Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

П.Д. Сливка

Інженерна гідрологія

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення

Кредитно-модульна система організації навчального процесу

Для студентів напряму підготовки
6.060103 „Гідротехніка” (Водні ресурси)

Рівне — 2008

Національний університет
водного господарства
та природокористування

УДК 556.5(073)
УДК 556.5(073)
ББК 26.22я 7-6
С 47

Затверджено вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування .
Протокол № 12 від 28.12. 2007 р.

Рецензенти:

М. О. Лазарчук, доктор технічних наук, професор кафедри сільськогосподарських меліорацій НУВГП;
М.В. Корбутяк, кандидат географічних наук, доцент кафедри водогосподарської екології, гідрології та природокористування НУВГП.

Сливка П.Д.
С 47 Інженерна гідрологія: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення – Рівне: НУВГП, 2008. - 141 с.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Навчально-методичний посібник містить програму, конспект лекцій, методичні вказівки щодо вивчення окремих тем, план практичних занять, тематику самостійної роботи, список рекомендованої літератури, яка може бути використана при самостійному вивченні дисципліни в умовах кредитно-модульної системи організації навчального процесу студентами професійного спрямування «Гідромеліорація» вищих навчальних закладів.

УДК 556.5(073)
© ББК 26.22я 7-6
© Сливка П.Д., 2008
НУВГП, 2008

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Передмова

Водні ресурси в сучасних умовах - один з головних факторів розвитку і розміщення продуктивних сил. Їхнє раціональне використання і охорона є однією з найваж-ливіших проблем сучасності. Формування річкового стоку відбувається під впливом складної взаємодії комплексу фізико-географічних та антропогенних факторів. Даний посібник покликаний забезпечити самостійне вивчення двох розділів гідрології: „Загальна гідрологія"та „Гідрометрія". Перший з них вивчає фізичну суть і закономірності гідро-логічних явищ, другий - методи вимірювання і спостережень, що використовуються для вивчення режиму річок, водос-ховаищ, озер.

Метою навчальної дисципліни є вивчення будови річкового русла та річкового басейну, факторів, що впливають на процеси річкового стоку та складання водного балансу річок та водойм, а також вивчення методів кількісного визначення різних елементів водного режиму. Важливою частиною є вивчення озер та боліт, їхній вплив на стік річок. Дана дисципліна є основою для подальшого вивчення курсу „Інженерна гідрологія та регулювання стоку".

Студент повинен знати:

-будову річкового басейну та річкового русла;

-складання водного балансу річок та водойм;

-вплив фізико-географічних та антропогенних факторів на формування стоку річок;

-способи та прилади, що застосовують для гідромет-ричних робіт на річках та водогосподарських об'єктах.

Студент повинен вміти:

-визначати морфометричні характеристики річкового басейну та русла;

-організувати гідрометричний пост та провести комплекс вимірювань;

-обробити дані польових вимірювань.

1. Програма навчальної дисципліни „Інженерна гідрологія"

Робоча програма вивчення дисципліни "Інженерна гідрологія" складена відповідно до стандарту підготовки бакалавра напряму підготовки 6.060103 „Гідротехніка" (Водні ресурси) за професійним спрямуванням „Гідромеліорація".

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1. 1. Опис предмета навчальної дисципліни

Таблиця 1

Денна форма навчання

Курс: підготовка бакалаврів, спеціалістів, магістрів	Напрям, спеціальність, освітньокваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
11	2	3
Кількість кредитів, відповідних ECST-2.5	6.060103 „Гідротехніка” (Водні ресурси)	**Нормативна.**
Модулів —2, РГР		Рік підготовки: 1й Семестр 2
Змістових модулів - 2		Лекції—16 год. Практичні —16 год.
Загальна кількість годин — 80		Самостійна робота – 34 год.
Тижневих годин: аудиторних – 4, СРС-4	**Освітньо-кваліфікаційний рівень:** бакалавр	ІНДЗ – виконання РГР-14 год **Вид контролю:** екзамен

Примітка: *співвідношення кількості годин аудиторних занять та індивідуальної і самостійної роботи становить від 40% до 60%.*

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Продовження таблиці 1

Заочна форма навчання

Курс: підготовка бакалаврів, спеціалістів, магістрів	Напрям, спеціальність, освітньокваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
11	2	3
Кількість кредитів, відповідних ECST-2.5	6.060103 „Гідротехніка” (Водні ресурси)	**Нормативна.**
Модулів —2, РГР		Рік підготовки: 1й Семестр 2
Змістових модулів - 2		Лекції—8 год. Практичні — 4 год.
Загальна кількість годин — 80		Самостійна робота –54 год.
	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	ІНДЗ – виконання РГР-14 год **Вид контролю:** екзамен

Примітка: *співвідношення кількості годин аудиторних занять та індивідуальної і самостійної роботи становить від 40% до 60%.*

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.2. Тематичний план та розподіл навчального часу

Таблиця 2

Тематичний план та розподіл навчального часу

Назви тем та змістових модулів	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Л	П	І	С	Разом	Л	П	І	С	Разом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 1. Загальна гідрологія										
Тема1. Основні положення	2			2	4	2			4	6
Тема2. Річкові системи та річкові басейни їх морфометричні характеристики	2			4	6	2		14		16
Тема 3. Режим стоку річок	2			4	6	2			6	8
Тема 4. Термічний та льодовий режим річок	2			2	4				4	4
Тема 5. Твердий стік.	2			2	4				4	4
Тема 6. Озера та водосховища	2			2	4				6	6

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет водного господарства та природокористування

Продовження таблиці 2

Тема 7. Болота	2			2	4				6	6
Тема 8. Гідрологічна мережа. Водний кадастр.	2			2	4	2			6	8
Разом	**16**			**20**	**36**	**8**		**14**	**36**	**58**
Змістовий модуль 2. Гідрометрія										
Тема 9. Вивчення режиму коливання рівнів води		4	4	2	10		2		2	4
Тема 10. Промірні роботи		2	2	2	6				4	4
Тема 11. Швидкості течії води		2		2	4				4	46
Тема 12. Витрати води		4	4	4	12		2		4	6
Тема 13. Криві витрат води		2	2	2	6				2	2
Тема 14. Витрати наносів		2	2	2	6				2	2
Разом		**16**	**14**	**14**	**44**		**4**		**18**	**22**
Усього	**16**	**16**	**14**	**34**	**80**	**8**	**4**	**14**	**54**	**80**

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.3 Програмний матеріал блоків змістових модулів

Змістовий модуль 1. Загальна гідрологія

Тема1. Основні положення

Гідрологія як наука. Задачі гідрології у вирішенні водогосподарських проблем. Водні ресурси земної кулі та України. Кругообіг води в природі. Водний баланс земної кулі.

Тема 2. Річкові системи та річкові басейни, їхні морфометричні характеристики

Гідрографічна мережа. Річкові системи та річкові басейни, їхні морфометричні характеристики. Будова річкового русла. Повздовжні та поперечні профілі річок.

Тема 3. Режим стоку річок

Поняття про режим вод суші. Одиниці вимірювання стоку. Живлення річок. Фази та категорії річкового стоку. Водний баланс річкового басейну. Фактори річкового стоку.

Тема 4. Термічний та льодовий режим річок

Замерзання річок. Типи льодоутворення. Наростання товщини льодового покриву. Процес танення льодового покриву.

Тема 5. Твердий стік

Види наносів та методи їх вимірювання. Характер руху твердих частинок в потоці. Транспортуюча здатність водного потоку. Селеві потоки. Поняття про руслові процеси.

Тема 6. Озера

Класифікація озер. Морфометричні характеристики озер. Водний баланс озер. Вплив озер на стік річок.

Тема 7. Болота

Класифікація боліт. Причини утворення боліт та заболочених земель. Гідрологічна роль боліт.

Тема 8. Гідрологічна мережа. Водний кадастр

Гідрологічні станції та пости. Об’єм спостережень на гідрологічних постах. Водний кадастр та його видання.

Змістовий модуль 2. Гідрометрія

Тема 9. Вивчення режиму коливання рівнів води

Типи водомірних постів. Система відміток на водомірних постах. Обробка водомірних спостережень.

Тема 10. Промірні роботи

Задачі промірних робіт. Прилади, що використовуються при промірних роботах. Методи проведення промірних робіт. Побудова поперечних та поздовжніх профілів річок.

Тема 11. Швидкості течії води

Поняття про миттєву та осереднену швидкості. Характер розподілу швидкостей в потоці. Вимірювання швидкостей води гідрометричними поплавками, гідрометричними трубками, гідрометричними млинками. Типи та будова гідрометричних млинків. Тарування гідрометричних млинків.

Тема 12. Витрата води

Модель витрати води. Методи визначення витрат води. Аналітичний та графо-механічний методи обчислення витрат води при вимірювання швидкостей гідрометричними млинками.

Тема 13. Криві витрат води

Зв’язок між витратами та рівнями води. Побудова залежностей між витратами та рівнями води при різних умовах потоку. Розрахунок стоку річок.

Тема 14. Витрата наносів

Методи взяття проб води на мутність. Обчислення витрат води завислих наносів.

Національний університет
та природокористування

2. Конспект лекцій та методичні рекомендації до вивчення окремих модулів та тем дисципліни

Змістовий модуль 1. Загальна гідрологія
Тема 1. Основні положення

1.1. Гідрологія як наука. Завдання гідрології у вирішенні водогосподарських проблем

Гідрологія - одна з наук про Землю. Вона вивчає природні поверхневі води, явища та процеси, котрі в них протікають, а також визначають розповсюдження вод по земній поверхні, їхнє розподілення та переміщення, взаємодію з навколишнім середовищем. Стисліше можна сказати, що це наука про режим поверхневих вод земної кулі.

В зв'язку з поділом поверхневих вод земної кулі на дві групи, гідрологія поділяється на: океанологію (гідрологію океанів і морів) та гідрологію вод суші.

В свою чергу, в залежності від об'єкту досліджень, гідрологію суші поділяють на гідрологію річок (потамологію), гідрологію озер (лімнологію), гідрологію боліт (тельматологію), вчення про льодовики (гляціологію). Вивченням підземних вод займається окрема наука - *гідрогеологія.*

Як і інші природничі науки, гідрологія в своїх дослідженнях використовує методи описання, вимірювання, аналізу та узагальнення. В залежності від методів дослідження, гідрологію поділяють на: *гідрографію*, завданням якої є вивчення і описання конкретних водних об'єктів з характеристикою положення, розмірів, режиму і місцевих умов; *гідрометрію*, яка вивчає методи вимірювань і спостережень, що використовуються для вивчення режиму річок, водосховищ, озер; *загальну гідрологію*, котра вивчає фізичну суть і закономірності гідрологічних явищ; *інженерну гідрологію*, яка розробляє методи гідрологічних розрахунків і прогнозів.

