Р. Хортоном (1946), який запропонував класифікувати водотоки річкової мережі за порядками. За Хортоном кожен елементарний водотік розглядається як водотік першого порядку, водотік з допливом першого порядку – як водотік другого порядку і будь який водотік з допливом порядку « x » розглядається як водотік порядку « $x+1$ ». При злитті річок вищий порядок надається довшому водотоку (рис. 3.1).

Класифікації Хортона і Стралера згодом були удосконалені і використовувались у гідрометричному аналізі для різноманітних досліджень. Вони увійшли до складу гідрологічних модулів програмного забезпечення геоінформаційних систем (ГІС). Зокрема у модулі ESRI ArcGIS Desktop, Spatial Analyst, Arc Hydro Tools передбачено автоматизовану ідентифікацію порядків водотоків за класифікаціями Стралера і Шріве.

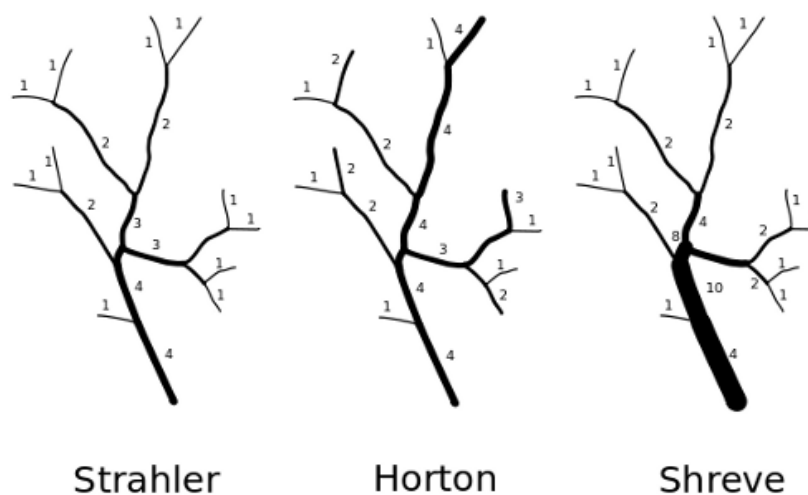


Рис. 3.1 Класифікації порядків водотоків річкової мережі

Класифікацію Хортона доцільно використовувати при визначенні головної річки.

Головною річкою називають водотік від гирла до витoku Проте зауважимо що ідентифікувати витік річки можна за гідрографічними та гідронімічними ознаками. За гідрографічним підходом у місці злиття двох приток пріоритет у визначенні головної річки надається тій притоці яка є довшою. За гідронімічним підходом основною ідентифікуючою ознакою річки є її назва. Однак вчені часто зустрічаються з випадками, коли річка, починаючи від гирла, має різні назви. Тому за умовний витік головної річки можна приймати місце де річка змінює

свою назву. Такий підхід до визначення головної річки вимагає проведення ґрунтовних топонімічних досліджень.

В Україні діє класифікація річкових басейнів за площею водозбору:

- великі (понад 50 тис. км²),
- середні (2,0 -50 тис. км²);
- малі - до 2,0 тис. км² (ст. 79 ВКУ).

Такий поділ існував ще у Водному кодексі колишнього СРСР.

Згідно з вимогами ВРД ЄС для ідентифікації річкових басейнів використовується узгоджена система показників (дескрипторів), яка включає:

- розташування басейну в певному екорегіоні;
- тип басейну за висотою;
- тип басейну за площею водозбору;
- тип басейну за літохімічними ознаками (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Типологія басейну річки Прут в межах України (підкреслено дескриптори верхів'я річки)

Дескриптори	
Екорегіон	<u>Карпати</u> , Східні рівнини
Типи за висотою	<u>гірські</u> : > 800 м
	середньо-височинні: 200 - 800 м
	низинні: < 200 м
Типи за площею водозбору	<u>малі</u> : 10 - 100 км ²
	середні: > 100 - 1000 км ²
	великі: > 1000 - 10000 км ²
	дуже великі: > 10000 км ²
Типи за літохімічними ознаками	вапнякові
	<u>кремністі</u>
	органічні

Типологія басейнів за ВРД ЄС використовується в Україні як допоміжна при виділенні масивів поверхневих вод для розробки планів управління річковими басейнами, тому що для визначення масивів вод необхідно використовувати методики, які створена на основі вимог ВРД ЄС.

При внесенні ж змін і доповнень у Водний кодекс України у 2016 р. класифікація річкових басейнів за площею залишилась незмінною.

У 2016 р. Верховною Радою України було затверджено гідрографічне районування території України за басейновим принципом. Згідно схеми гідрографічного районування на території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу виділяються дев'ять районів річкових басейнів:

- 1) басейн Дніпра;
- 2) басейн Дністра;
- 3) басейн Дунаю;
- 4) басейн Південного Бугу;
- 5) басейн Дону;
- 6) басейн Вісли;
- 7) басейн річок Криму;
- 8) басейн річок Причорномор'я;
- 9) басейн річок Приазов'я.

Також було виділено дев'ять їх суббасейнів.

Майже всі річки України належать до басейну Чорного і Азовського морів, крім району басейну р. Вісла (р. Західний Буг та р. Сан), який належить до басейну Балтійського моря і займає всього 2,5 % території країни (рис. 3.2).

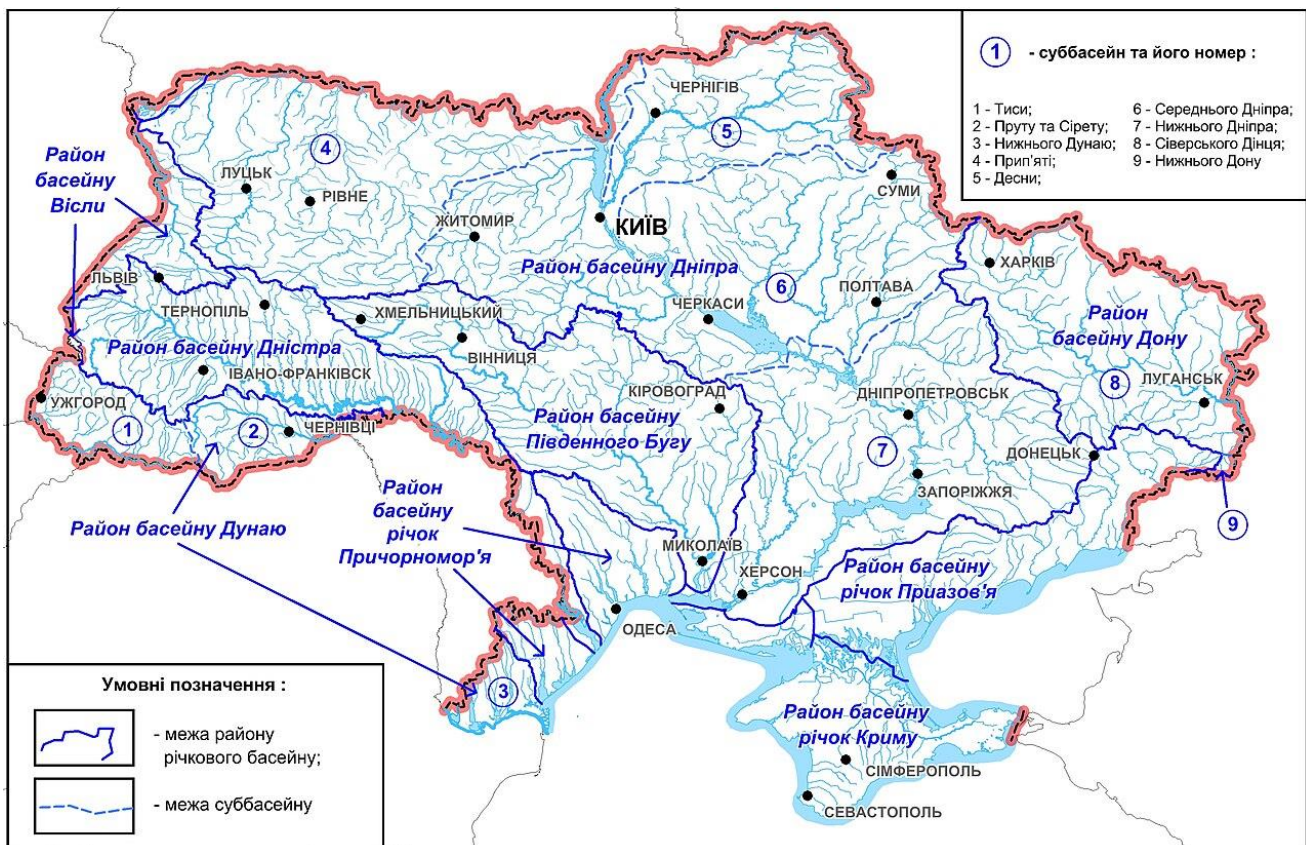


Рис. 3.2. Гідрографічне районування України за басейновим принципом

Розрізняють фізико-географічні та морфометричні характеристики річкового басейну.

До найголовніших фізико-географічних та геологічних характеристик річкового басейну відносяться:

1) *географічне положення* басейну на континенті, яке може бути виражене через віддаленість (в км) від океану, широту й довготу центру та крайніх точок басейну;

2) *географічна зона* (зони) або висотний пояс;

3) *геологічна будова, тектоніка*;

4) *гідрогеологічні умови*;

5) *фізичні та водні властивості підстилаючих ґрунтів*;

6) *рельєф*, який може бути охарактеризований кількісно через середню висоту басейну і середній нахил басейну (формули для розрахунку наведено нижче);

7) *клімат* (характер циркуляції атмосфери, режим температури та вологості повітря, кількість та режим атмосферних опадів, випаровування);

8) *ґрунтово-рослинний покрив*, який можна охарактеризувати даними про долю площі басейну (в %), що зайнята лісами (коефіцієнт лісистості) та площу певного типу ґрунту в межах басейну;

9) *наявність та особливості інших водних об'єктів* - озер, боліт, льодовиків, які мають значний вплив на формування стоку річки. Їх наявність та ступінь покриття поверхні водозбору визначаються відповідними коефіцієнтами:

- *коефіцієнт лісистості* $K_{\text{ліс}}$ – це відношення площі лісів ($f_{\text{ліс}}$), розташованих в басейні, до загальної площі басейну (F):

$$K_{\text{ліс}} = \frac{f_{\text{ліс}}}{F} 100, \%, \quad (3.1)$$

- *коефіцієнт озерності* ($K_{\text{оз}}$) – це відношення площі озер ($f_{\text{оз}}$), розташований у басейні, до загальної площі басейну (F);

$$K_{\text{оз}} = \frac{f_{\text{оз}}}{F} 100, \%, \quad (3.2)$$

- *коефіцієнт заболоченості* ($K_{\text{бол}}$) – це відношення площі боліт ($f_{\text{бол}}$), що знаходяться в басейні, до загальної площі басейну (F):

$$K_{\text{бол}} = \frac{f_{\text{бол}}}{F} 100, \%, \quad (3.3)$$

10) *розораність та урбанізованість річкового басейну*. Найважливіша особливість будь-якого річкового басейну - це *ступінь його перетворення* господарчою діяльністю. При цьому слід розрізняти штучне перетворення поверхні басейну (знищення лісів, розорення земель та інші агролісотехнічні заходи, зрошувальні та осушувальні меліорації) та штучне перетворення гідрографічної мережі басейну та режиму самих річок (створення гребель та водосховищ, каналів, шлюзів, здійснення інших гідротехнічних заходів у річищах річок, регулювання, вилучення та переніс стоку та ін.).