Гідрологія вивчає фізичні явища, котрі протікають в гідросфері, а тому за своїм змістом вона тісно пов'язана з *метеорологією*, *кліматологією, геологією, геоморфологією, географією* і іншими науками.

Гідрологія відносно молода наука. Вважають, що початок "сучасної" гідрології закладений в XVII столітті, коли зусиллями таких корифеїв науки як Перро і Маріотт був підрахований водний

баланс річки Сени. Було показано, що опади за своєю величиною співрозмірні з річковим стоком. Але це не значить, що раніше ніяких досліджень в області гідрології не проводилось. Практичне вирішення різних інженерних гідрологічних задач мало місце ще в прадавні часи. Так, перші дані про гідрометричні спостереження за рівнем води на р. Ніл відносять до 4000 р. до н.е.

Перші відомості про катастрофічні повені та посухи на території України, наведених в часописах Київської держави, відносяться до початку X ст. Роботи по спостереженню та дослідженню режиму річок розвиваються в більш пізній період.

Так, у роботі невідомого автора "Книга Большому чертежу или древняя карта российского государства" написаній у XVII ст., значна увага приділяється описанню річок Дніпровського басейну. В цей же час проводились роботи по збиранню відомостей про інші річки: Південний Буг, Десну тощо. У XVIII ст. для потреб судноплавства неодноразово проводились дослідження Десни та Дніпра. На початку XIXст. на річках уже організовувались постійні спостереження для вивчення їхнього гідрологічного режиму.

Значний внесок в розвиток гідрології внесли вітчизняні вчені, серед яких Оппоков Є.В., Огієвський А.В., Бефані А.М., Бефані Н.Ф., Вишневський П.Ф., Железняк Й.А., Мокляк В.І., Перехрест С.М., Шпак І.С. та інші.

Процес формування гідрології як самостійної науки завершився в кінці XIX ст.

Подальше становлення гідрології пов'язано з розвитком таких галузей народного господарства як водний транспорт, сільське господарство, енергетика, водопостачання тощо.

На нинішньому етапі розвитку використання водних ресурсів неможливе без детальних гідрологічних досліджень.

Основними питаннями, якими покликана займатись гідрологія є:

1. Оцінення водних запасів і водного балансу окремих водних об'єктів або районів чи басейну в цілому.

2. Встановлення розрахункових величин річкового стоку для проектування гідротехнічних споруд.

3. Розрахунки випаровування з водної поверхні водойм та з поверхні річкових басейнів.

4. Оцінка температурного та льодового режимів річок та озер.

5. Вивчення питань формування річкових русел. Розрахунки замулення водосховищ та вивчення процесів формування їхніх берегів.

6. Прогнози всіх основних елементів гідрологічного режиму (рівні, витрати, час замерзання та скресання тощо).

7. Врахування впливу гідротехнічних споруд на водний потік для визначення ймовірних умов, в яких ці споруди будуть експлуатуватись.

8. Вивчення впливу інженерної діяльності на кількісні та якісні показники річкового стоку (регулювання стоку, меліорація земель, вирубання та насадження лісів тощо).

9. Вивчення причин та джерел забруднення природних вод і розроблення гідрологічних основ боротьби з цими небажаними впливами на водні ресурси.

Оскільки якість навколишнього середовища тісно пов'язана з водними ресурсами, то гідрологія відіграє важливу роль у вивченні цього середовища та в пошуках оптимальної методики його покращення.

1.2. Водні ресурси земної кулі та України

Вода, заповнюючи грандіозні впадини на земній поверхні, утворює водну оболонку земної кулі - Світовий океан. Із загальної площі земної кулі 510 млн. км^2, Світовий океан займає 361 млн.км^2 або 71%, а суша - 149 млн.км^2 або 29%.

Загальний об’єм води, що міститься в Світовому океані складає 1338 млн.км^3. Якщо цей об'єм рівномірно розподілити по земній поверхні, то вона буде покрита шаром води глибиною 2600 м.

Запаси прісної води складають всього 35 млн.км^3 (2,52%). Із них прісні підземні води, з врахуванням запасів підземних вод в зоні вічної мерзлоти, складають 10,83 млн.км^3 (30,96%), вода в льодовиках - 24 млн.км^3 (68,7%), в озерах - 91 тис.км^3 (0,25%), в болотах - 11 тис.км^3 (0,03%), біологічна вода - 1,12 тис.км^3 (0,003%) і води в руслах річок - 2,12 тис.км^3 (0,006%).

Найбільш доступними для використання в господарський діяльності людини є води, які протікають в руслах річок і постійно поновлюються в процесі кругообігу (в середньому для Землі кожні 17 діб). *Водними ресурсами* будь-якої території називаються запаси поверхневих та підземних вод. Інколи під водними ресурсами великих регіонів або окремих країн розуміють середній багаторічний стік річок цих регіонів. Середній багаторічний стік річок земної кулі складає 44,54 тис. км^3. Середній багаторічний стік річок України становить 87,1 км^3, із них місцевий стік складає 52,4 км^3.

В Україні нараховується більше 67 тисяч річок та струмків загальною довжиною біля 248 тис. км. Із них більшшість водотоків коротші 10 км. Їхня загальна довжина складає 131 тис. км. Із більш як 4 тисяч річок довжиною понад 10 км біля 73% мають довжину менше 25 км, біля 23% складають річки довжиною від 26 до 100 км і лише 3% річок мають довжину більше 100 км. Біля 96% річок мають площу водозбору до 50 км^2, 3,5% - 50-500 км^2 і лише 0,6% характеризуються величиною водозбору більшою за 500 км^2.

Згідно водного кодексу України, поділ річок здійснюється в залежності від площі водозбору. До малих відносяться річки з площею водозбору до 2000 км^2, до середніх – відповідно від 2000 до 50000 км^2. До великих відносяться ічки з площею водозбору більше 50000 км^2 і які протікають в межах декількох фізико-географічних зон.

Найбільшою річкою України є Дніпро, котрий протікає з півночі на південь і ділить територію України на Правобережну та Лівобережну частини. Його водність складає 1663 м^3/с. Далі йдуть Дністер (274 м^3/с), Сіверський Донець (I59 м^3/с), Південний Буг (137 м^3/с). Річки Західний Буг, Тиса, Прип'ять, Десна і Псел відносяться до середніх. Середній багаторічний стік річок України розподіляється по басейнах річок таким чином: Дніпра – 64%, Дністра – 12%, Сіверського Донця і річок Приазов'я – 8%, Південного Бугу – 3%, Дунаю і річок Причорномор'я – 12%, кримських річок – 1%.

Без води не може обійтись жодна галузь народного господарства. Так, для добування 1т нафти потрібно використати 10 м^3 води, для виробництва 1т сталі - 20 м^3, чавуну - 40 м^3, паперу - 200 м^3, шерстяної тканини - 600 м^3, а синтетичних волокон - 1000 м^3. Особливо швидко зростає потреба у воді в зв'язку з розвитком хімічної промисловості. Так, виробництво 1т ацетатного шовку вимагає 2700 м^3 води, лавсану - 4200 м^3, капронового волокна - 5600 м^3. Для отримання 1 кг сухого пшеничного зерна використовується 0,75 м^3 води, 1т кукурудзи на зерно на поливних землях - 600-650 м^3, рису - 3-4 тис.м^3.

Для роботи сучасної теплової електростанції, потужністю 1млн. квт потрібно 1,2-1,6 км^3 води в рік, для атомних електростанцій потреба у воді зростає в 1,5-1,6 рази. На зрошення 1 га в середньому за вегетаційний період використовується 9,1 тис.м^3. Норма споживання води на 1 жителя міста складає біля 600 л на добу.

Національний університет
та природокористування

1.3. Кругообіг води в природі. Водний баланс земної кулі та України

Під дією сонячної радіації з поверхні океанів, морів та суші щорічно випаровується величезна кількість води (577 тис.км^3). Більша частина цієї води (458 тис.км^3) знову повертається в океан у вигляді опадів, що випали над ними, здійснивши *малий кругообіг*. Решта водяної пари переноситься на материки, де випадає у вигляді опадів. Атмосферні опади на суші частково просочуються в грунт, утворюючи підземні води, частково стікають по земній поверхні у вигляді струмків та річок, а решта їх знову випаровується. В кінці кінців волога, принесена повітряними масами на сушу, знову попадає в океан, завершуючи *великий кругообіг* води в природі. Таким чином, кругообіг води в природі - це безперервний процес вологообміну між океаном, атмосферою та сушею. Частина водяних парів випадає у вигляді опадів в безстічні області суші, здійснюючи самостійні вологообміни, майже не пов'язані з загальним кругообігом води в природі. На фоні великого кругообігу води земної кулі можна виділити місцеві або внутрішньоматерикові вологообміни, що відбуваються в межах певних частин континенту.

На випаровування води витрачається приблизно 22% усієї сонячної енергії, що досягає Землі. Над тією чи іншою територією протягом року повітряними масами переноситься велика кількість вологи і тільки 10-40% її випадає у вигляді опадів. З поверхні океанів в атмосферу надходить приблизно 80% загальної кількості води, яка випарувалась на земній кулі. Схема кругообігу води на земній кулі (рис. 1) може бути виражена у вигляді простих рівнянь.

Позначимо середньобагаторічні величини таким чином:

$\overline{X}_c$ - кількість опадів, що випадають на поверхню суші;

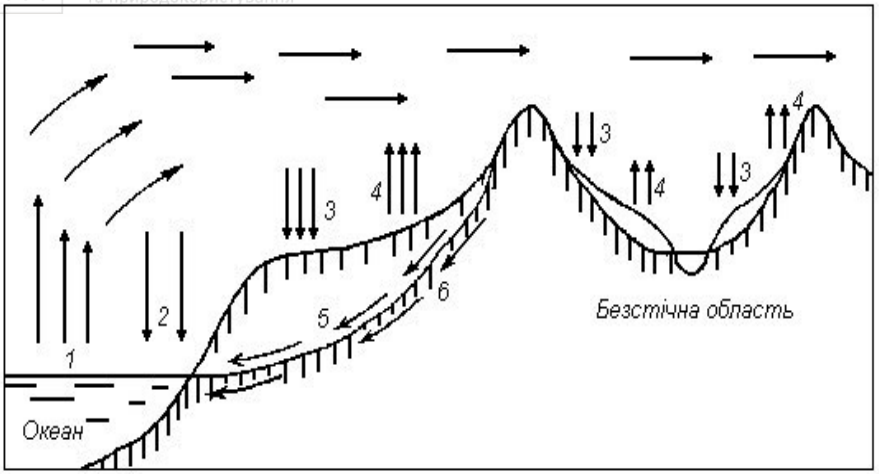
$\overline{X}_0$ - кількість опадів, що випадають на поверхню океану;

$\overline{E}_c$ - величина випарування з поверхні суші;

$\overline{E}_0$ - величина випаровування з поверхні океану;

$\overline{Y}_c$ - стік води з поверхні суші.

Національний університет
водного господарства
та природокористування



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рис.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

Виходячи із суті процесу кругообігу води, запишемо

$$\overline{E}_0 = \overline{X}_0 + \overline{Y}_C, \qquad (1)$$

$$\overline{E}_C = \overline{X}_C - \overline{Y}_C. \qquad (2)$$

Тобто: 1) із океанів в середньому за рік випаровується кількість води, що дорівнює кількості опадів, які випали на його поверхню, плюс річковий стік; 2) із суші в середньому за рік випаровується кількість води, що дорівнює кількості опадів, котрі випали на неї, мінус річковий стік. Склавши ці два рівняння, отримаємо

$$\overline{E}_0 + \overline{E}_c = \overline{X}_0 + \overline{X}_c, \qquad (3)$$

тобто випаровування з поверхні океанів і з поверхні суші дорівнює сумі опадів на поверхню океанів і на поверхню суші.

В середньому на поверхню земної кулі за рік випадає 1130 мм або 577 тис.км^3 опадів, що дорівнює кількості води, що випарувалась. На поверхню океану в середньому за рік випадає 1270 мм, або 458 тис.км^3 опадів, а випаровується - 1400 мм, або 505 тис.км^3, решта 130 мм, або 47 тис.км^3, надходять в океани за рахунок стоку води з суші. Дані про складові світового водного балансу наведені в табл.3.

Таблиця 3

Світовий водний баланс

Поверхня	Площа, млн.км^2	Елементи балансу	Річний об'єм, тис.км^3
Світовий океан	361	Опади	458
		Випаровування	505
		Притік	47
Суша	149	Опади	119
		Випаровування	72
		Стік	47
Земна куля	510	Опади	577
		Випаровування	577

На територію України в середньому за рік випадає 625 мм або 377 км^3 атмосферних опадів, із яких 538 мм (325 км^3) випаровується, а 86,4 мм (524 км^3) припадає на стік.

Елементи водного балансу окремих областей та України в цілому наведено в [3].

Ці дані використовуються при складанні водогоспо-дарських балансів та у схемах комплексного використання і охорони водних ресурсів.

Національний університет
та природокористування

Тема 2. Річкові системи та річкові басейни, їхні морфометричні характеристики

2.1. Гідрографічна мережа. Річкові системи

Вода, що поступає на поверхню Землі у вигляді опадів, стікає під дією сил тяжіння в напрямку пониження місцевості, утворюючи поверхневі водотоки. Вода спочатку збирається в окремі струмені, потім - в струмки, які, поступово з'єднуючись, утворюють річки. Річка приймає в себе притоки і поступово збільшується вниз за течією. Поверхневі водотоки, в залежності від їхньої величини та фізико-географічних умов території, по якій вони протікають, можуть бути постійно або тимчасово діючими. Система постійно і тимчасово діючих водотоків і озер утворює гідрографічну мережу поверхні суші.

В будові гідрографічної мережі можна виділити такі основні ланки, що послідовно змінюють одна одну від верхів'я вниз за течією:

улоговина, видолина, суходіл, річкова долина. *Улоговина* - верхня ланка гідрографічної мережі, являє собою слабовиражену, витягнуту западину водно-ерозійного походження з рівним, ввігнутим дном. *Видолина* - наступна за улоговиною ділянка гідрографічної мережі, відрізняється від неї більшою глибиною врізу, більшою висотою і крутизною схилів і появленням форм розгалуженого русла. *Суходіл* - переддолинна нижня ланка гідрографічної мережі без постійного водотоку, характеризується асиметрією схилів і наявністю звивистого русла тимчасового потоку. *Долина* - найбільш повно розроблена діяльністю води ділянка гідрографічної мережі, характеризується великою протяжністю і наявністю постійного потоку.

Сукупність річок, що впадають в головну річку разом з головною річкою, називається *річковою системою*.

Річкова система включає в себе одну головну річку, ряд приток головної річки, притоки цих приток і т.д. (рис.2). Річки, що безпосередньо впадають в головну річку, називаються *притоками першого порядку* (*1*). Притоками *другого порядку* по відношенню до головної річки, називаються річки, що впадають в притоки першого порядку (*2*) і т. д.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

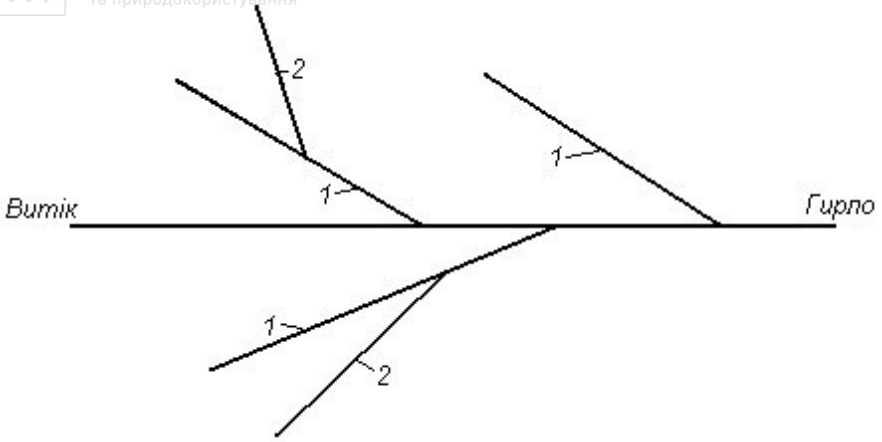


Рис. 2. Схема річкової системи

Кожна річка має свій витік і гирло. *Витік* - це місце початку річки. Початок річка може брати із струмка і джерела, озера або болота, льодовика. Коли річка утворюється від злиття двох річок, місце злиття буде початком цієї річки, але за витік її необхідно приймати початок довшої із цих річок. Місце впадіння річки в річку вищого порядку або в озеро чи море - називається *гирлом*. При впадінні річки в море чи озеро часто відкладається велика кількість наносів, в результаті чого утворюється багаторукавне гирло, що називається *дельтою*.

Припливи, відпливи та морські течії утруднюють утворення дельт. В таких випадках річка часто вливається в море широким руслом, утворюючи *естуарій*. Особливою формою естуаріїв є *лимани*, що являють собою затоплену морем гирлову частину долини. Утворення лиманів має місце при опусканні берегової смуги.

Основними характеристиками річкової системи є: довжина річок, що її утворюють, густота річкової мережі, звивистість і розгалуженість річок. Спосіб вимірювання довжини річок наведений у роботі [3].

Густоту річкової мережі визначають як відношення довжини всіх водотоків даної території до величини її площі, тобто

$$d = \Sigma L / A, \text{ км/км}^2, \qquad (4)$$

Національний університет водного господарства та природокористування

Звивистість річки характеризується коефіцієнтом звивистості, що є відношенням фактичної довжини річки до довжини прямої, котра з'єднує її початок і кінець

$$K_{зв} = \frac{L}{l}, \text{ км/км}^2. \qquad (5)$$

В межах широкої заплави річкові русла інколи розгалужуються на декілька рукавів. Ступінь такої розгалуженості характеризується відношенням суми довжин всіх рукавів до довжини головного русла на відповідній ділянці

$$K_{розг} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \ldots + l_n + L}{L}, \qquad (6)$$

де l_1, l_2, …, l_n – довжини рукавів; L – довжина головної річки на відповідній ділянці.

2.2. Річковий басейн. Морфологічні характеристики річкового басейну

Територія земної поверхні разом з товщею грунтів, звідки дана річкова система або окрема річка отримує водне живлення, називається *басейном* річкової системи або річки. Басейн кожної річки включає в себе поверхневий і підземний водозбори.

Поверхневий водозбір кожної річки відокремлюється від водозбору сусідньої річки *вододілом*, що проходить через найвищі точки земної поверхні між водозборами сусідніх річок. В загальному випадку поверхневий та підземний вододіли не збігаються. Але ж через великі труднощі в визначенні меж підземного водозбору, при розрахунках та аналізі формування стоку, за величину басейну приймають лише величину поверхневого водозбору.

До морфометричних характеристик річкового басейну відносять показники, що характеризують особливості геометричної будови річкових водозборів. Серед них основними є: площа, форма, висота і похил водозбору

Площа водозбору річки безпосередньо визначає її водність: чим більший водозбір, тим повноводніша річка при однакових інших фізико-географічних умовах. Площа водозбору визначається за картою за допомогою планіметра або палетки.

Площа водозбору кожної річки зростає по мірі пересування вниз за течією і впадання в неї приток. Для наочного уявлення про зміну площі водозбору від витоку до гирла будують графік наростання площі водозбору (рис.3).

Для побудови такого графіка необхідно визначити площі водозборів приток і міжбасейнових просторів окремо для правого і лівого берегів головної річки, а також повинні бути виміряні відстані від гирла до впадання приток.

На горизонтальній осі графіка відкладається довжина головної річки в прийнятому масштабі, а на вертикальній – площі водозборів приток в місцях їхнього впадання в головну річку і міжбасейнових просторів. Графіки наростання площі водозбору будують окремо для правого і лівого берегів річки. Сумарний графік отримують складанням значень ординат обох графіків.

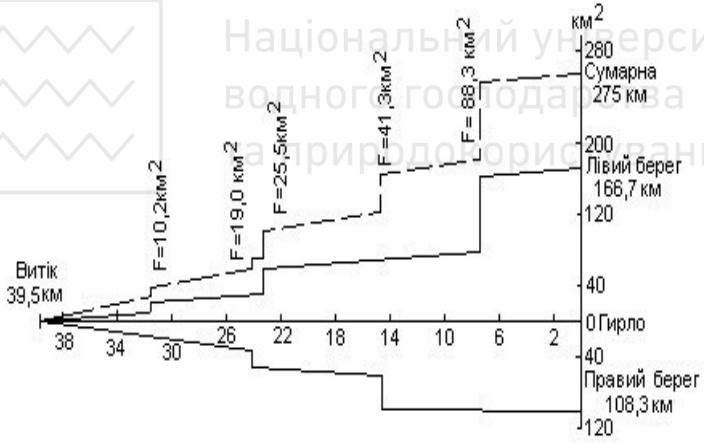


Рис.3. Графік наростання площі водозбору

Кількісною характеристикою форми річкового басейну може бути *середня ширина*, яка визначається за формулою

$$B = \frac{A}{L}, \qquad (7)$$

де A – площа водозбору км^2; L – довжина водозбору, км.

Іншою характеристикою форми річкового басейну є *коефіцієнт розвитку довжини вододільної лінії*, який є відношенням довжини вододільної лінії S до довжини кола, що обмежує рівновелику водозборові площу кола S'

$$m = S / S' = 0{,}282 S\sqrt{A}, \tag{8}$$

де S - довжина вододільної лінії, км; A - площа басейну, км^2.