Коефіцієнт розораності характеризує ступінь порушення поверхні водозбору оранкою та являє собою відношення сумарної площі ріллі на водозборі $f_{розор.}$ до загальної площі водозбору (F), виражене у відсотках:

$$K_{розор.} = \frac{f_{розор.}}{F} 100, \% \quad (3.4)$$

Коефіцієнт урбанізованості – це відношення сумарної площі, зайнятої населеними пунктами, об'єктами промислового та дорожнього будівництва $f_{урб.}$, до загальної площі водозбору (F):

$$K_{урб.} = \frac{f_{урб.}}{F} 100, \%. \quad (3.5)$$

До морфометричних характеристик річкового басейну належать показники, що характеризують особливості геометричної будови річкових водозборів. Тобто це кількісне вираження розмірів долини, русел річок, руслових утворень, чаш озер, боліт та їх водозаборів (наприклад, ширина русла, площа водозбору, звивистість русла, довжини берегової лінії озера і таке інше). Визначають ці елементи за топографічними картами масштабу 1 : 1 000 000 і крупнішими.

Основними морфометричними характеристиками річкового басейну є:

1. *Площа басейну (водозбору) річки (F , км²)* безпосередньо визначає водність річки: чим більший водозбір, тим повноводніша річка при однакових інших фізико-географічних умовах. Площа водозбору визначається за картою за допомогою планіметра або палетки, або графічним методом.

2. *Довжина басейну (L_b , км)* – це відстань по прямій від гирла чи замикаючого створу до найвіддаленішої точки на вододільній лінії. При зігнутій формі басейну лінію його довжини проводять через середини поперечників, що перетинають площу водозбору перпендикулярно до напрямку головної річки.

3. *Середня ширина басейну ($B_{сер.}$, км),* відношення площі басейну (F) річки до його довжини (L_B):

$$B_{сер.} = \frac{F}{L_B}. \quad (3.4)$$

4. *Максимальна ширина басейну (B_{max} , км)* визначається по прямій, перпендикулярній до осі басейну у найширшій його частині.

5. *Середня висота басейну ($H_{сер.}$, м)* визначається за картою. Для цього визначають площі між сусідніми горизонталями (f) і середні висоти горизонталей (H), між якими знаходиться площа:

Середня висота водозбору (басейну) визначається за формулою:

$$H_{сер.} = \frac{(H_1 \cdot f_1 + H_2 \cdot f_2 + \dots + H_n \cdot f_n)}{F}, \quad (3.5)$$

де f_1, f_2, f_n – площа між сусідніми горизонталями, км²;

H_1, H_2, H_n – напівсуми відміток суміжних горизонталей, м;

F – площа всього басейну, км².

6. Середній похил поверхні басейну ($I_{сер}$), визначається за формулою:

$$I_{сер.} = \Delta H \cdot \frac{(0,5 \cdot l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1} + 0,5 \cdot l_n)}{F}, \quad (3.6)$$

де l – довжина відповідних горизонталей, м;

ΔH – висота перетину між горизонталями, м.

F – площа басейну, км².

7. Довжина вододільної лінії (S , км) – це довжина вододілу, яка вимірюється так само як і довжина річки.

8. Порізаність контуру басейну (m) або коефіцієнт розвитку довжини вододільної лінії – це відношення довжини вододільної лінії до довжини кола, що обмежує рівновелику водозборову площу круга.

Обчислюють за формулою:

$$m = \frac{0.282 S}{\sqrt{F}}, \quad (3.7)$$

де, S – довжина вододільної лінії, км;

F – площа басейну, км².

9. Асиметричність басейну характеризується коефіцієнтом асиметрії K_{ac} , який визначається за формулою:

$$K_{ac} = \frac{F_{л} - F_{пр.}}{F}, \quad (3.8)$$

де $F_{л}$, $F_{пр.}$, F – площа відповідно лівобережної частини водозбору та загальна його площа, км².

Завдання для самостійної роботи

Надати основні відомості про річку, яку обрати самостійно та узгодити свій вибір з викладачем. Описати фізико-географічні характеристики басейну річки.

Використовуючи топографічну карту, окреслити межі басейну річки з нанесенням вододільної лінії та визначити основні морфометричні характеристики річки.

Відомості про річку, фізико-географічні і морфологічні характеристики її басейну річки надати у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Основні відомості про р. _____ та її басейн

Характеристика річки
Р. _____ є притокою (якого) порядку. Бере початок _____
Фізико-географічні характеристики річкового басейну
Географічне положення басейну на континенті

<i>Географічна зона або висотний пояс</i>
<i>Геологічна та тектонічна будова</i>
<i>Гідрогеологічні умови</i>
<i>Рельєф</i>
<i>Клімат (характеристика циркуляції атмосфери, температура повітря, режим вологості, кількість атмосферних опадів, випаровування)</i>
<i>Ґрунтово-рослинний покрив</i>
<i>Лісистість</i>
<i>Характер річкової мережі</i>
<i>Наявність інших водних об'єктів</i>
<i>Озерність</i>
<i>Болотистість</i>
<i>Перетворення господарською діяльністю поверхні басейну</i>
<i>Штучне перетворення гідрографічної мережі басейну</i>
Морфометрічні характеристики басейну
<i>Площа басейну (водозбору) річки (F, км²)</i>
<i>Довжина басейну (L_b, км)</i>
<i>Середня ширина басейну ($B_{сер.}$, км)</i>
<i>Максимальна ширина басейну ($B_{мах.}$, км)</i>
<i>Середня висота басейну ($H_{сер.}$, м)</i>
<i>Середній похил поверхні басейну ($I_{сер.}$)</i>
<i>Довжина вододільної лінії (S, км)</i>
<i>Порізаність контуру басейну (m)</i>

Приклад визначення морфометричних характеристик басейну річки

Для виконання завдання обрано на топографічній карті річку Лісову. На рис. 3.3 представлена вкопійована з карти схема басейну р. Лісова.

Спочатку аналізуємо горизонталі земної поверхні, висотні відмітки. Лінію вододілу басейну річки проводимо на топографічній карті з урахуванням горизонталей земної поверхні та бергштрихів,

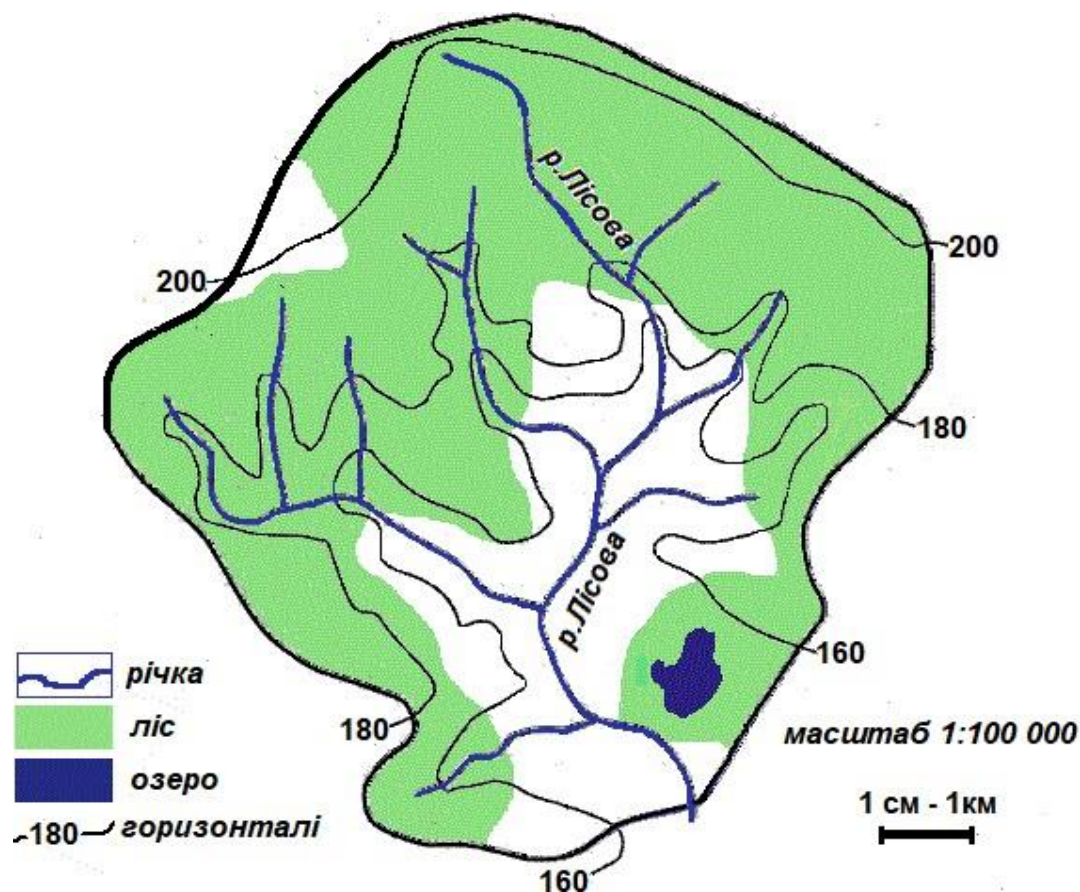


Рис. 3.3. Схема басейну річки Лісова

Площу басейну р. Лісова визначаємо за допомогою палетки з сіткою квадратиків зі стороною 2 мм. Площа кожного такого квадрата, враховуючи масштаб карти 1:100000 (тобто, в 1 см - 1 км), складає 0,04 км².

Для визначення розмірів площі водозбору р. Лісова у км² спочатку підраховано загальну кількість квадратиків в межах річкового басейну. Такий підрахунок проведено двічі. Загальна кількість квадратиків у 1-му підрахунку – 1103 квадрата, у другому – 1110. Різниця з двох підрахунків склала 7 квадратиків (1110-1103), а це 0,6% від загальної кількості квадратиків, тобто не перевищує 2%, тому за підсумковий результат загальної кількості квадратиків в межах басейну р. Лісова приймаємо середнє з двох підрахунків:

$$(1103+1110)/2 = 1106,5.$$

Знаючи площу одного квадрата (0,04 км²) та загальну кількість квадратиків в межах басейну р. Лісова (1106,5), розраховуємо його площу:

$$F = 1106,5 \cdot 0,04 = 44,26 \text{ км}^2.$$

Довжина басейну р. Лісова (відстань по прямій від найбільш віддаленої точки на лінії вододілу до гирла), виміряна лінійкою, склала 8,4 см. Враховуючи масштаб (1 см – 1 км), перераховуємо довжину у км:

$$L_6 = 8,4 \text{ см} \cdot 1 = 8,4 \text{ км}.$$

Середню ширину басейну р. Лісова розраховуємо за формулою (3.4):

$$B_{сер} = 44,26/8,4 = 5,27 \text{ км}.$$

Максимальна ширина басейну р. Лісова становить:

$$B_{макс} = 8,1 \text{ км}.$$

Коефіцієнт розвитку вододільної лінії басейну р. Лісова обчислюємо за формулою (3.7). Довжина вододільної лінії басейну визначена циркулем з поділкою циркуля 2 мм (можна курвіметром) з врахуванням масштабу $S = 26,3$ км. Тоді

$$m = 0.282 (26,3/\sqrt{44,26}) = 1,115.$$

Бачимо, що значення m трохи більше 1,0, тобто контур басейну мало відрізняється від форми кола.

Коефіцієнт асиметрії басейну розраховуємо за формулою (3.8). Для його визначення розраховуємо площі лівобережної ($F_{лів} = 24,76 \text{ км}^2$) і правобережної ($F = 19,5$) частин басейну.

Тоді, коефіцієнт асиметрії басейну р. Лісова дорівнює:

$$K_{ас} = (24,76 - 19,5)/44,26 = 0,119.$$

Аналіз схеми басейну р. Лісова показав, що в його межах є ліси та озеро. Боліт, сільськогосподарських угідь, населених пунктів немає.

Коефіцієнти лісистості та озерності басейну р. Лісова розраховуємо за формулами (3.1-3.2):

$$K_{ліс} = (29,5/44,26) \cdot 100 = 66,7\%,$$

$$k_{оз} = (0,61/44,26) \cdot 100 = 1,4\%.$$

Отримані дані заносимо в табл. 3.2.