Залежно від розташування приток відносно головної річки, розрізняють *симетричні* та *асиметричні* басейни. Мірою асиметричності басейну служить *коефіцієнт асиметричності*, який обчислюється за формулою

$$a = (A_л - A_п) / 0{,}5(A_л + A_п), \tag{9}$$

де $A_л$ і $A_п$ – відповідно, сумарна площа водозборів лівобережних і правобережних приток.

Важливою характеристикою басейну є його *середня висота*, яка визначається за формулою

$$H_{сер} = (f_1 h_1 + f_2 h_2 + \cdots + f_n h_n) / A, \tag{10}$$

де - $f_1, f_2, \ldots f_n$ - часткові площі, обмежені горизонталями; h_1, h_2, … h_n - середня висота між горизонталями; A - площа басейну.

Середній похил поверхні басейну може бути визначений за формулою

$$I_{сер} = h(0{,}5 l_0 + l_1 + l_2 + \cdots + 0{,}5 l_n) / A, \tag{11}$$

де h - висота перерізу горизонталей; l_0, l_1, l_2, … l_n - довжини горизонталей в межах басейну.

2.3. Структура річкового русла. Русло в плані

Русло - частина дна долини, по якій здійснюється стік води. Частина русла, по якій здійснюється стік води в маловодний (*меженний*) період, називається *корінним*, або *меженним* руслом. Частина

долини річки, яка заливається річковою водою періодично лише в періоди інтенсивного надходження води, називається *заплавним руслом* (*заплавою річки*). Схематичний переріз річкової долини та її елементи наведені на рис.4.

В плані русло має, як правило, звивисту форму. Це пояснюється розмивною діяльністю потоку, що формує своє русло в межах широкого дна долини, або внаслідок пристосування потоку до звивистості долини. Розподіл глибин в руслі пов'язаний з обрисом русла в плані. Розташування *ізобат* (ліній однакових глибин) на рівнинних річках вказує на чергування *плесів* (глибоких ділянок) і перекатів (мілких ділянок) (рис.5).

Перекат - характерна для рівнинних річок форма рельєфу дна, яка формується відкладанням наносів у вигляді широкого пасма, що перетинає русло під кутом до загального

напрямку течії і викликає відхилення його від одного берега до іншого. Лінію, що з'єднує точки з найбільшими глибинами вздовж річки у плані, називають *фарватером*.

Характер розподілу глибин в руслі добре описується закономірностями Фарга:

1. Лінія найбільших глибин за течією прагне притиснутися до вигнутого берега; пісок відкладається на протилежному березі у вигляді пляжів.

Рис.4. Схематичний поперечний профіль річкової долини та її основні елементи

Національний університет
водного господарства
та природокористування

2. Найглибша частина плесу і наймілкіша частина перекату зсунуті по відношенню до точок найбільшої кривизни вниз за течією приблизно на чверть довжини плесо плюс перекат.

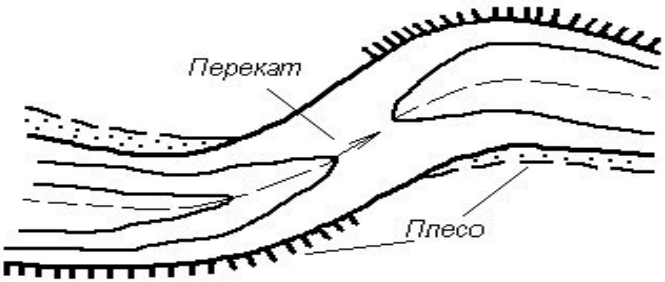


Рис.5. Русло в плані

3. Плавній зміні кривизни відповідає плавна зміна глибин; всяка різка зміна кривизни супроводжується різкою зміною глибин.

4. Чим кривизна більша, тим більша глибина плесу.

5. Із збільшенням довжини кривої при даній її кривизні глибина спочатку зростає, а потім зменшується. Для кожної ділянки існує деяке середнє найбільш сприятливе глибинам значення довжини кривої.

Поперечний переріз русла та його морфометричні характеристики

Поперечний переріз – площина, що перпендикулярна до напрямку течії і обмежена знизу дном, з боків відкосами русла, а зверху - лінією горизонту води.

До морфометричних характеристик відносяться: площа живого перерізу (ω, м^2) ширина русла (B, м), змочений периметр (χ, м), середня глибина ($h_{сер}$, м) і гідравлічний радіус (R, м).

Живий переріз є частиною всього водного перерізу, де спостерігається течія води. Та ж частина водного перерізу, де ця течія відсутня, називається *мертвим простором*. Площа живого перерізу обчислюється за виміреними глибинами.

Ширина річки - це віддаль між урізами води лівого та правого берегів при даному рівні води.

Змочений периметр (χ) - довжина підводного контуру живого перерізу.

Середня глибина обчислюється як відношення площі живого перерізу до ширини річки

$$h_{сер} = \omega / B. \quad (12)$$

Гідравлічний радіус обчислюють як відношення площі живого перерізу до змоченого периметру

$$R = \omega / \chi. \quad (13)$$

Для великих рівнинних річок за гідравлічний радіус допускається приймати середню глибину русла.

Поздовжні профілі річок

Поздовжній профіль річки – лінія, що показує зміну висоти дна і поверхні води від витоку до гирла.

Поздовжній профіль річки характеризує зміну похилів її дна і похилів поверхні води вниз за течією.

Похил виражається відношенням різниці відміток дна або поверхні води на початку h_1 і в кінці h_2 ділянки до довжини цієї ділянки l

$$i = (h_1 - h_2) / l. \quad (14)$$

Похил може виражатися або у вигляді десяткових дробів, або в промілле ($^{o}/_{oo}$)**,** що показує падіння в м на 1 км довжини річки. Розрізняють такі типи поздовжніх профілів річок (рис.6):

1) *пологоввігнутий*, або *профіль рівноваги*, найбільш поширений для великих рівнинних річок;

Національний університет
водного господарства
та природокористування

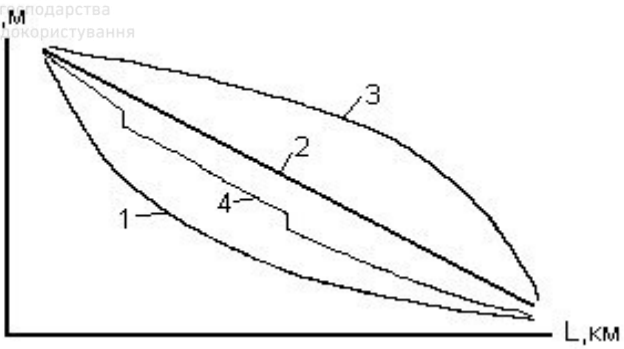


Рис.6. Типи повздовжніх профілів річок

2) *прямолінійний* - характерний в основному для малих річок; 3) *скидовий* або *опуклий*, що має малий похил в верхів'ї і більший в нижній течії, зустрічається рідко; 4) *східчастий*, утворюється за наявністю ряду проміжних базисів ерозії у вигляді озер, водосховищ тощо.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 3. Режим стоку річок

3.1.Поняття про режим вод суші. Одиниці вимірювання стоку

Сукупність характерних особливостей зміни стану водних об'єктів в часі об'єднуються поняттям *режиму вод*, або *гідрологічного режиму*. Гідрологічний режим проявляється в багаторічних, сезонних та добових коливаннях рівнів води, водності, льодових явищ, температури води, кількості наносів, в зміні складу та концентрації розчинених речовин зміні русел річок. Із характеристик гідрологічного режиму особливо велике практичне значення має річковий стік. Ступінь обводнених територій, гідроенергетичні запаси, розміри водних шляхів сполучення - все це визначається величиною стоку.

У практиці гідрологічних розрахунків для кількісної оцінки стоку річок застосовують ряд його характеристик, які поділяють на *розмірні* та *безрозмірні*. До розмірних характеристик відносяться витрата води, об'єм, модуль та шар стоку; до безрозмірних - модульний коефіцієнт та коефіцієнт стоку.

Національний університет

Витратою води (*Q*) називається кількість води, що протікає через поперечний переріз річки за одиницю часу і виражається в м^3/с або л/с. Витрата води може бути миттєвою, що характеризує водність річки в якийсь момент часу або середньою за певний період (добу, декаду, місяць, рік).

Об'єм стоку (*W*) - кількість води, що протікає через поперечний переріз річки за деякий проміжок часу і, в залежності від тривалості періоду та водності річки, виражається в кубічних метрах (м^3) або в кубічних кілометрах (км^3).

Об'єм стоку визначається за формулою

$$W = Q \cdot t, \tag{15}$$

де Q – середня витрата за даний період, t - кількість секунд в цьому періоді.

Модуль стоку (*M*) - кількість води, що стікає з одиниці площі водозбору за одиницю часу. Ця величина виражається в л/с·км^2, л/с· га або в м^3/с ·км^2 . Модуль стоку визначається за формулою

$$M = Q / A, \tag{16}$$

де A - площа водозбору, км^2.

Шар стоку (*y*) - характеризує висоту шару води в міліметрах, яку можна отримати, якщо об'єм стоку рівномірно розподілити по всій площі водозбору річки. Шар стоку визначається за формулою

$$y = W / A \cdot 10^3. \tag{17}$$

Між шаром і модулем існує залежність

$$y = 31{,}56M.$$

Модульний коефіцієнт (*K*) є відношенням величини стоку за будь-який період до середньобагаторічного значення, тобто

$$K = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{W_i}{W_0} = \frac{M_i}{M_0} = \frac{Y_i}{Y_0}, \tag{18}$$

де Q_i, W_i, M_i, Y_i - стік за прийнятий період; Q_0, W_0, M_0, Y_0 - середнє багаторічне значення стоку.

Коефіцієнт стоку (α) характеризує відношення шару стоку (Y) за будь-який період до шару опадів (X) за цей же період

$$\alpha = Y / X. \qquad (19)$$

Співвідношення між характеристиками стоку наведені в табл.4.

Таблиця 4

Співвідношення між характеристиками стоку

Одиниці вимірювання стоку	Витрата, Q, м^3/с	Модуль, M, л/с·км^2	Об'єм, W, м^3	Шар, y, мм
Витрата, Q, м^3/с		$M \cdot A / 10^3$	W/t	$y \cdot A \cdot 10^3 / t$
Модуль, M, л/с·км^2	$Q \cdot 10^3 / A$		$W \cdot 10^3 / t \cdot A$	$y/31{,}56$
Об'єм, W, м^3	$Q \cdot t$	$M \cdot A \cdot t \cdot 10^3$		$y \cdot A \cdot 10^3$
Шар, y, мм	$Q \cdot t / A \cdot 10^3$	$31{,}56 M$	$W/A \cdot 10^3$	

3.2. Поняття про живлення річок

Вода надходить у річки за рахунок стікання атмосферних опадів поверхневими та підземними шляхами. Залежно від конкретних умов надходження атмосферної вологи безпосередньо в річки, води, що беруть участь в живленні річок, ділять на снігові, дощові, підземні та льодовикові.

В окремих випадках буває важко чітко виділити роль різних джерел у формуванні сумарного стоку річки. В такому разі вживають термін "змішане живлення".

В різних фізико-географічних умовах питома вага окремих джерел живлення неоднакова. Більшість річок України живиться за рахунок танення снігів. Стік за рахунок танення снігу досягає від 40 до 80%, а

Національний університет водного господарства та природокористування
на деяких малих річках півдня республіки - до 90 і навіть 100% величини стоку за рік. В живленні річок Карпат і гірського Криму велику питому вагу мають дощові води. В усіх регіонах республіки в маловодний період вирішальну роль в живленні річок відіграють підземні води. Середньобагаторічні модулі підземного живлення малих річок змінюються від 2,5-3,0 на заході і півночі республіки до 0,01-0,5 л/с·км^2 на півдні та сході.

3.3. Фази річкового стоку

В режимі стоку річок виділяють ряд характерних фаз (періодів) залежно від зміни умов живлення. Такими фазами є повінь, паводок та межень.

Повінь - фаза водного режиму, що характеризується найбільшою в році водністю і тривалим підняттям рівня, що супроводжується виходом води на заплаву. Повінь викликається головним джерелом живлення і для річок однієї кліматичної зони повторюється щорічно в один і той же сезон з різною інтенсивністю і тривалістю. Весняна повінь викликається на рівнинних річках таненням снігів, а весняно-літня та літня - таненням високогірних снігів і льодовиків, а також випаданням дощів.

Паводок - значне, порівняно короткочасне, підвищення водності річки. На відміну від повені виникає нерегулярно. Паводки звичайно виникають від дощів або танення снігу під час зимових відлиг.

Величина підняття рівня і збільшення витрат води при паводках нерідко може перевищувати рівні і витрати повеней.

Межень - період в середині річного циклу, що характеризується тривалою низькою водністю внаслідок зменшення або припинення поверхневого стоку. В цей період річки живляться переважно за рахунок підземних вод. Розрізняють літню та зимову межень. До літньої межені відносять період від кінця повені до осінніх паводків, а при їхній відсутності - до початку зимового періоду. За зимову межень приймають період від початку зимового періоду до початку повені.

Типові гідрографи стоку. Розчленування гідрографів

Гідрограф - це графік зміни в часі витрат води за певний проміжок часу (рік, сезон, повені, паводку). 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.

Кількісна оцінка частки різних джерел живлення в стоці досліджуваної річки проводиться розчленуванням гідрографів. Розчленування гідрографів за джерелами живлення виконують з урахуванням особливостей режиму річки, умов надходження води від дощів, сніготанення та із підземних джерел.

В загальних випадках виділення грунтового стоку проводиться прямою лінією або плавною кривою, що проходить через ординату останньої зимової витрати і через ординату витрат початку літньої межені. Виділення літніх паводків в цьому випадку здійснюється перетинанням гілки підйому і спаду паводків з лінією, що відділяє підземний стік від паводкового.

А.В.Огієвський рекомендував схему, за якою спочатку на гідрографі проводиться лінія глибоководного підземного живлення AA' (рис.7), що відповідає мінімумам посушливих років. Потім за даними для суворих зим визначається максимальний спад інтенсивності зменшення підземного живлення (*C)* і проводиться лінія підземного живлення *BC*. Точку перетину лінії *BC* з лінією AA' визначають границею падіння грунтового живлення в кінці зими. Від цього моменту до дати появлення гребеня весняної повені, підземне живлення приймається постійним. (до точки *D*). Починаючи від цієї дати передбачається збільшення підземного живлення з інтенсивністю i_n, що дорівнює раніше визначеній інтенсивності $i_{сп}$.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

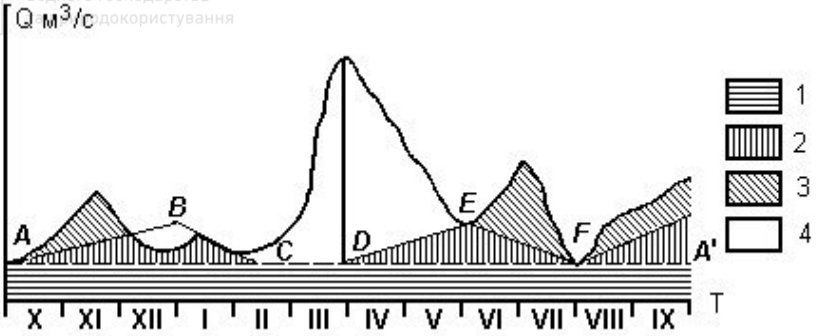


Рис.7. Розчленування гідрографа р. Дніпра біля м. Києва за джерелами живлення: 1 - глибоке підземне живлення; 2 – верхове підземне живлення; 3 – дощове живлення; 4 – снігове живлення

Із отриманої точки *E* лінію підземного живлення орієнтують на літній мінімум *F*. Від дати літнього мінімуму приймають збільшення підземного живлення за рахунок осінніх дощів.

При граничному підйомі, що дорівнює лінія підземного живлення перетнеться з такою ж лінією для зимового періоду в точці *B*.

Б.В.Поляков і Б.І.Куделін рекомендували схеми, в котрих підземне живлення з початком весняної повені зменшується, досягаючи нуля в період проходження гребеня повені.

Розглянуті схеми розчленування гідрографів річкового стоку дозволяють виявити деякі закономірності формування руслових вод і можуть бути використані при детальних дослідженнях за наявністю достатньо повної інформації про гідрометеорологічні та гідрогеологічні особливості річкових водозборів.

3.4. Фактори річкового стоку

Режим річкового стоку формується під впливом складної взаємодії фізико-географічних факторів. Останнім часом суттєвий вплив на природний режим стоку створює господарська діяльність людини.

Вивчення впливу окремих факторів на кількісні та якісні характеристики річкового стоку дозволяє розробляти методи розрахунків елементів річкового стоку для невивчених річок, а також запобігати негативному впливу людської діяльності на водозборі.

На річковий стік впливають:

І. Кліматичні фактори (зональні).

2. Фактори підстелюючої поверхні (азональні).

3. Фактори людської діяльності в басейні (антропогенні).

До *кліматичних* факторів відносяться опади, випаровування, температура, вологість та дефіцит вологості повітря, вітер.

Аналізуючи рівняння водного балансу річкового басейну за багаторічний період, бачимо, що основними кліматичними факторами стоку є опади та випаровування. Це дозволило відомому російському кліматологу А.І.Воєйкову зробити висновок, що річки є продуктом клімату. Отже, чим більша кількість опадів і менше випаровування, тим більшою буде величина стоку і, навпаки, із зменшенням кількості опадів і збільшенням випаровування, стік зменшується. Температура, вологість повітря і вітер впливають на умови випадання опадів, стан поверхні грунту, дефіцит вологості повітря і величину випаровування, діючи, таким чином, осереднено на річковий стік. Кліматичні фактори мають зональний розподіл по території, тому їх називають ще *зональними*.

До *факторів підстелюючої поверхні* відносяться геологічні умови, розміри басейну та рельєф, грунти, рослинність, озерність та заболоченість басейну. Вплив цих факторів на стік в основному проявляється через вплив на кліматичні фактори та на величину втрат стоку.

Вплив розмірів та рельєфу басейну проявляється в тому, що із збільшенням площі водозбору збільшується вріз русла, збільшується ступінь дренування водоносних горизонтів і, отже, збільшується підземне живлення річок. Вплив рельєфу проявляється в інтенсивності розвитку процесів поверхневого стоку. Дуже розчленований рельєф сприяє інтенсивному розвитку цього процесу. При рівнинному рельєфі стік атмосферних опадів відбувається сповільнено, збільшується його інфільтрація в грунт та втрати на випаровування.

Висотне положення рельєфу значною мірою впливає на опади та випаровування. Із збільшенням висоти басейну зростає кількість опадів, зменшуються температура повітря і випаровування з його поверхні.

Вплив грунтів на річковий стік проявляється через величину інфільтрації та випаровування з поверхні басейну. Піщані грунти сприяють переведенню поверхневого стоку в підземний і зменшенню втрат на випаровування. На маловодопроникних грунтах (глини,

суглинки), в зв'язку з малою інфільтрацією, поверхневий стік збільшується, а підземний зменшується. Мерзлі грунти 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 грунт, що підвищує величину підземного стоку.

Вплив лісу на річковий стік проявляється в зміні кліматичних факторів стоку та в перерозподілі поверхневого і підземного стоку.

Кількість опадів в лісі збільшується порівняно з відкритою територією на величину 10-20% в залежності від залісеності та взаємного розташування відкритих ділянок та лісових масивів. Крім того, лісові грунти сприяють збільшенню величини інфільтрації, тобто переведенню поверхневого стоку в підземний.

В більшості випадків залісеність басейну веде до збільшення багаторічного стоку великих річок від 5 до 20% (В.Є.Водогрецький).

На малих річках, де відсутнє підземне живлення, внаслідок переведення поверхневого стоку в підземний, який виклинюється в руслах великих річок за межами даного басейну, спостерігається зменшення багаторічного стоку під впливом лісу.

Вплив озер та боліт проявляється в збільшенні випаровування з водної поверхні, порівняно з випаруванням з поверхні суші. Ступінь зменшення річкового стоку під дією озер, залежить від кліматичної зони. В зоні достатнього та надлишкового зволоження, де випаровування з водної поверхні близьке до випарування з суші, додаткові втрати на випаровування з поверхні озер відносно невеликі, зниження величини річкового стоку під дією озер складає незначну частку по відношенню до зональної величини стоку в цьому районі. В умовах недостатнього зволоження, де випаровування з водної поверхні значно перевищує величину випаровування з суші, озера можуть суттєво зменшувати величину річкового стоку.

Вплив боліт на річковий стік незначний. В умовах достатнього зволоження болота не зменшують величину річного стоку, а в зоні надмірного зволоження навіть дещо збільшують її. В умовах недостатнього зволоження болота, як і озера, можуть дещо знижувати величину стоку за рахунок більшого випаровування з їхньої поверхні в порівнянні з випаровуванням з поверхні суші.

Господарська діяльність людини в басейні може проявлятись в перерозподіленні стоку в часі і по території (регулювання стоку водосховищами, переміщення води із одних басейнів в інші, крупні водо-

забори та скиди і т.п.) та в зміні співвідношення між елементами водного балансу в басейнах річок (агролісомеліоративні заходи, урбанізація тощо).