Контрольні питання

1. Що таке басейн річки, яким чином він визначається і у чому полягає його роль у водогосподарському комплексі країни?
2. У чому полягає призначення вододільної лінії?
3. За якою формулою визначається середня висота водозбору і що вона характеризує?
4. Яким чином визначається площа водозабору?
5. Наведіть і охарактеризуйте головні морфометричні характеристики річкового басейну.
6. За яким признакам класифікуються річкові басейни в Україні?
7. Які показники використовуються для ідентифікації річкових басейнів за вимогами ВРД ЄС?
8. Перерахуйте річкові басейни, які виділяються згідно схеми гідрографічного районування на території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу.
9. Які суббасейни виділяються у районі річкового басейну Дніпра?

Практичне заняття № 4

РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК РІЧКОВОГО СТОКУ

Мета: ознайомлення з характеристиками річкового стоку та оволодіння методиками розрахунків його кількісних характеристик.

Теоретичні відомості

Водність – кількість води, яка виноситься ріками в середньому за рік.

Показником величини водності річок є середній багаторічний об'єм річкового стоку або середня багаторічна витрата води.

Стоком річки називають кількість води, що стікає з річкового басейна за якийсь проміжок часу, наприклад, за рік.

Нормою стоку називається його середня багаторічна величина, розрахована за достатньо тривалий період, який включає декілька повних парних (не менше двох) циклів коливання стоку з відносно незмінними фізико-географічними умовами та з однаковим рівнем господарської освоєності басейну річки.

Річковий стік формується під впливом чималої кількості різних чинників. Особливу групу становлять чинники, спричинені з господарською діяльністю людини.

Головними кліматичними чинниками стоку є опади, випаровування, температура, вологість і дефіцит вологості повітря, вітер. З перелічених чинників найважливішими вважають опади і випаровування, що безпосередньо впливають на стік. Наприклад, при наявності опадів та інтенсивному випаровуванні стік буде незначним. Якщо ж опади великі, а випаровування мале, то стік буде значним. Температура, вологість повітря і вітер впливають опосередковано на річковий стік.

Інші фізико-географічні чинники – геологічна будова, рельєф, ґрунти, рослинність, озерність, заболоченість, величина та форма басейну – деякою мірою безпосередньо впливають на стік. Найчастіше вони чинять вплив на кліматичні чинники і на величину втрат стоку.

Геологічні умови річкового басейну визначають можливість накопичення й витрачання підземних вод, що живлять річки. Пористі та шпаруваті гірські породи акумулюють воду, що надходить, і сприяють живленню річок. Значний вплив на стік має карст, який створює своєрідний комплекс форм рельєфу (вирви, улоговини, провалини тощо) унаслідок дії води на легкорозчинні гірські породи. Вплив карсту на річковий стік при різному характері водообміну може бути

негативним (у зоні поглинання стоку) і позитивним (у зоні розвантаження стоку) порівняно зі стоком річок незакарстованих басейнів цієї ж зони.

Вплив рельєфу на стік річок досить різноманітний. Дуже розчленований рельєф сприяє інтенсивному розвитку поверхневого стоку. При мало розчленованому рельєфі стік атмосферних опадів на схилах відбувається сповільнено, збільшується його інфільтрація у ґрунт та витрати на випаровування. Унаслідок цього поверхневий стік зменшується, а підземний - збільшується. Рельєф значною мірою впливає і на опади. У випадку збільшення висоти басейну зростає кількість опадів і знижується температура повітря, унаслідок чого зменшується випаровування і, відповідно, збільшується стік.

Вплив ґрунту відбивається на величині стоку через величину випаровування. Піщані ґрунти зазвичай зменшують поверхневий стік і менше випаровують вологи порівняно з малопроникними вологомісткими ґрунтами (глиною, суглинком, торфом тощо) та збільшують підземний стік. На малопроникних ґрунтах, навпаки, у зв'язку з малою інфільтрацією поверхневий стік збільшується, а підземний – зменшується. Наприклад, інтенсивність інфільтрації суглинкових і глинистих ґрунтів у 5–10 разів менша, ніж у піщаних та супіщаних ґрунтів. Мерзлі ґрунти незалежно від їхньої будови і типу стають водонепроникними і тому збільшують поверхневий стік.

Рослинний покрив створює додаткову шорсткість для схилового стоку і тому зменшує швидкість стікання води і збільшує інфільтрацію води в ґрунт, тобто сприяє зниженню поверхневого та підвищенню підземного стоку. Вплив лісу на річковий стік різний на великих і малих річках. На малих річках з неглибоким урізом русла під впливом інфільтраційної спроможності лісових ґрунтів відбувається переведення частини поверхневого стоку в підземний, який виклинюється у руслах великих річок, часто за межами даного басейну. Це спричиняє зменшення стоку малих річок. Вплив лісу на стік великих та середніх річок, які цілковито дренують підземні води, ще недостатньо вивчено. Вважають, що він неоднозначний і залежить від кліматичних умов зони. Наприклад, за Д.Л. Соколовським, у надмірно зволжених районах ліс зменшує, а в посушливих – збільшує річковий стік.

Озера є природними регуляторами поверхневого стоку. За рахунок акумуляції частини об'ємів повеней і паводків вони знижують максимальні витрати, віддають значну кількість води річкам у період межені і зменшують річковий стік унаслідок значно більшого випаровування з водної поверхні порівняно з випаровуванням з поверхні суші. У різних кліматичних зонах різниця у випаровуванні з озер і суші буде різною і зростатиме у напрямі з півночі на південь.

Вплив боліт на річковий стік може бути як позитивним, так і негативним. Дослідами встановлено, що в районах достатнього зволоження болота не знижують загальної величини річкового стоку, а в зоні надмірного зволоження навіть дещо збільшують її. Тим часом, в умовах недостатнього зволоження за рахунок підвищеного випаровування порівняно з випаровуванням з суші болота зменшують річковий стік.

У практиці гідрологічних розрахунків з метою обліку та зіставлення стоку для різних річок або для різних створів на одній річці використовують різні характеристики стоку. До основних характеристик стоку води річок відносяться: середня витрата води (Q , м³/с), модуль стоку води (M , л/с·км²), об'єм стоку води (W , м³, км³), шар стоку води (h , мм), коефіцієнт стоку (η).

Витрата води Q (м³/с) – кількість води, яка протікає крізь поперечний перетин річки (створ або пункт) за 1 с; характеризує водність річки у даному створі (пункті) в будь-який момент часу:

$$Q = V_{\text{сеп}} \cdot S, \quad (4.1)$$

де $V_{\text{сеп}}$ – середня швидкість потоку, м²/с;

S – площа перерізу («живої» течії), м².

Середні витрати води за будь-яких період часу (за декаду, місяць, сезон, фазу водного режиму, рік, ряд років тощо) можна розрахувати, знаючи середні добові витрати води. Для зіставлення водності річки у різних створів або для порівняння водності різних річок користуються значенням середньобагаторічної витрати (витрати річки за будь-який тривалий період).

Об'єм стоку W (м³, км³) – кількість води, яка протікає крізь поперечний перетин річки за деякий проміжок часу (за рік, місяць, добу), більший, ніж секунда:

$$W = Q \cdot T, \quad (4.2)$$

де Q – витрата води, м³/с;

T – час, кількість секунд за розрахунковий період; кількість секунд у добі – 86400 с; кількість секунд за один рік (365 діб) дорівнює $31,54 \cdot 10^6$ с.

Об'єм стоку залежно від водності, розміру річки і тривалості спостережень виражають в мільйонах кубічних метрів (10⁶) або кубічних кілометрах (1 км³=10⁹ м³) з зазначенням періоду, за який він визначається (км³ за добу, місяць, рік).

*Модуль стоку M , л/с*км²*, – кількість води в літрах, яка стікає з 1 км² площі водозбірного басейну за 1 с:

$$M = \frac{10^3 \cdot Q}{F}, \quad (4.3)$$

де 10^3 – перехідний коефіцієнт від м³/с до л/с, $1 \text{ м}^3 = 10^3$ л;

Q – середня витрата води, м³/с;

F – площа водозбірного басейну, км².

Модуль стоку дозволяє порівнювати водність даної річки з водністю інших річок.

Шар стоку (h , мм), буде отриманий, якщо об'єм стоку розподілити рівним шаром по всій площі водозбірного басейну:

$$h = \frac{10^3 \cdot W}{F \cdot 10^6} = \frac{W}{F \cdot 10^3} = \frac{Q \cdot T}{F \cdot 10^3}. \quad (4.4)$$

де W - об'єм стоку (м^3);

F - площа басейну (км^2);

10^3 - переведення метрів у мм;

10^6 - переведення км^2 у м^2 .

Об'єм середнього багаторічного стоку W_0 можна обчислити за формулою

$$W_0 = M \cdot T, \quad (4.5)$$

Коефіцієнт стоку η – величина, що показує відношення шару стоку (h , мм) з даної площі за якийсь проміжок часу до величини шару опадів (x , мм), що випали на цю площу за той же проміжок часу:

$$\eta = \frac{h}{x}. \quad (4.6)$$

Отриманий коефіцієнт стоку характеризує умови стоку води в річці (розораність басейну, наявність різноманітної підстилаючої поверхні, яка має різні умови фільтрації; ступінь антропогенної діяльності на території басейну – відсоткове співвідношення орних земель, пасовищ, сінокосів, міст, селищ до загальної площі басейну).

Модульний коефіцієнт K_i – відношення величини стоку за будь-який період до середнього багаторічного його значення за той же період:

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{W_i}{W_0} = \frac{M_i}{M_0} = \frac{Y_i}{Y_0}, \quad (4.7)$$

де Q_i , W_i , M_i , Y_i – характеристики стоку за прийнятий період,

Q_0 , W_0 , M_0 , Y_0 – середнє багаторічне значення характеристик стоку за той же період.

Модульні коефіцієнти стоку для кожного року визначаються шляхом ділення значення витрати даного року на середній багаторічний. Зауважимо, що сума модульних коефіцієнтів за розрахунковий ряд років повинна дорівнювати числу років.

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Визначити багаторічні характеристики стоку річки р. Білої у с. Миколаївського, (сумарний обсяг стоку, висоту шару стоку, модуль стоку і коефіцієнт стоку).

Вихідні дані:

- середні річні витрати Q_i , (табл. 4.1),
- площа басейну $F = 24\,600\text{ км}^2$,
- середній річний шар опадів $x = 892\text{ мм}$.

Період, для якого розраховуються характеристики стоку за варіантами, наведений у табл. 4.2.

Результати розрахунків оформлюємо у вигляді табл. 4.4.

Таблиця 4.1 – Середні річні витрати води

№ з/п	Рік	Витрата, м ³ /с	№ з/п	Рік	Витрата, м ³ /с
1	1978	98,8	14	1991	278
2	1979	131	15	1992	39,1
3	1980	105	16	1993	109
4	1981	84,4	17	1994	149
5	1982	166	18	1995	132
6	1983	78,5	19	1996	50,1
7	1984	66,9	20	1997	51,0
8	1985	37,7	21	1998	46,9
9	1986	66,5	22	1999	121
10	1987	135	23	2000	124
11	1988	37,7	24	2001	125
12	1989	118	25	2002	41,1
13	1990	161	26	2003	170

Таблиця 4.2 – Період для розрахунку

Номер варіанту	Період для розрахунку
1, 11	1978 - 1995
2, 12	1979 - 1998
3, 13	1980 - 2000
Номер варіанту	Період для розрахунку
4, 14	1985 - 2002
5, 15	1988 - 2000
6, 16	1981 - 2003
7, 17	1984 - 2003
8, 18	1990 - 2002
9, 19	1987 - 1998
10, 20	1987 - 2001

Завдання 2. Побудуйте діаграми водності основних річок України. Для побудови діаграм використати дані таблиці 5.3, відклавши по вертикалі (у масштабі 1 см – 10 м³/с) середні багаторічні значення витрати води. Зробити короткий письмовий аналіз діаграм та порівняти водність річок.