Будівництво водосховищ та ставків, спорудження каналів для переміщення води з одних річок в інші, скидання в річки промислових та талих вод значно змінюють гідрологічний режим. Будівництво водосховищ та ставків веде до значного зменшення річкового стоку як внаслідок збільшення випаровування з їхньої поверхні, так і за рахунок акумуляції в них частини стоку. Крупні водозабори на зрошення та обводнення також ведуть до зменшення річкового стоку. В деяких промислових районах спостерігається збільшення річкового стоку окремих річок за рахунок скидання в них шахтних вод, а також промислових і побутових вод, які відбиралися із глибоких горизонтів.

Такі агротехнічні заходи, як глибока і зяблева оранки поперек схилу, снігозатримання і полезахисне лісонасадження сприяють збільшенню шпаруватості та проникливості грунтів і посилюють інфільтрацію дощових та снігових вод. Вони ж сприяють затриманню поверхневого стоку на полях і зниженню його величини зі схилів. Під впливом агротехнічних заходів особливо значне зменшення поверхневого стоку спостерігається у степових районах.

3.5. Водний баланс річкового басейну

Водний баланс – це співвідношення за певний проміжок часу (рік, місяць, декаду і т.д.) припливу, витрати та акумуляції води в межах річкового басейну, ділянки території, чи будь-якого водного об'єкту.

Розглянемо методику складання водного балансу для будь-якої замкнутої території (рис.8).

Прихідна частина балансу складається із опадів (*X)*, конденсації вологи (*K*), поверхневого ($y_{пов.}$) та підземного ($y_{підз.}$) припливів.

Витратна частина складається із випаровування з поверхні території (*E*); поверхневого ($y'_{пов.}$) та підземного ($y'_{підз.}$) відтоків.

Позначивши акумуляцію води в об'ємі ΔU , запишемо рівняння водного балансу для даної території

$$X + K + Y_{пов} + Y_{підз} - E - Y'_{пов} - Y'_{підз} = \pm\Delta U. \qquad (20)$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

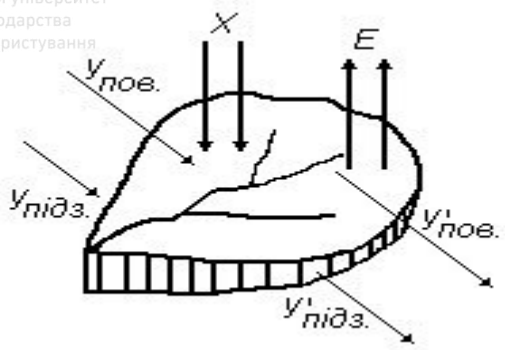


Рис.8. Узагальнена схема вологообміну

Проаналізуємо це рівняння стосовно річкового бассейну. Для річкового бассейну $Y_{пов} = 0.$ Відтік із бассейну поверхневим шляхом – це стік даної річки. Отже $Y'_{пов} = Y.$ Тоді рівняння (20) можна записати в такому вигляді

$$X = Y + E \pm \Delta U - K - (Y_{підз} - Y'_{підз}). \quad (21)$$

Величина $(Y_{підз} - Y'_{підз})$ - підземний водообмін між сусідніми басейнами. Якщо поверхневий контур водозбору збігається з підземним, то $Y_{підз} - Y'_{підз} = 0.$ Для інших водозборів, внаслідок незначної величини цієї різниці, її також можна приймати рівною нулю. Тоді

$$X = Y + E \pm \Delta U \quad (22)$$

або відносно величини стоку

$$Y = X - E \pm \Delta U. \quad (23)$$

Рівняння (23) дійсне для будь-якого проміжку часу. Акумуляційний член ΔU в посушливі роки має від'ємне значення, в багатоводні – додатнє.

Якщо скласти рівняння водного балансу річкового бассейну для декількох років (n), потім додати окремі складові і почленно розділити на кількість років, то отримаємо

$$\frac{\Sigma Y}{n} = \frac{\Sigma X}{n} - \frac{\Sigma E}{n} \pm \frac{\Sigma \Delta U}{n}. \qquad (24)$$

Для багаторічного періоду $\Sigma \Delta U = 0.$

Тоді матимемо

$$Y_0 = X_0 - E_0, \qquad (25)$$

де Y_0, X_0, E_0 – відповідно норми стоку, опадів та випаровування.

Метод водного балансу є основним засобом дослідження формування стоку як за багаторічний період, так і для окремих років або періодів року.

Тема 4. Термічний та льодовий режим річок

Зимовий режим річок суттєво відрізняється від режиму в інші періоди року. В зимовий період річки майже повністю живляться за рахунок підземних вод. Тільки на півдні та під час короткочасних відлиг в інших районах спостерігається більш-менш значний поверхневий стік. Як правило, в більшості випадків, витрати річок різко зменшуються. В цьому режимі виділяють три основні періоди: замерзання, льодоставу та скресання річок.

Перший період характеризується початком процесів льодоутворення, осіннім льодоходом та утворенням льодового покриву; *другий* - нарощуванням товщини льодового покриву; *третій* - початком процесу танення льоду, руйнуванням льодового покриву та повним очищенням водної поверхні від льодових утворень.

Замерзання річок та водойм є процесом переходу води із рідкої фази в тверду. Початок льодоутворення в зв’язку з цим на всіх водних об'єктах зумовлюється охолодженням води до 0°С і нижче та визначається запасом тепла в потоці чи водоймі і теплообміном води з навколишнім середовищем в осінньо-зимовий період.

Чим більша водність, а отже й запас тепла в потоці чи водоймі, тим

Національний університет
пізніше, при однакових метеорологічних умовах, починається льодоутворення і, навпаки, при малій водності - на малих річках та водоймах льодоутворення завжди починається раніше, ніж на більш крупних річках.

Відомо, що процес кристалізації води супроводжується виділенням теплоти плавлення в кількості 80 кілокалорій на 1 кг утвореного льоду. Необхідними умовами для безперервності процесу є відведення теплоти, що виділяється при кристалізації, яке відбувається, в основному через вільну водну поверхню, та наявність центрів кристалізації, якими є сніг та тверді частинки завислих наносів.

На річках із незначними швидкостями течії та на водоймах льодоутворення, в основному, проходить в поверхневому шарі води, при цьому переохолодження води в тонкому поверхневому шарі складає декілька сотих і лише інколи декілька десятих градуса. Початковою фазою поверхневого льодоутворення є так зване *сало* - тонка льодяна плівка, що складається із прозорих льодяних кристалів у вигляді дрібних голок і переміщується на поверхні окремими плямами.

Одночасно виникають льодові утворення біля берегів, що називаються *заберегами*. З часом забереги збільшуються в розмірах, заповнюючи водну поверхню річки, а сало змерзається в окремі крижини і поля. Переміщення окремих крижин та відірваних від берегів заберегів утворює осінній льодохід. Зупинка пливучих льодоутворень веде до утворення льодового покриву.

На річках зі значними швидкостями потоку (при $v \geq 0{,}7$ м/с) має місце турбулентне перемішування потоку по всій його глибині. В результаті цього по всьому живому перерізу потоку має місце переохолодження водних мас на декілька сотих градуса, що сприяє утворенню кристалів льоду в середині потоку навколо завислих твердих частинок та на дні потоку.

З ростом кристалів та об'єднання їх в загальну масу утворюється так званий *внутрішньоводний лід*, який є непрозорою губчатою масою, що складається із хаотично розташованих кристалів льоду. Для утворення внутрішньоводного льоду необхідні такі умови:

1. Переохолодження потоку, що проходить через втрату тепла з водної поверхні в атмосферу. Величина переохолодження складає від декількох тисячних до декількох сотих часток градуса, і лише в окремих випадках в тонкому поверхневому шарі може досягати до 1-1,4°С.

2. Відведення тепла із придонних областей через товщу води в

Національний університет водного господарства
атмосферу.

3. Наявність центрів кристалізації.

4. Наявність турбулентного перемішування.

Отже внутрішньоводний лід може утворюватись в будь-якій точці потоку за наявності необхідних умов. Такими умовами є відкрита водна поверхня, значне переохолодження води по всьому живому перерізу русла і наявність швидкостей, при яких не можливе утворення льодового покриву.

По мірі розвитку процесів льодоутворення із кристалів внутрішньоводного льоду утворюється шуга. *Шуга* - це внутрішньоводний лід, що знаходиться на глибині потоку, або спливає на поверхню у вигляді окремих зерен та їхніх скупчень. Шуга може знаходитись в стані руху (*шугохід*) або існувати у вигляді скупчень під льодовим покривом.

Умови для утворення внутрішньоводного льоду можуть мати місце як на початку зимового періоду, так і на протязі всієї зими при наявності незамерзлих ділянок річки - *ополонок*.

В залежності від умов потоку в одних випадках із шуги, разом з іншими льодовими утвореннями, формується льодовий покрив, а в інших - утворюються зажори.

Зажор - це закупорення живого перерізу річки скупченнями внутрішньоводного льоду, сніжури, битого поверхневого льоду в місцях стиснення водного потоку (звуження русла, перекати, границя льодоставу), що викликає різкий підйом рівня води і затоплення території. Розмивання шуги в зажорі проходить дуже повільно, в зв'язку з чим високі рівні тримаються досить довго, а безнапірні рівні поновлюються лише навесні.

Боротьба з внутрішньоводним льодом повинна бути направлена на виключення причин, що викликають його утворення, тобто на зменшення швидкості течії. Це може бути досягнуто влаштуванням на поверхні води спеціальних запаней, зменшенням в передльодоставний період скидів із водосховища, та влаштуванням спеціальних резервних водосховищ.

Період льодоставу триває з моменту встановлення льодового покриву до початку його танення. Він характеризується нарощуванням товщини льодового покриву. Інтенсивність цього процесу характеризується рядом факторів: ходом температури повітря, швидкістю потоку, наявністю снігу на поверхні льоду.

Національний університет

Інтенсивність наростання льоду на протязі зими нерівномірна: в початковий період вона більша, а потім зменшується, тому що зі збільшенням товщини льоду втрати тепла з водної поверхні через льодовий покрив зменшуються. Зменшуються вони і із збільшенням висоти снігу на поверхні льодового покриву.

Інтенсивність наростання товщини льоду зменшується із збільшенням швидкості потоку. В середньому різниця між товщиною льоду на водоймах та річках при рівності інших факторів, досягає 30%.

Приблизно обчислити товщину льоду можна за емпіричною формулою, параметри якої розроблені різними авторами для певних регіонів

$$h = \varphi \sum (-t^{\circ}C)^{\frac{1}{n}}, \qquad (26)$$

де h - товщина льоду, см; φ - параметр, що характеризує швидкість течії та наявність снігового покриву; $\Sigma(-t^{\circ}C)$ – сума від'ємних середніх добових температур повітря з початку льодоставу; n - географічний параметр.

Танення льодового покриву починається з появою позитивних температур повітря.

Скресання річок проходить в тій же послідовності, що й замерзання. Спочатку лід тане на малих річках та водоймах в результаті більш швидкого нагрівання їх теплими талими водами, а пізніше - на крупних. Скресання річок проходить при різкому збільшенні водності річки, що веде до підйому рівня води і руйнування льодового покриву особливо біля берегів. Це викликає *весняний льодохід*.

Нерідко в період весняного льодоходу утворюються затори льоду.

Затор - нагромадження криги у руслі річки під час льодоходу, яке викликається звуженням водного перерізу і пов'язаним з цим підвищенням рівня води. Затори виникають, в першу чергу, в місцях найбільшого звуження русла та в результаті неодночасного танення льоду на окремих ділянках річки. Найбільш поширені затори на річках, що течуть в напрямку з півдня на північ. Як і зажори льоду, затори приносять інколи значні збитки народному господарству.

Методи боротьби з заторами льоду полягають в механічному руйнуванні скупчень льоду на певних ділянках (бомбометання тощо) та затемненням льоду спеціальними матеріалами для прискорення танення льоду на заторонебезпечних ділянках.

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 5. Твердий стік

5.1. Формування річкових наносів

При водогосподарському використанні річок необхідно знати не лише їхній водний режим, але й режим наносів та процеси, пов'язані з життям річки, зі зміною форми русла, його переміщенням або переформуванням.

Вода, що стікає по земній поверхні під дією сили тяжіння, безперервно виконує певну роботу. Величина цієї роботи залежить від маси стікаючої води та величини падіння річки в межах ділянки, що розглядається. Роботу водного потоку за одиницю часу можна визначити за формулою

$$A=1000QH, \text{кг·м/с}, \tag{27}$$

де Q - витрата води, м^3/с, H - падіння річки, м.

Якщо мати на увазі, що 1 квт дорівнює 102 кг·м/с, то отримаємо для потужності потоку вираз

$$N=9{,}8QH, \text{квт}. \tag{28}$$

Основна частина енергії потоку витрачається на переборювання внутрішнього опору руху, що виникає внаслідок тертя між собою частинок рідини. Інша, менша частина енергії потоку, витрачається на розмивання твердих порід водозбору та русла і переміщення продуктів розмивання з підвищених місць басейну в понижені. Отже, цією енергією зумовлюються всі процеси денудації, а саме: 1) змивання часток грунту з поверхні водозбору, або *ерозія*; 2) перенесення часток вниз за течією (*транспортування*), 3) відкладення, або *акумуляція* часток.

Відмітка площини рівня водойми, в котрий впадає річка, визначає як загальну енергію потоку, так і величину граничних наносів в нижній частині річки. Ця площина рівня є *базисом ерозії*. Зміна відмітки базису ерозії безпосередньо впливає на зміну розмивної енергії потоку.

В залежності від швидкості течії та маси твердих частинок, переміщення продуктів розмивання відбувається у вигляді завислих

наносів, що займають весь переріз потоку та у вигляді донних наносів, що переміщуються по дну потоку. Кількість завислих часток в потоці характеризують його мутність ρ в г/м^3. *Витратою завислих наносів* називається кількість завислих наносів, що переносяться річкою через поперечний переріз за одиницю часу в кг/с. Сумарна кількість наносів, що переносяться річкою за якийсь період часу (місяць, сезон, рік), називається *стоком наносів* за відповідний період.

Крім завислих та донних наносів, потік переносить ще й розчинені речовини (рештки живих організмів, різні солі). Сумарний стік завислих, донних та розчинених речовин називається *твердим стоком* річки.

На формування стоку наносів, крім енергії потоку, значною мірою впливають фізико-географічні умови басейну: наявність рослинності, типи грунтів, уклони схилів, режим випадання опадів.

5.2. Механізм переміщення наносів

Умови зависання твердих часток визначаються гідравлічним режимом потоку, крупністю, формою та питомою вагою часток. Величина підйомної сили біля дна пропорційна квадрату придонної швидкості потоку. На частку, що знаходиться в потоці, діє вертикальна складова швидкості та сила тяжіння, що зумовлює випадіння її на дно. Величина цієї сили залежить від гідравлічної крупності наносів. *Гідравлічною крупністю наносів* (w) називається швидкість рівномірного випадання часток в спокійній воді. На основі досліджень встановлена залежність між величиною гідравлічної крупності та розміром часток

для часток діаметром менше 0,2 см

$$w = \sqrt[1,2]{d(\rho - 1)/0{,}007}, \qquad (29)$$

для часток діаметром більше 0,2 см

$$w = \sqrt{d(\rho - 1)/0{,}0064}, \qquad (30)$$

де ρ - щільність часток; d - діаметр часток.

Існують простіші залежності між гідравлічною крупністю та розміром часток, наприклад, формула Хазена

$$d = 0{,}00255\sqrt{w}. \qquad (31)$$

Частка діаметром d буде знаходитись в завислому стані, якщо

Національний університет
вертикальна складова швидкості течії v буде більшою або дорівнюватиме гідравлічній крупності цієї частки.

Процеси ерозії та акумуляції протікають одночасно на всьому протязі річки. Але їхня інтенсивність неоднакова на різних ділянках. В верхів'ях, де швидкості значні, ерозія перевищує акумуляцію, і русло річки постійно пог-либлюється В середній течії ці процеси врівноважуються, а в низов'ї акумуляція перевищує ерозію, що зумовлює поступове підвищення дна русла. Співвідношення між процесами ерозії та акумуляції знаходиться в залежності від транспортуючої здатності потоку та фактичної наявності в ньому наносів.

Для оцінки транспортуючої здатності потоку можна використати Формулу Е.А.Замаріна

$$q = 0{,}022\sqrt{(v/w)^3 RI}, \tag{32}$$

де q - транспортуюча здатність потоку в кг/м^2; v - середня швидкість течії в м/с, R - гідравлічний радіус в м, I - уклон потоку, w - середня зважена гідравлічна крупність завислих наносів в м/с. Формула (32) застосовується при $0{,}002 \le w \le 0{,}008$ м/с.

Національний університет водного господарства та природокористування

Із залежності (32) можна отримати формулу незамулюючої швидкості

$$v = 12{,}7 w^3 \sqrt[3]{q^2} / \sqrt{RI}. \tag{33}$$

Існує наближена формула Р.Кеннеді для визначення незамулюючої швидкості

$$v = 0{,}55 H^{0{,}64}, \tag{34}$$

де H - глибина потоку в м.

Коли підйомна сила менша маси частки, то остання переміщується по дну. Встановлено, що маса часток, котрі переміщуються по дну потоку, пропорційна шостій степені швидкостей. Це так званий закон Ері, тобто

$$\rho = A v^6. \tag{35}$$

Це пояснює ту особливість, що рівнинна річка переміщує лише піщані наноси, а гірська, де швидкості значно більші, - великі камені.

Швидкість потоку, при якій розпочинається рух наносів по дну, визначається за формулою

$$v = k\sqrt{d}, \tag{36}$$

де k – коефіцієнт пропорційності, котрий дорівнює приблизно 5,0; d

- діаметр часток, м.

Значення розмивної швидкості, при якій розпочинається масовий рух наносів, може бути визначений за формулою Г.І.Шамова

$$v_{сер} = 6d^{1/3}h^{1/6}, \quad (37)$$

де h - глибина на вертикалі, м.

Значення швидкості, при якій припиняється рух наносів, може бути також визначена за формулою Г.І. Шамова

$$v_{сер} = 3{,}7d^{1/3}h^{1/6}, \quad (38)$$

де h – глибина на вертикалі; d – діаметр часток.

5.3. Режим стоку наносів

Переважна частина твердого стоку річок здійснюється в періоди повеней та паводків. Мутність води, що поступає в русло, тим більша, чим інтенсивніші поверхневий стік і змивання грунту з поверхні водозбору. Головним фактором формування твердого стоку є еродованість території, глибина врізу річкової долини, характер атмосферних опадів. Велике значення має також природна або штучна зарегульованість стоку. Із збільшенням розмірів річок мутність води і модуль твердого стоку переважно зменшуються, що зумовлено більшою пологістю схилів на великих водозборах, зменшенням транспортуючої здатності потоку.

На більшості рівнинних річок зростання витрати наносів випереджує за часом зростання витрат води. На великих річках найбільша кількість дрібних фракцій переноситься під час піка повені, а на малих – спостерігається відставання піка мутності від піка весняної повені, що зумовлено стоком води по мерзлому грунту в першій половині повені, коли на цих річках формується максимальна витрата.

На рівнинних річках у завислому стані транспортується до 90% твердого стоку. На гірських річках це відношення може змінюватись майже на протилежне.

Спостереження за твердим стоком на річках України ведуться більше як на 170 постах. За матеріалами спостережень складена карта середньої багаторічної мутності води для річок з площею водозбору менше 3000км^2 і відносно слабким впливом ставів і водосховищ [4].

Наведені на карті дані, в зв’язку зі значним впливом на твердий стік місцевих факторів тієї чи іншої річки, можна вважати лише

орієнтовними. Тому для розрахунків можуть бути використані існуючі регіональні емпіричні формули.

5.4. Стік розчинених речовин

Річкова вода завжди вміщує в собі певну кількість розчинених речовин, з якими вона взаємодіє в процесі кругообігу. Кількість солей в одиниці об'єму води називають *мінералізацією*.

Хімічний склад річкових вод представлений в основному іонами гідрокарбонату (HCO_3), сульфату (SO_4), хлору (Cl), карбонату (CO_3), кальцію (Ca), магнію (Mg), натрію (Na) і калію (K). Кількісне співвідношення іонів в різних річках різне. Для більшості річок характерне переважання гідрокарбонату і кальцію. Так, в річках Полісся, лісостепу, Прикарпаття, Закарпаття та Гірського Криму іони гідрокарбонату складають від 46 до 62%, а кальцію – від 10 до 17%. На річках степової зони переважають іони сульфату, які складають від 24 до 48%, та натрію і калію – від 12 до 56%. Мінералізація води в значній мірі залежить від типу живлення річок і значно змінюється за фазами стоку: вона мінімальна в період повеней та паводків і максимальна в межень, коли живлення річок здійснюється за рахунок більш мінералізованих підземних вод. За ступенем концентрації розчинених речовин, річки поділяють на чотири групи: низької мінералізації (до 200мг/л), середньої мінералізації (200-500мг/л), підвищеної мінералізації (500-1000мг/л) і високої мінералізації (понад 1000мг/л). Дані про хімічний склад річкових вод враховують при проектуванні промислового та питного водопостачання, зрошування, обводнення тощо.