Таблиця 4.3 – Водний стік основних річкових басейнів України за багаторічний період

Номер варіанту	Річка – гідрологічний пост	Площа басейну, км ²	Середня багаторічна витрата води, м ³ /с
1	Тиса - смт. Вілок	9180	213
2	Тересва - с. Нересниця	1100	30,7
3	Ріка - м. Хуст	1130	36,8
4	Боржава - с. Шаланки	1100	20,9
5	Латориця - м. Мукачево	1360	25,7
6	Прут - м. Чернівці	6890	65,0
7	Дністер - с. Заліщики	24600	246
8	Дністер - м. Бендери	66100	339
9	Стрий - смт. ВерхнєСиньовидне	2400	41,4
10	Лімниця - с. Перевозець	1490	22,2
11	Бистриця - с. Ямниця	2450	29,0
12	Серет - м. Чортків	3170	13,7
13	Збруч - Завалівська ГЕС	3130	9,44
14	Південний Буг - с. Олександрівка	46200	91,5
15	Десна - с. Сосонка	1300	3075
16	Ігул - с. Новогорожено	6670	9,18
17	Західний Буг - м. Сокаль	6250	28,4
18	Прип'ять - м. Мозир	97200	383
19	Ігулець - с. Могилівка	9280	9,51
20	Сіверський Донець -с. Кружилівка	73200	161
21	Кальміус - смт. Приморське	3700	8,77
22	Горинь - с. Річиця	2700	96,8
23	Десна - м. Чернігів	81400	320
24	Сейм - с. Мутіно	25600	100
25	Дніпро - смт. Лоцманська Кам'янка	463000	1662
26	Рось - м. Корсунь-Шевченківський	103000	22,6
27	Сула - с. Галицьке	18700	40,9
28	Псьол - с. Запсельє	21800	50,6
29	Ворскла - с. Кобиляки	13600	30,6

Приклад виконання завдання 1

Визначити багаторічні характеристики стоку для р. Білої у с. Миколаївського, якщо відомі:

- сума середніх річних витрат за весь період років $\Sigma Q_i = 8282 \text{ м}^3/\text{с}$;
- число років в періоді $n = 34$ роки;
- площа басейну $F = 24\,600 \text{ км}^2$,
- середня річна висота опадів $x = 892 \text{ мм}$.

Розрахунок

1. Визначаємо першу характеристику середнього багаторічного стоку - середню багаторічну річну витрату за зазначений період.

Середня багаторічна річна витрата дорівнює:

$$Q_{\text{сер}} = \frac{\sum Q_i}{n} = \frac{8282}{34} = 243,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Користуючись обчисленим значенням $Q_{\text{сер}}$, визначаємо інші характеристики стоку.

2. Об'єм стоку

$$W = Q \cdot T = 243,6 \cdot 31,5 \cdot 10^6 = 7,68 \text{ км}^3.$$

3. Висота шару стоку

$$h = \frac{Q \cdot T}{F \cdot 10^3} = \frac{243,6 \cdot 31,5 \cdot 10^6}{24600 \cdot 10^3} = 312 \text{ мм}.$$

4. Модуль стоку

$$M = \frac{10^3 \cdot Q}{F} = \frac{1000 \cdot 243,6}{24600} = 9,9 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2.$$

5. Коефіцієнт стоку

$$\eta = \frac{h}{x} = \frac{312}{892} = 0,35.$$

Заносимо отримані дані у таблицю (табл. 5.4).

Таблиця 4.4 – Характеристики річкового стоку

№ з/п	Річка – гідрологічний пост	F, км ²	Q, м ³ /с	W, км ³	M, л/с	h, мм	η
1	р. Біла - с. Миколаївське	24 600	243,6	7,68	9,9	312	0,35

Контрольні питання

1. Що таке водність рік?
2. Як обчислити витрату води?
3. Що характеризує коефіцієнт стоку?
4. Які фізико-географічні чинники впливають на річковий стік?
5. Проаналізуйте вплив геологічної будови на річковий стік.
6. Проаналізуйте вплив рельєфу на річковий стік.
7. Проаналізуйте вплив ґрунтів на річковий стік.
8. Проаналізуйте вплив рослинності на річковий стік.
9. Який вплив озер і боліт на річковий стік?
10. Проаналізуйте вплив господарської діяльності на річковий стік.

Практична робота № 5

ПОБУДОВА ГІДРОГРАФУ СТОКУ ВОДИ ТА ЙОГО ГЕНЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ

Мета: оволодіти прийомами будови гідрографу стоку води за конкретний рік, поділом його за генетичними ознаками з виділенням окремих видів живлення річки; навчитись розраховувати їх частки від об'єму річного стоку.

Теоретичні відомості

Закономірні зміни в часі стоку, рівнів води, швидкостей течії, похилів водної поверхні тощо, називаються *водним режимом* річки. Водний режим залежить від сукупності фізико-географічних факторів, основними з яких є метеорологічні та кліматичні. Відомості про водний режим річок використовуються при вивченні інших характеристик (термічного та льодового режимів, режиму наносів, гідрохімічного режиму тощо), при проектуванні гідротехнічних споруд і населених пунктів.

В залежності від зміни умов живлення і сезонних особливостей водного режиму річок виділяють ряд характерних періодів або фаз: водопілля (повінь, повідь), паводок, межень.

Повінь (водопілля) – фаза водного режиму річки, яка щорічно повторюється у даних кліматичних умовах в один і той же сезон, характеризується найбільшою водністю, високим та тривалим підняттям рівня води.

За походженням повінь може бути сніговим, снігово-дощовим або дощовим, а за часом настання – весняним (танення снігу на рівнинах та невисоких горах), літнім (танення вічних снігів та льодовиків у горах і випадання мусонних дощів).

За формою гідрографа (графіка коливання щоденних витрат води) весняний та весняно-літній повінь найчастіше буває одновершинним, а літній – багатoverшинним, що зумовлюється коливанням температури повітря та інтенсивності дощів.

Паводок – фаза водного режиму річки, яка може багаторазово повторюватись у різні сезони року, характеризується інтенсивним, найчастіше короткочасним збільшенням витрат та рівнів води, викликається дощами чи таненням снігу під час відлиг у зимовий період. На відміну від водопіль паводки виникають нерегулярно. За часом настання паводки можуть бути зимовими, літніми, осінніми. Паводки поділяються на місцеві та транзитні.

Межень – фаза водного режиму річки, яка щорічно повторюється в один і

той же сезон, характеризується малою водністю, тривалими стояннями низького рівня і виникає внаслідок зменшення живлення підземними водами. За часом настання межень буває літньою та зимовою.

Надходження води в річку називається *живленням*, річки яке, насамперед, пов'язане з атмосферними опадами. Незважаючи на спільність атмосферного походження всіх річкових вод, надходження води в річку може бути різним. Виділяють *види живлення* річок: снігове, дощове, льодовикове, підземне. Від переважання того чи іншого виду живлення залежить водний режим річки, мінливість рівнів та кількості води в річці. Такі зміни можна прослідкувати за гідрографом стоку.

Гідрограф стоку – це графік зміни в часі витрат води за певний проміжок часу (рік, сезон, повінь, паводок) (рис. 5.1).

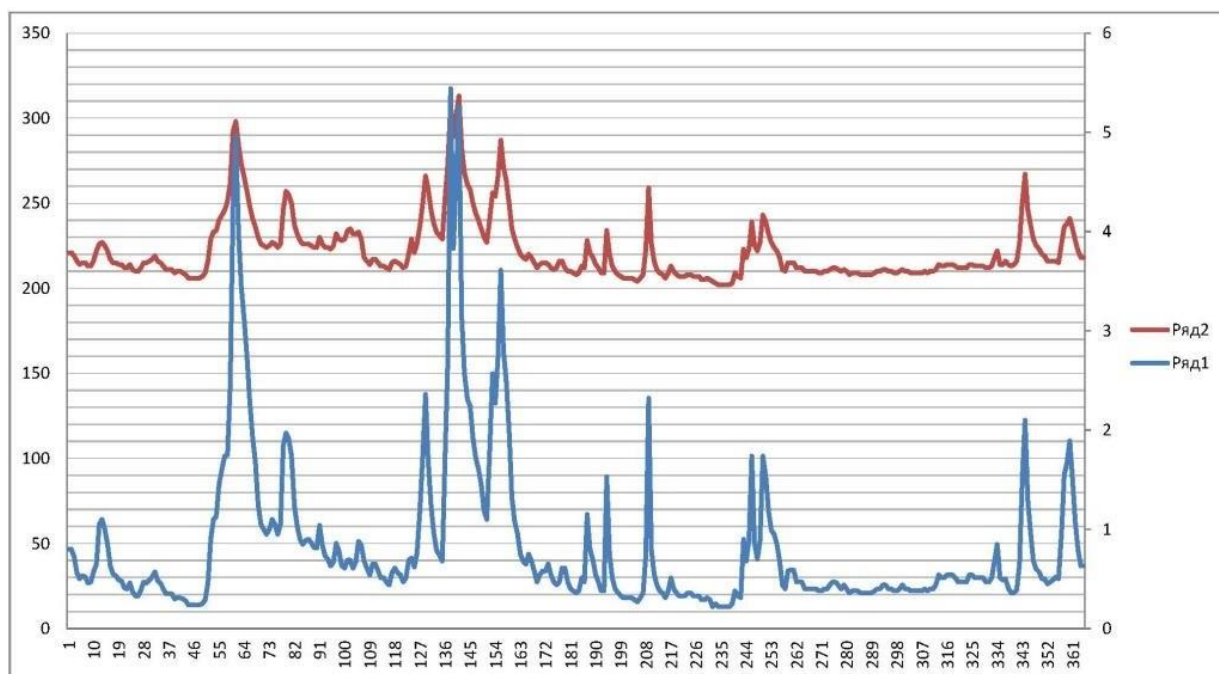


Рис. 5.1. Гідрограф (ряд 1) і графік зміни рівнів (ряд 2)

Загальне уявлення про зміни фаз водного режиму на протязі року дають типові графіки коливань витрат води. *Типовим* або *нормальним* вважають такий гідрограф, який відображує загальні риси гідрографів за ряд років і разом з тим звільнений від випадкових особливостей кожного року. При побудові типового гідрографа осереднюються за ряд років значення ординат (витрат) і абсцис (часу) характерних точок гідрографів окремих років (початок повені, настання максимуму, кінець повені тощо). За встановленими таким чином точками будують плавний гідрограф з таким розрахунком, щоб сумарний річний об'єм стоку, визначений за ним, дорівнював дійсному його значенню за багаторічний період.

Визначення внеску різних джерел живлення в річний стік води річки здійснюється на основі розчленування гідрографів річкового стоку.

Розчленування (сепарування) гідрографа – графічне виділення на гідрографі об'ємів води, зумовлених різними джерелами живлення (рис. 5.2). Розчленування гідрографів за джерелами живлення виконують з урахуванням особливостей режиму річки, умов надходження води від дощів, сніготанення та із підземних джерел.

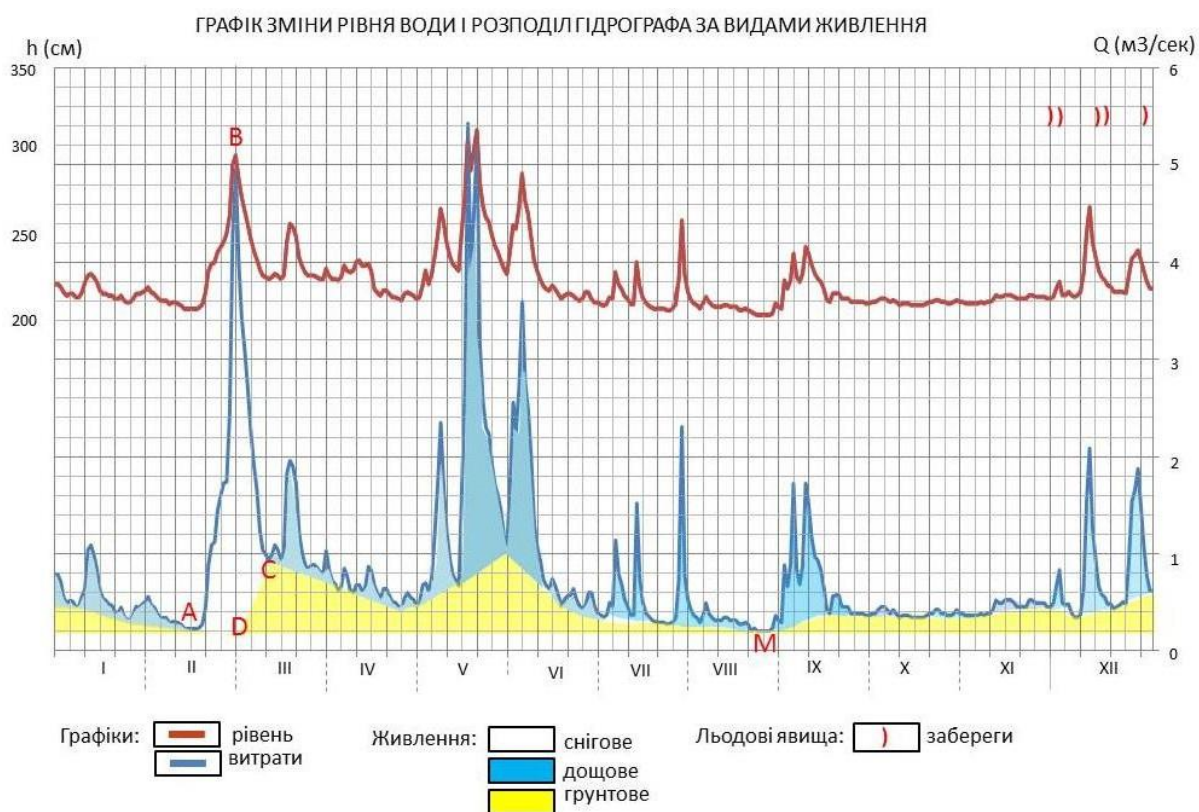


Рис. 5.2. Приклад розчленування гідрографу стоку за видами живлення

Існують різні схеми розчленування гідрографу, які дозволяють виявити деякі закономірності формування руслових вод і можуть бути використані при детальних дослідженнях за наявності достатньо повної інформації про гідрометеорологічні та гідрогеологічні особливості річкових водозборів. В загальних випадках виділення ґрунтового стоку проводиться прямою лінією або плавною кривою, що проходить через ординату останньої зимової витрати і через ординату витрат початку літньої межени. Виділення літніх паводків в цьому випадку здійснюється перетинанням гілки підйому і спаду паводків з лінією, що відділяє підземний стік від паводкового.

Загальний тип живлення річки визначається за класифікацією М.І. Львовича, згідно з якою для визначення ступеню переважання того чи іншого виду живлення прийнято три градації:

I. *Виключний* – якщо один з видів живлення перевищує 80% річного стоку річки (наприклад, виключно підземне);

II. *Переважаючий* – якщо на долю одного з видів живлення припадає від 50 до 80% стоку (наприклад, переважно снігове);

III. *Змішаний* – якщо жоден з видів живлення не перевищує 50%.

Діапазони градацій 80 і 50% відносяться до всіх видів живлення, крім льодовикового, для якого градації зменшуються до 50 і 25%.

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. За даними таблиці (табл. 5.1) середніх добових витрат води річки за конкретний рік побудувати гідрограф стоку.

Завдання 2. Провести поділ гідрографу стоку за джерелами живлення з виділенням снігового, дощового та підземного живлення, визначити частку кожного виду живлення у відсотках.

Порядок виконання практичних завдань

1 Побудова гідрографу стоку.

Гідрограф стоку будується на підставі даних спостережень за середніми добовими витратами води на гідрологічних постах. Для побудови гідрографа за конкретний рік на осі абсцис відкладають «час» у масштабі 1 мм – 1 доба, по осі ординат – витрати води Q в $\text{м}^3/\text{с}$, масштаб якої береться залежно від амплітуди коливань витрат води в межах даного конкретного року, але бажано: 1 см – 0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 $\text{м}^3/\text{с}$ і більше.

На побудованому гідрографі стоку позначають *характерні переломні точки* – 1, 2, 3, ..., n, аналізуючи перебіг витрат води протягом року. В подальшому за допомогою таких точок виділяють види живлення.

Для рівнинних річок з весняним водопіллям характерних переломних точок вибирається менше (10-20 точок), чим для гірських річок з паводковим режимом, де їх кількість може досягати до 50 точок.

Гідрографи, а також суміжні графіки коливань середніх добових рівнів води можна будувати в програмі Excel, а потім переносити їх в PowerPoint для подальшого опрацювання. Відповідні сегменти живлення наносять кольором за допомогою інструментів PowerPoint *креслення: полілінія, заливка фігури* – інші кольори заливки прозорість, контур фігури – без контуру.

Таблиця 5.1 – Середні добові витрати води (м³/с) р. Десна – м. Чернігів, 2013 р.

Площа водозбору								81400 кв.км				
День	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	190	197	272	339	861	864	249	186	128	221	222	164
2	192	197	273	343	868	839	244	185	130	226	217	165
3	191	198	275	348	875	817	239	184	132	231	212	165
4	191	199	277	353	878	795	235	183	134	236	210	165
5	191	200	277	362	878	769	230	182	135	241	207	166
6	191	202	276	376	878	738	223	180	136	244	203	167
7	190	202	276	401	882	709	218	178	137	249	199	167
8	189	202	277	457	888	681	215	176	139	254	196	167
9	189	203	277	503	899	648	209	174	141	258	192	167
10	188	203	273	532	906	608	203	171	143	260	188	169
11	187	205	267	583	916	567	199	169	146	263	185	173
12	187	208	264	635	930	535	196	167	149	264	181	177
13	186	211	263	662	950	505	194	164	153	264	178	182
14	188	215	263	695	971	474	191	160	158	264	174	185
15	190	220	263	709	988	446	191	156	162	264	169	189
16	189	223	263	724	1010	420	191	154	169	263	165	194
17	189	226	264	743	1030	396	191	151	175	260	164	198
18	190	230	269	759	1040	380	191	148	180	258	164	206
19	190	234	274	770	1040	367	191	146	184	257	164	211
20	192	238	282	778	1040	353	191	144	188	254	163	216
21	193	244	288	789	1030	339	191	141	192	252	163	220
22	194	248	293	798	1010	326	190	139	196	251	163	222
23	195	252	297	810	1010	312	190	136	201	248	162	222
24	196	255	300	823	1010	295	190	135	204	246	162	221
25	197	258	307	828	996	283	189	133	206	244	161	220
26	197	262	311	830	986	273	189	131	207	243	161	218
27	197	265	315	833	976	264	189	130	209	240	162	217
28	197	269	320	840	957	257	189	129	212	236	162	216
29	197		325	847	938	255	188	127	214	232	162	215
30	197		327	854	914	252	188	127	218	229	164	214
31	197		333		888		187	127		226		214
Серед.	192	224	285	644	950	492	202	155	169	248	179	193
Найб.	197	269	333	854	1040	864	249	186	218	264	222	222
Найм.	186	197	263	339	861	252	187	127	128	221	161	164
	середня за рік : 328				найбільша : 1040				найменша : 127			

2 Розчленування гідрографу стоку за видами живлення.

На гідрографі стоку виділяють такі види живлення річки – снігове (С), дощове (Д) та підземне (П).

Треба зауважити, що підземне живлення річок не є сталим протягом року, оскільки залежить від змінних метеорологічних та гідрологічних факторів. При

цьому найбільшого впливу зазнають верхні горизонти підземних вод, які тісно пов'язані з поверхневими водами. Щодо режиму підземних вод, що розташовано нижче, то він є практично сталим. Тому річки, що дренують такі горизонти підземних вод, ніколи не пересихають. Частка цього виду підземного живлення в річному стоці річки оцінюється за мінімальною витратою води, що зафіксована протягом року.

Алгоритми розчленування гідрографу стоку.

1. Розчленування (поділ) гідрографу стоку за видами живлення починають з виділення снігового. Для цього припускають, що під час проходження весняного максимуму поверхневі води живлять підземні. У цей час рівень води в річці вище рівня ґрунтових вод і вода йде у відклади дна річкової долини. Точка 5' відповідає даті максимальної витрати води весняного водопілля, а точка 5'' – мінімальній витраті води в цей рік. З'єднуючи послідовно точки 4 (дата початку весняного водопілля) → 5'' → 6 (дата закінчення весняного водопілля), відокремлюємо снігове живлення від підземного живлення під час проходження весняного водопілля.

Всі інші підйоми на гідрографі стоку, які відповідають формуванню паводків дощового або снігового походження, зрізуються прямими лініями. Якщо на спаді весняного водопілля з'являються піки, що зумовлені дощами, то вони відрізаються шляхом продовження лінії спаду весняного водопілля і виділений контур відносять до дощового живлення. Піки, що з'являються в період від кінця листопада до лютого включно, в основному, відносять до снігового живлення. Таким чином, виділивши на гідрографі стоку снігове та дощове живлення, відокремлюється частина гідрографу, що характеризує підземне живлення.

2. Інший алгоритм розчленування гідрографу представлений на рис. 5.2:

а) спочатку виділяють дощове живлення плавною лінією усіх короткострокових нижніх піків на графіку;

б) виділяють тале снігове живлення; для цього знаходимо на графіку (рис. 6.2) точку А – початок водопілля, точку В – пік водопілля, точку С – кінець водопілля; з точки В опускаємо перпендикуляр на шкалу днів – отримуємо точку D; сполучаємо точки А – D, D – С; ділянка на графіку, ув'язнена між точками А, В, С, D відноситься до талого снігового живлення;

в) виділяють підземне живлення; для цього знаходимо на графіку точку М (точка найменшої витрати) і провести через неї лінію паралельну шкалі днів (лінія межені); ділянка графіка, що знаходиться нижче цієї лінії відноситься до підземного живлення, а вище – до ґрунтового.

Визначення частки кожного виду живлення від річного стоку у відсотках проводять за допомогою палетки наступним чином.

В межах кожного виду живлення визначають кількість квадратиків розміром 5 × 5 мм за формулою:

$$z = x + \frac{y}{2}, \quad (5.1)$$

де z – кількість квадратиків (загальна) в межах певного виду живлення,
 x та y – кількість повних і неповних квадратиків відповідно.

Порахувавши кількості квадратиків кожного виду живлення - снігового z_c , дощового, z_d , підземного z_{Π} , знаходимо загальну кількість квадратиків Z_{Γ} в межах всієї площі гідрографа стоку:

$$Z_{\Gamma} = z_d + z_{\Pi} + z_c. \quad (5.2)$$

Для визначення часток кожного виду живлення у відсотках застосовуємо пропорції. При цьому загальну кількість квадратиків приймаємо за 100%, тоді частки видів живлення у % – снігового C , дощового D та підземного Π , знаходимо за співвідношеннями:

$$C = \frac{z_c}{Z_{\Gamma}} \cdot 100\%, \quad D = \frac{z_d}{Z_{\Gamma}} \cdot 100\%, \quad \Pi = \frac{z_{\Pi}}{Z_{\Gamma}} \cdot 100\%. \quad (5.3)$$

Приклад виконання завдань

Для виконання розрахунків часток різних видів живлення побудовано гідрограф стоку води за даними таблиці середніх добових витрат води ($\text{м}^3/\text{с}$) р. Десна – м. Чернігів за 2013 р. (табл. 5.1, рис. 5.3).

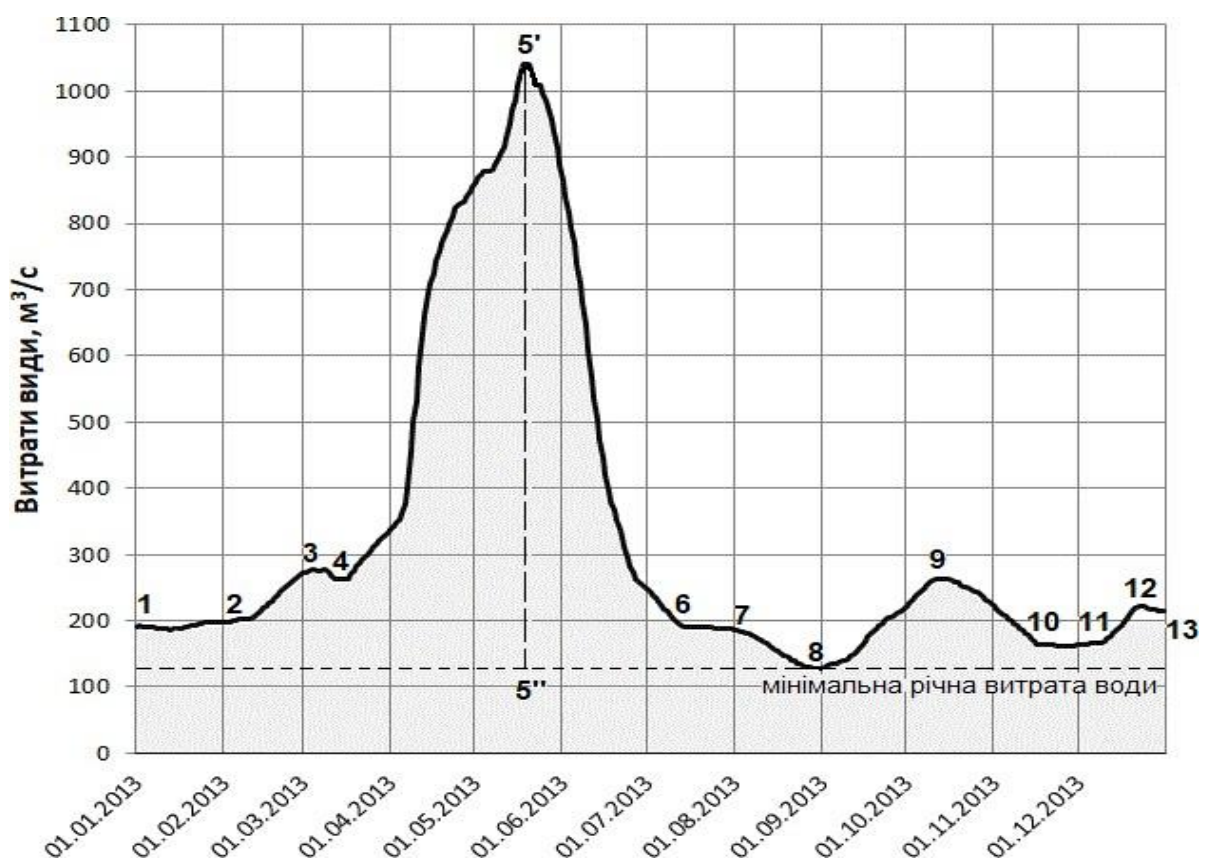


Рис. 5.3. Гідрограф стоку р. Десна – м. Чернігів за 2013 р. та виділення на ньому характерних переломних точок (1, 2, 3, ..., 12)

Аналізуючи перебіг витрат води протягом року за гідрографом стоку, бачимо, що в цей рік на р. Десна спостерігалися наступні фази водного режиму: весняне водопілля, паводки, меженний період.

На побудованому гідрографі позначаємо характерні переломні точки. В нашому випадку, отримано 13 таких точок, за допомогою яких виділяємо види живлення (рис. 6.3).

Починаємо розчленування (поділ) гідрографа стоку з виділення снігового живлення. Спочатку знаходимо частку снігового живлення під час весняного водопілля. Точка 5' відповідає даті максимальної витрати води, точка 5'' – мінімальній витраті води в цей рік. З'єднуючи послідовно точки 4 (дата початку весняного водопілля) → 5' (дата максимуму) → 6 (дата закінчення водопілля) → 5'' (річний мінімум) → 4, відокремлюємо снігове живлення весняного водопілля (рис. 5.4).

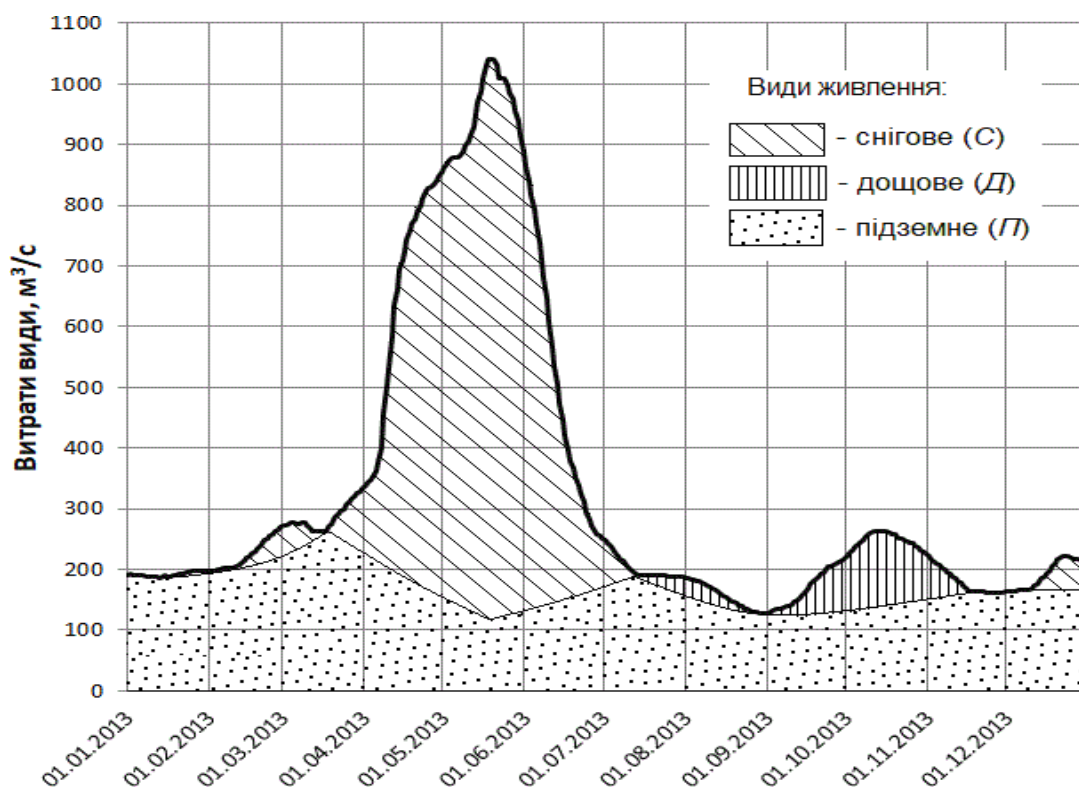


Рис. 5.4. Розчленування (поділ) гідрографа стоку за видами живлення р. Десна – м. Чернігів за 2013 р.

Частки снігового живлення, окрім весняного водопілля, прослідковуються за контурами з'єднання характерних точок [2→3→4→2] та [11→12→13→11] (рис. 5.3, рис. 5.4).

Частки дощового живлення відокремлюються на гідрографі стоку на спаді водопілля [контур 6→7→8→6] та восени [контур 8→9→10→8].

Частка підземного живлення – це частина гідрографа стоку, що

розташована між віссю абсцис та ламаною лінію [1→2→4→5''→6→8→10→11→13].

Для визначення частки у відсотках кожного виду живлення від річного стоку в межах кожного з них розраховуємо за формулою (5.1). кількість квадратиків розміром 5 × 5 мм. В результаті отримали:

Снігове живлення Cz – 74,5 квадратиків.

Дощове живлення Dz – 8,5 квадратиків.

Підземне живлення Пz – 76,5 квадратиків.

Отже, загальна кількість квадратиків в межах всієї площі гідрографа стоку

$$Z_r = 74,5 + 8,5 + 76,5 = 159,5.$$

За формулами (6.3) визначаємо відсотковий розподіл видів живлення р. Десна – м. Чернігів за 2013 р.

$$C = \frac{74,5}{159,5} \cdot 100\% = 46,7 \%$$

$$D = \frac{8,5}{159,5} \cdot 100\% = 5,3 \%$$

$$П = \frac{76,5}{159,5} \cdot 100\% = 48,0 \%$$

Висновок. Відомо, що якщо один із видів живлення забезпечує понад 80 % річного стоку річки, слід говорити про виняткове значення даного виду живлення. Якщо частка виду живлення становить від 50 до 80 % стоку, то говорять про переважне значення. Якщо жоден вид живлення не дає більше 50 % річного стоку, таке живлення називають змішаним. Отже, живлення р. Десна у 2013 р можна вважати змішаним. За даними багаторічних спостережень на р. Десна – м. Чернігів найбільші максимальні витрати води спостерігалися у 1917 р. – 8090 м³/с, 1970 р. – 8000 м³/с, 1931 р. – 7940 м³/с, найменші максимуми – в останні роки: 2020 р. – 211 м³/с, 2015 р. – 305 м³/с, 2019 р. – 345 м³/с. Тобто, за максимумом (1040 м³/с) весняне водопілля на р. Десна – м. Чернігів у 2013 р. було невисоким.

Контрольні питання

1. Що таке водний режим ріки?
2. Дайте визначення поняттям гідрологічного року та гідрологічного сезону.
3. Назвіть фази водного режиму ріки та проаналізуйте їх.
4. Що таке типовий гідрограф?
5. Як будують гідрограф річки і що він характеризує?
6. Як розчленовують гідрограф за типами живлення?
7. Наведіть класифікацію річок за режимом стоку води.

Практичне заняття №6

ГІДРОГЕОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Мета: ознайомитись з основними гідрогеологічними районами, виділеними на території України; закріпити знання про утворення та властивості підземних вод, можливості їх використання для водогосподарських потреб; навчитись описувати основні водоносні горизонти, розташовані на досліджуваній території або у межах досліджуваного водозбору.

Теоретичні відомості

6.1 Класифікації підземних вод

Підземні води – це води, що заповнюють проміжки, пори, тріщини, пустоти верхньої частини земної кори. Це надійне та якісне джерело питної води, крім того, вони використовуються як лікувальні, теплоенергетичні та промислові.

Підземні води класифікуються за такими ознаками: походження, умови залягання, гідравлічний режим, хімічний склад та фізичні властивості.

За походженням підземні води поділяються на:

- *інфільтраційні*, які утворюються під час просочування з поверхні дощової, талої та річкової води.

- *конденсаційні* – утворюються в результаті процесу конденсації в порах та тріщинах гірських порід.

- *седиментаційні* води – води давніх морських басейнів та інших водойм, що залягають в давніх відкладах осадових порід.

- *магматогенні* або *ювенільні* води – ці води утворюються під час поєднання кисню з воднем, що виділяються з магми під час проникнення її в товщу гірських порід.

За гідравлічним режимом розрізняють *безнапірні* та *напірні* підземні води.

За умовами залягання підземні води поділяються таким чином: верховодка, ґрунтові, міжпластові (рис. 6.1).

Верховодка - це води формуються на поверхні після дощів. Коли опади припиняються верховодка швидко зникає, частково проникаючи вглиб ґрунту, частково випаровуючись. Тобто для верховодки характерний непостійний характер існування.

Ґрунтові води залягають на першому водотривкому горизонті, називають ґрунтовими. Водотривким горизонтом може слугувати глина. Якщо випадає велика кількість опадів, вода просочується вглиб і зупиняється на першому

водотривкому шарі гірських порід. Якщо знизу ґрунтові води обмежені водотривким шаром, то верхня межа ґрунтових вод залежить від кліматичних умов та від особливостей рельєфу. В умовах вологого клімату рівень ґрунтових вод досить високий. Вони залягають близько до поверхні. В низьких ділянках рельєфу рівень ґрунтових вод вищий, на відміну від підвищень. Тому в місцях, де спостерігається інтенсивне яро утворення, рівень ґрунтових вод невисокий. Водотривкі породи майже не пропускають воду. Тому ґрунтова вода, рухаючись в сторону нахилу водотривкого шару, може поступово опинитись між двома водонепроникними шарами гірських порід. Так утворюються міжпластові води.

Міжпластові ґрунтові води – підземні води які знаходяться у шарах гірських порід, які обмежені зверху та знизу водотривкими шарами. Коли міжпластові води знаходяться під тиском гірських порід, їх називають напірними або артезіанськими. Варто відмітити, що артезіанські води відрізняються надзвичайною чистотою. Це пов'язано з просочуванням та фільтрацією води через шари ґрунту та численних гірських порід.

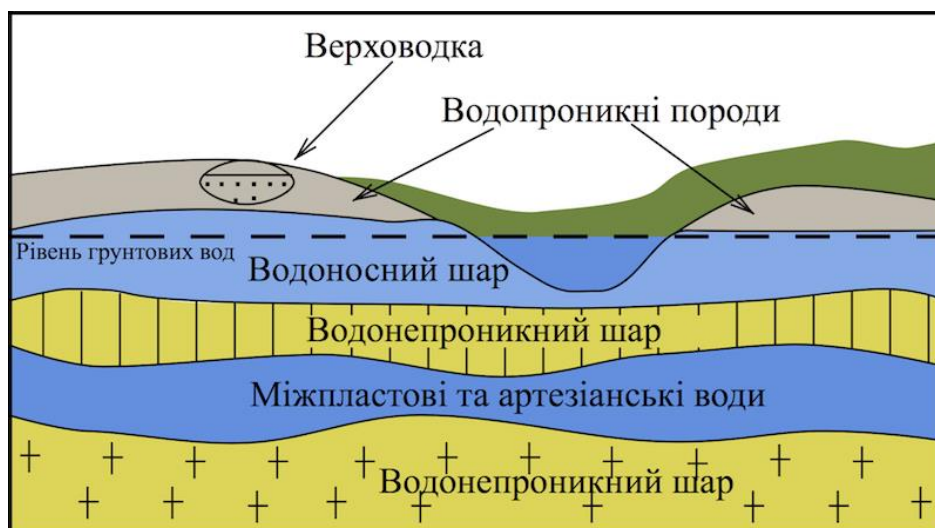


Рис. 6.1. Підземні води та їх типи

За *характером порід*, які вміщують підземні води поділяють на:

1. Порові
2. Пластові
3. Тріщинні
4. Тріщино-карстові

Типи підземних вод за *температурою*:

1. Виключно холодні (нижче 0°C)
2. Достатньо холодні ($4 - 20^{\circ}\text{C}$)
3. Теплі ($20 - 37^{\circ}\text{C}$)
4. Гарячі ($37 - 42^{\circ}\text{C}$)
5. Дуже гарячі ($42 - 100^{\circ}\text{C}$)

6. Виключно гарячі (понад 100°C)

Класифікація підземних вод за *ступенем мінералізації*:

1. Прісні (до 1‰)

2. Солонуваті (1 - 25‰)

3. Солоні (25 - 50‰)

4. Розсоли (понад 50‰)

Класифікація підземних вод за *мінеральним складом*:

1. Вуглекислі

2. Сульфідні

3. Залізисті

4. Бромисті

5. Йодисті

6. Радонові

6.2 Гідрогеологічне районування України

Підземні води мають стратегічне значення як надійне та якісне джерело питного водопостачання населення. Крім того, підземні води є джерелом лікувальної, теплоенергетичної та гідромінеральної сировини.

Розподіл підземних вод по території України обумовлений геологічною будовою та історією природного розвитку різних її частин. Це відокремлені та відмінні один від одного гідрогеологічні регіони, різні за віком, складом і умовами залягання утворень, що їх складають. Вони відрізняються за сукупністю основних природних факторів, які визначають закономірності формування, розподілу, складу і умов експлуатації підземних вод.

Сучасне гідрогеологічне районування передбачає виділення у межах України 7 *гідрогеологічних районів першого порядку* (рис. 8.2). Останні пов'язані зі своїм геотектонічним положенням. За геоструктурним принципом та водоємнісними властивостями виділяються *гідрогеологічні райони другого порядку*. Наприклад, Г – Причорноморський артезіанський басейн пластових вод; Г2 – Рівнинно-Кримський район у межах Причорноморського артезіанського басейну. *Райони третього порядку* відображають схили й центральні частини районів другого порядку. *Райони четвертого порядку* в сучасному районуванні є найдрібнішими таксономічними одиницями. Вони виділяються за гідрогеологічними ознаками, головною серед яких є поширення водоносних горизонтів з урахуванням можливостей їх використання, які визначаються глибиною та умовами їх залягання, водозбагаченістю, умовами живлення, циркуляції та розвантаження, а також якістю вод.



Рис. 6.2. Гідрогеологічне районування території України

Гідрогеологічні райони першого порядку охоплюють найбільші геоструктури України та включають:

1. Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн розташований у північно-східній частині України у межах Дніпровсько-Донецької западини і охоплює території Чернігівської, Сумської, Полтавської, Харківської (без південно-східної частини) і північні частини Київської, Черкаської і Луганської областей. Він є класичним типом артезіанського басейну, для якого притаманна витриманість поширення водоносних горизонтів і слабопроникних порід на значних площах, що визначає поверховий характер залягання водоносних горизонтів. Товща осадових порід насичена підземними водами і є єдиною водоносною системою горизонтів, у різній мірі взаємопов'язаних між собою і поверхневими водами через слабопроникні шари порід. На більшій частині території існують сприятливі умови формування прогнозних ресурсів і живлення підземних вод. Зона інтенсивного водообміну коливається від 300 до 700 м.

2. Волино-Подільський артезіанський басейн розташований на заході України в межах Волино-Подільської плити, і охоплює Волинську, Рівненську, Тернопільську, західну половину Хмельницької, північно-східні частини Львівської, Івано-Франківської і Чернівецької областей та незначну частину Вінницької області.

У гідрогеологічному плані басейн характеризується сприятливими умовами формування прогнозних ресурсів підземних вод і наявністю в ньому водозбагачених прісних водоносних горизонтів, які складають потужну зону (на півночі і сході до 1 км і більше. Особливою відзнакою басейну є наявність широко розвинутої системи водоносних горизонтів, які практично не відокремлені один від одного потужними водотривами і утворюють єдиний водоносний комплекс. Зона інтенсивного водообміну в регіоні обмежується глибиною розвитку тріщинуватості порід, яка складає 100-110 м у західній та центральній частинах басейну і 300-350 м – у північно-східній частині.

3. Причорноморський артезіанський басейн розташований в південній частині України і охоплює території Одеської, Миколаївської, Херсонської областей, західної половини Запорізької області та частину Рівнинного Криму. Більша частина басейну приурочена до Причорноморської западини, степової частини Кримського півострова, яка розташована на північ від Гірського Криму – до Скіфської платформи.

Гідрогеологічні умови в регіоні складні, внаслідок різноманітності та невитриманості поширення водоносних горизонтів і слабопроникних порід, фаціальної мінливості літологічного складу водовміщуючих відкладів, строкатості якісного складу підземних вод. Регіон належить до зони недостатньої

зволоженості і живлення підземних вод. Зона активного водообміну збільшується з півночі на південь від 50 до 300 м.

4. Гідрогеологічна провінція Донецької складчастої області розташована у південно-східній частині України і приурочена до центральної зони Донецької складчастої споруди (Донбасу). Вона охоплює більшу частину Донецької, південну частину Луганської та південно-східну частину Харківської областей. Зона зчленування Донбасу і Дніпровсько-Донецької западини відзначається складними гідрогеологічними умовами формування підземних вод (невитриманість по площі і в розрізі водоносних пластів). Регіон характеризується посушливим кліматом та інтенсивним освоєнням підземних вод, а також суттєвим впливом шахтного водовідливу, який посилює перетоки між різними водоносними горизонтами, активізує дренаж підземних вод. Зона активного водообміну у різних частинах регіону змінюється від 100 м до 300 м і більше.

5. Область тріщинних вод Українського щита розташована в центральній частині України у межах великого підняття стародавнього кристалічного фундаменту і охоплює територію Житомирської, Вінницької, Кіровоградської, східну частину Хмельницької, південні частини Київської і Дніпропетровської, південно-західну частину Черкаської, північні окраїни Одеської і Миколаївської, а також північно-східну частину Запорізької областей.

Гідрогеологічні умови накопичення і циркуляції підземних вод у басейні несприятливі для формування значних об'ємів водних ресурсів, обводнення водоносних порід по площі і на глибину вкрай нерівномірне. Підземні води містяться, як у тріщинуватій зоні кристалічних порід докембрію, так і у осадових відкладах, що виповнюють заглиблення у кристалічному фундаменті. Зона активного водообміну підземних вод складає 100-150 м. Тріщинуваті породи розвинуті повсюдно, але вони відзначаються різним ступенем тріщинуватості, що обумовлює нерівномірне обводнення. Водоносність осадових відкладів, які розвинуті переважно на вододільних територіях, має локальний характер. Ці породи характеризуються неглибоким заляганням, що нерідко призводить до погіршення якості підземних вод.

6. Гідрогеологічна провінція складчастої області Гірського Криму розташована в південній частині Кримського півострова і приурочена до мегантиклінорії Гірського Криму, охоплюючи гірську частину Автономної Республіки Крим.

Гідрогеологічні умови регіону досить складні, що обумовлено складчастим характером геологічного розрізу та й широким розвитком карстових зон, які активно дренують верхню товщу порід та посилюють підземний стік.

Значна дренованість, слабка трищинуватість, малі площі розвитку водоносних порід при невеликій кількості опадів та значному випаровуванні, не сприяють накопиченню значних ресурсів підземних вод.

7. Гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат розташована на південному заході України в межах молодого складчастої споруди Карпат, Закарпатського прогину та Прикарпатського пригірського прогину і охоплює Закарпатську область, центральні і південні частини Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей.

Територія провінції характеризується складними гідрогеологічними умовами, що обумовлено значною різноманітністю особливостей геоморфологічної та геолого-структурної будови. Для водоносних горизонтів характерна невтриманість поширення, складність взаємовідношень у розрізі та нерівномірність обводнення у плані. Наявність соленосних і глинистих утворень у Прикарпатському прогині, розчленування рельєфу, структурна порушеність і низькі фільтраційні та ємкісні властивості порід не сприяють накопиченню в даній провінції значної кількості підземних вод, незважаючи на те, що регіон у цілому є найбільш зволеним в Україні.

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Надати опис водоносних горизонтів, які існують в басейні річки або на території дослідження (річку або територію дослідження обирає здобувач та узгоджує з викладачем).

Приклад виконання завдання 1

Завдання. Надати опис водоносних горизонтів, які існують в басейні р. Сіверський Донець.

Приклад опису водоносних горизонтів у басейні річки Сіверський Донець.

Річка Сіверський Донець знаходиться у межах двох гідрогеологічних структур першого порядку – Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну та гідрогеологічної провінції Донецької складчастої області.

На території басейну Сіверського Дінця виділяються п'ять найголовніших водоносних горизонтів та комплексів:

- водоносні горизонти пліоцен-четвертинних алювіальних пісків на глибинах 10-40 м;
- водоносний комплекс бучацько-канівських пісків на глибині 10-196 м;
- водоносний горизонт зони тріщинуватості мергельно-крейдяної товщі

на глибині до 80 м;

- водоносний комплекс альб-сеноманських пісків на глибині до 700 м;
- водоносний комплекс кам'яновугільних тріщинуватих пісковиків та вапняків на глибині до 1000 м.

Нижче наведено опис основних водоносних горизонтів.

1. Водоносний горизонт алювіальних пісків приурочений до піщаних відкладів пліоцену, плейстоцену та голоцену, що залягають на більшій частині території (крім найбільш високих ділянок вододілів міоценового плато). На високих річкових терасах залягає під суглинковим покривом лесовидних порід, на сучасній заплаві й боровій терасі такий покрив відсутній.

У більшості випадків носить безнапірний характер. Живиться атмосферними опадами та паводковими водами (навесні на заплаві ріки). Розвантажується в ріки, джерела, транспірацією в місцях неглибокого залягання ґрунтових вод.

Підземні води даного водоносного горизонту не мають природного захисту з поверхні. Використовуються у сільській місцевості населенням для господарсько-питних потреб.

2. Водоносний горизонт бучацько-канівських пісків виділяється в пісках однойменних свит еоцену. Розвинутий повсюдно за винятком території відкритого Донбасу у вигляді суцільного поля. На півночі басейну Сіверського Дінця у долинах річок цей горизонт розмитий. Зазвичай залягає на глибинах від 20 до 130 м та ізолюваний від поверхні глинами й мергелями київської свити, потужність і водонепроникність яких спричиняє гарний природний захист від поверхневого забруднення. Живиться на вододільних просторах шляхом слабого й розосередженого перетікання води з верхніх горизонтів крізь ізолюючий водотрив. Розвантажується в нижче залягаючі горизонти та у долинах рік, де характерним є висхідний перетік в алювіальний горизонт. У зв'язку з невисокими фільтраційними властивостями бучацьких пісків підземні води цього горизонту використовуються невеликими споживачами для господарсько-питних і технічних цілей.

3. Підземні води зони відкритої тріщинуватості мергельно-крейдових відкладів розвинені у вигляді суцільного поля до північного сходу від Сіверського Дінця і на правобережжі в районі Луганська. У районі Харкова – у долинах річок, де карбонатні відклади крейдової системи залягають близько від поверхні. Звичайно висока водозбагаченість свердловин – більше 10 м³/годину – спостерігається при глибині покрівлі крейдових порід до 50 м. «Закриття» тріщин спостерігається звичайно глибше 80 м від поверхні землі. Нижче цього рівня мергельно-крейдові породи стають регіональним водотривом. При експлуатації власна ємність швидко вичерпується, й далі залучається вода

вищезалягаючих бучацького й алювіального водоносних горизонтів. Однак відносно високі дебіти свердловин дозволяють забезпечити водою середніх і великих споживачів. Напори води над покрівлею становлять 20-70 м.

4. Водоносний комплекс альб-сеноманських пісків розвинений у північній частині басейну, де є найціннішим джерелом питного водопостачання, оскільки містить в основному реліктові високої якості прісні води. Залягає у вигляді гідравлічно взаємозалежних шарів пісків – від тонкозернистого до грубозернистого, гравійованого, під потужною водотривкою товщею крейдяно-мергельних порід. Живлення в природних умовах відбувається на північній частині басейну, де потужність мергельно-крейдяного водотрива не перевищує 100 м. Висока продуктивність свердловин дозволяє забезпечувати водопостачання будь-яких об'єктів до рівня великого міста.

5. Водоносний комплекс кам'яновугільних відкладів розвинений повсюдно, але тільки в південній частині басейну містить води невисокої мінералізації й тому має практичне значення. Приурочений до тріщинуватих піщаників, алевролітів, доломітів та вапняків. Зона активного водообміну в природних умовах контролювалася річковою мережею й не перевищувала 150–250 м. Нижче розташовувався шар уповільненого водообміну зі швидким наростанням мінералізації води за глибиною. У наш час водовідливими із шахт водообмін активізований до глибин 900-1 200 м. Дебіти свердловин коливаються в широких межах, але в більшості випадків дозволяють забезпечити дрібні й середні підприємства технічною водою.

Контрольні питання

1. Назвіть основні гідрогеологічні райони на території України.
2. Як класифікуються підземні води за характером залягання?
3. Які води належать до зони аерації та зони насичення?
4. Що таке артезіанський басейн?
5. Опишіть послідовність визначення стоку підземних вод для невивчених у гідрологічному відношенні територій.
6. За якими ознаками виділяються гідрогеологічні райони другого порядку?
7. Яку роль відіграють підземні води у структурі водопостачання населення та економіки України?

Практичне заняття № 7

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Мета: ознайомитись з показниками, що характеризують водні ресурси України на основі бази даних міжнародної організації ООН (FAO) та показниками водозабезпечення населення України.

Теоретичні відомості

Згідно Водного кодексу України (1995), *водні ресурси* – це обсяги поверхневих, підземних і морських вод відповідної території.

На практиці ж, як в Україні, так і в багатьох країнах світу поняття «водні ресурси» трактується у вужчому розумінні - це прісні поверхневі та підземні води, які знаходяться у водних об'єктах і використовуються або можуть бути використані людиною.

На сучасному етапі в якості водного ресурсу може розглядатися будь-який вид природних вод, зосереджений у тому чи іншому водному об'єкті – струмку, ставку, природному водному джерелі, накопичувачі дощових вод або пристрої для збирання конденсованої атмосферної вологи. Таке трактування є доречним в наш час, коли водна криза була визнана на Всесвітньому економічному форумі в Давосі (2015 р.) одним з найбільших глобальних ризиків з точки зору потенційного впливу на людське суспільство.

У світі набуває поширення залучення альтернативних джерел водних ресурсів - відновлені стічні води, сіра вода, опріснена солоня вода і т.д.

В той же час, постійну увагу привертають традиційні водні ресурси, в першу чергу прісні води, як найцінніший ресурс.

Розрізняють відновні та невідновні водні ресурси.

Відновні ресурси прісних вод – це річковий стік у моря та океани, який формується за рахунок атмосферних опадів у річковому басейні та живлення підземними водами.

Невідновні (статичні) водні ресурси - глибокі горизонти підземних вод, ступінь поповнення яких незначний у людському масштабі часу. Загальний об'єм річкового стоку на Землі (відновних водних ресурсів) становить близько 42780 км³ /рік, з яких частка Європи становить 2900 км³ /рік (7 %).

Найбільш досконалою інформацією стосовно водних ресурсів по всіх країнах світу володіє Продовольча та сільськогосподарська організація ООН FAO, оскільки частка сектору сільського господарства у світовому водокористуванні становить 69-70 %. При FAO функціонує глобальна

інформаційна система по воді та сільському господарству, яка називається «Aquastat». Узагальнююча характеристика середньорічних показників відновних водних ресурсів України на основі даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat, 2017 р., наведена у табл. 7.1.

Таблиця 7.1 - Узагальнююча характеристика середньорічних показників відновних водних ресурсів України (2017 р.)

Вид водних ресурсів	Складники водних ресурсів	Об'єм, км ³	Примітки
Поверхневі води	Річковий стік внутрішній	50,1	
	Річковий стік зовнішній (приплив в Україну)	120,2	Із Росії і Білорусі – 36,1 км ³ Із Румунії - 84,1 км ³ , (50% від стоку Кілійським гирлом Дунаю)
	Сумарний річковий стік	170,3	
	Річковий стік за межі України	28,9	В Польщу, Словаччину, Угорщину, Румунію, Молдову
Підземні води	Прогнозні ресурси	22	Із них 17 км ³ – гідравлічно зв'язані з річковим стоком
	Доступні до використання	5,0	
Внутрішні водні ресурси	Поверхневі і підземні	55,1	На 1 людину: 1246 м ³ /людину/рік
Загальні водні ресурси	Поверхневі і підземні	175,3	На 1 людину: 3964 м ³ /1 людину/рік

За даними глобальної інформаційної системи FAO Aquastat в Україні спостерігається наступний розподіл водних ресурсів.

Поверхневі водні ресурси:

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

Підземні водні ресурси:

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

Відновні водні ресурси України (поверхневі води разом з підземними):

- внутрішні відновні водні ресурси: $50,1 + 5,0 = 55,1$ км³/рік;
- загальні відновні водні ресурси: $170,3 + 5,0 = 175,3$ км³/рік.

Водозабезпеченість на одну людину:

- внутрішні відновні водні ресурси - 1246 м³/рік/людину;

– загальні відновні водні ресурси в Україні - 3964 м³/рік/людину.

За показником внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину (1246 м³/рік/людину) Україна займала 37 місце в Європі.

За обсягом загальних відновних водних ресурсів (175,3 км³) Україна займає 6 місце в Європі.

За обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів (55,1 км³) Україна займала 14 місце (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Місця України серед 50-и країн Європи за показниками відновних водних ресурсів

№	Назва показника відновних водних ресурсів, розмірність	Значення показника	Місце України в Європі
1	Загальні відновні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	3964	27
2	Внутрішні відновні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	1246	37
3	Загальні відновні водні ресурси, км ³	175,3	6
4	Внутрішні відновні водні ресурси, км ³	55,1	14
5	Коефіцієнт зовнішньої залежності, %	68,6	9

Таким чином, водні ресурси України формуються за рахунок поєднання місцевого річкового стоку, транзитних вод та підземних водних ресурсів. Незважаючи на значний загальний водний потенціал, його просторовий розподіл є вкрай нерівномірним, а рівень забезпеченості населення власними ресурсами залишається одним із найнижчих у Європі. Це визначає необхідність удосконалення системи управління водними ресурсами.

Завдання до самостійної роботи

Надати характеристику водних ресурсів однієї з адміністративних областей України (за вибором здобувача вищої освіти та після узгодження з викладачем), охарактеризувати їх екологічний стан та запропонувати заходи для відновлення водних ресурсів та покращення їх екологічного стану.

Завдання виконати у формі реферату. Бажано доповнити опис графічними матеріалами (схеми, графіки тощо).

Контрольні питання

1. Дайте визначення поняттю «водні ресурси». За якими ознаками вони класифікуються?
2. Як обчислюються водні ресурси?
3. Що таке водний фонд?
4. Які водні ресурси має Україна та як ними забезпечені окремі регіони?
5. Що розуміють під забрудненням, засміченням і виснаженням вод?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Будз О.П. Гідрологія. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2008. 168 с.
2. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання: Монографія. К.: Віпол, 2000. 376 с.
3. Вишневський В.І., Куцій А.В. Багаторічні зміни режиму річок України. К.: Наукова думка. 2022. 252 с.
4. Загальна гідрологія: підручник / В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь та ін. К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. 399 с.
7. Національний атлас України / гол. ред. Л.Г. Руденко. К.: ГНПП "Картографія, 2008.
8. Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б. Водний фонд України: довідковий посібник. 1-е вид. К.: Ніка-Центр, 2001. 390 с.; 2-е вид., доп. К.: Ніка-Центр, 2006. 320 с.
9. Хільчевський В.К. Гребінь В.В., Манукало В.О. Гідрологічний словник. Київ: ДІА, 2022. 236 с.
10. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Водні об'єкти України та рекреаційне оцінювання якості води: Навч. посібник. К.: ВПЦ «Київський університет», 2022. 300 с.
11. Хільчевський В. К., забокрицька М. Р. Хімічний аналіз та оцінка якості природних вод : навч. посіб. Луцьк : Вежа-Друк, 2021. – 76 с.
11. Ющенко Ю.С. Загальна гідрологія: підручник. Чернівці: Чернівецький нац.ун-т, 2017. 591 с.
12. Ющенко Ю.С., Паланичко О. В. Практикум з гідрології: навчальний. посібник: Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, ім. Ю. Федьковича 2012. 96 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни «Гідрологія»
(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
спеціальності 101 Екологія)
(Електронне видання)

Укладач:
В.І. МОХОНЬКО

Оригінал-макет *В.І. Мохонько*

Підписано до друку _____

Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір друкар. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. 4,5. Облік. - вид. арк. _____

Тираж _____ екз. Вид. № _____. Замов. № _____. Ціна договірна.

**Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля**

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17

Телефон: +38 (050) 218 04 78, факс (064 52) 4 03 42

e-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com.