5.5. Селеві потоки

Селевими потоками називають потоки, котрі утворюються в горах в результаті інтенсивних злив або інтенсивного сніготанення. Селі характеризуються великим вмістом наносів різної крупності - від дрібних піщинок до крупних уламків гірничих порід. Наноси в селевих потоках можуть складати до 75% загальної маси потоку.

Якщо на схилах і в руслі накопичилась велика кількість каменів, гальки, валунів, то в період повеней чи паводків може сформуватись водокамінний сель. А якщо каміння на схилах та в руслі немає, або є в незначній кількості, то може сформуватись грязьокамінний сель. Особливістю цих селів є заторний характер їхнього переміщення, в результаті чого, внаслідок затримки біля перепон, сель переміщується

Національний університет водного господарства та природокористування

окремими хвилями. Максимальні витрати селевих паводків можуть в 8-10 разів перевищувати витрати неселевих паводків.

Селеві паводки наносять великі збитки народному господарству, тому що вони переміщуються з великою швидкістю і мають велику руйнівну силу.

5.6. Деформація русла. Руслові процеси

Деформація русла залежить від характеру швидкісного поля потоку, а також від зміни уклону водної поверхні. Звивиста форма русла характерна переважно для річок, які протікають в грунтах, що легко розмиваються. Така форма є найбільш ефективною для гасіння енергії потоку.

Під *русловим процесом* розуміють зміни в морфологічній будові річкового русла та заплави, що відбуваються під дією потоку. Цей процес тісно пов'язаний з особливостями рельєфу, грунтами, а також характером рослинності на водозборі річки.

В залежності від відносної рухливості ложа та берегів річки, процеси їхньої деформації можуть проявлятись в таких формах: 1) періодичне розширення; 2) розвиток звивин річища - *меандр*; 3) блукання річища.

На ділянках річки, де береги деформуються відносно швидко, а переміщення піщаних гряд вниз за течією проходить повільно, спостерігається розмивання русла. Оскільки на двох суміжних плесах береги розмиваються в протилежних напрямках, то русло приймає звивистий, меандричний характер в плані. На річках з дуже рухливими берегами гряди не встигають примкнути до берегів, річка розділюється на ряд проток.

Деформація русла в цьому випадку зводиться до безперервного виникнення і відмирання численних рукавів. Цей процес протікає нерівномірно і нерегулярно, викликаючи блукання русла по довжині річки.

В залежності від співвідношення між транспортуючою здатністю потоку та його насиченістю наносами, виділяють різні типи руслового процесу (рис. 9).

За матеріалами спостережень на річках рівнинної частини України за характером руслових процесів Р.С.Чаловим виділено 7 основних типів русел: вільно меандруючі, змушені та адаптовані згини, розгалужені на рукави, не розгалужені (відносно прямолінійні),

врізані меандри, врізані прямолінійні, а також новий тип – каналізовані русла.

Річки із вільним меандруванням становлять більше половини всіх розглянутих річок. Серед інших типів річкових русел найбільш поширені врізані меандри.

Отже, в результаті дії потоку русло кожної річки постійно змінюється. Ці зміни поділяються на щорічні та багаторічні. *Щорічні* деформації викликаються переважно зміною водності річки в різні періоди року. В період повеней та паводків спостерігається розмивання плесів і намивання перекатів. На поворотах річок постійно розмивається вигнутий берег.

Багаторічні зміни русла є результатом не лише взаємодії потоку та русла, але й інших процесів, що діють на русло на протязі ряду років (підйом або опускання окремих ділянок суші, зміна базису ерозії тощо).

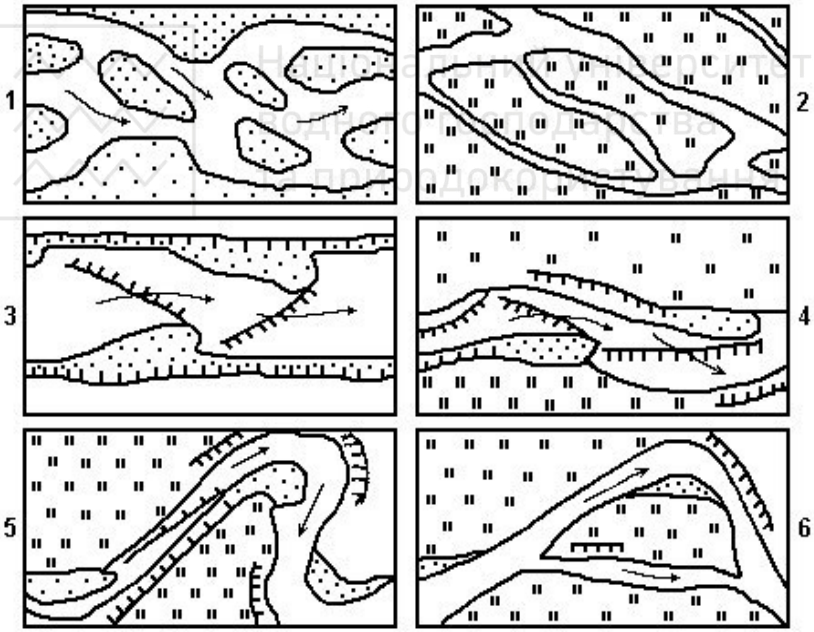


Рис.9. Типи руслового процесу: 1 – осередковий, 2 – багаторукавний, 3 – побічний, 4 – обмеженого меандрування, 5 – вільного меандрування, 6 – незавершеного меандрування.

Національний університет
та природокористування

Стійкість ложа русла можна оцінити за числом Лохтіна

$$Л = d / \Delta H, \quad (39)$$

де d - середній діаметр донних часток, мм; ΔH - падіння водної поверхні в метрах на один кілометр.

Якщо $Л<5$, то такі річки мають нестійкі русла, при $5<Л<15$ -русла середньої стійкості і при $Л>15$ - стійкі русла.

Тема 6. Озера та водосховища

6.1. Загальні відомості про озера та водосховища

Озером називається природна водойма, що являє собою заповнену водою заглибину у земній корі з характерним профілем берегової зони та уповільненим водообміном.

Штучно створене озеро називається *водосховищем*. Водосховища невеликих розмірів, з ємністю при нормальному підпірному рівні (*НПР*) менше 1 млн.м^3, називають *ставками*.

При свому утворенні, озера проходять різні періоди розвитку: юності, зрілості та старості. В період *юності* котловина утвореного озера ще зберігає первинну форму рельєфу, озерні відклади ще не справляють помітного впливу на його ложе. В період *зрілості* в озері утворюється берегова обмілина і розвивається водна рослинність. В період *старості* рельєф котловини вирівнюється наносами, водна рослинність займає майже всю площу озера. Подальше замулення котловини і розвиток рослинності може призвести до перетворення озера в болото.

В Україні нараховується біля 20 тисяч озер, із них з площею дзеркала 0,1 км^2 і більше - 7 тисяч. Кількість озер з площею дзеркала більше 5,0 км^2 становить 63. Найглибшим є озеро Світязь (58,4 м), в басейні р. Західний Буг та Сомине (56,9 м) в басейні р. Вижівка.

Водосховища створюються для комплексного використання стоку. Розрізняють такі їхні типи: 1) наливні, що утворюються обвалуванням якоїсь ділянки заплави і заповнюються водою під час повеней та паводків; 2) водосховища, що створюються в річкових долинах перекриттям русла греблею.

В Україні нараховується 944 водосховища з загальним корисним об'ємом 26,3 км^3 і біля 26250 ставків з повним об'ємом біля 3 км^3. На території України створений Дніпровський каскад із шести крупних

водосховищ сумарною площею водного дзеркала 7 тис. км^2, загальним об'ємом 44 км^3 (корисний об'єм складає 18 км^3).

6.2. Типи озер

Розподіл озер на окремі групи проводять в залежності від їхньої будови, умов утворення та ряду інших ознак.

За характером заглибин, які послужили основою для їхнього утворення, виділяють такі озера: 1) греблеві, 2) котловинні, 3) змішані.

Греблеві озера утворюються в результаті перекриття долин в якому-небудь місці обвалом, льодовиком, наносами тощо. До цієї групи належать і водосховища. В групі гребельних озер виділяють річкові, долинні та прибережні. *Річкові* озера можуть виникати як тимчасові утворення, в результаті різкого зниження стоку окремих річок в посушливі періоди року. Другим типом річкових озер є *заплавні* озера. Це водойми, розміщені в межах заплави річки, які є відрізаними від основного русла рукавами і протоками.

Долинні озера виникають в горах, коли перекривається вузька долина внаслідок обвалу або виносами селевих потоків. До цього типу відносяться і штучно створені водосховища.

Прибережні озера виникають в тому випадку, коли мілководні затоки, або бухти відокремлюються від моря наносами, піщано-глинистими валами або косами. Такі озера ще називаються *лиманами*, вони характерні для Чорноморсько-Азовського узбережжя.

Котловинні озера, в залежності від умов їхнього утворення, поділяються на окремі типи:

1. *Моренні* озера, що утворились в результаті діяльності льодовиків. Після відступання (танення) льодовика на його місці залишався весь матеріал, який він приносив з собою (глина, пісок, щебінь, крупні уламки порід тощо). Велике скупчення цього матеріалу (так звані морени) в одних місцях і незначне в інших - утворює пересічений рельєф. Пониження, що заповнюються водою, утворюють моренні озера.

2. *Карстові* озера виникають в результаті заповнення водою карстових "лійок", що утворилися в результаті хімічної (розчиняючої) діяльності підземних і поверхневих вод.

3. *Термокарстові* озера є своєрідним різновидом попередніх, що виникли при запевненні водою заглибин на земній поверхні, утворених в областях розвитку вічної мерзлоти внаслідок танення підземних вод та лінз льоду.

4. *Карові* озера - заповнені водою западини, які утворились внаслідок механічної дії льодовика та морозного вивітрювання.

5. *Дефляційні* озера розташовуються в котловинах, що утворились внаслідок процесу видування і в пониженнях між барханами і дюнами.

Велика група котловинних озер виникла в результаті вулканічних і тектонічних процесів

До *змішаних* озер відносяться такі, що утворились внаслідок сукупної дії на земну поверхню різних факторів.

6.3. Морфометричні характеристики озер

Частина котловини, що заповнена водою до висоти максимального підняття рівня, називається *озерним ложем* або *озерною чашею*. В озерній котловині розрізняють *берегову* і *глибинну* області. Перша з них включає в себе: береговий схил, побережжя (літораль) і берегову обмілину (субліторaль). Вона простягається до тих глибин, де ще простежується вплив хвиль на дно водойми.

Узбережжя розміщується від зони заплескування хвиль до глибини проникнення рослин, а *берегова обмілина* - від нижньої межі побережжя до глибин, на яких згасає дія хвиль на дно водойми. Дно чаші озера нижче берегової обмілини має назву *профундаль*.

Числові характеристики, що дають уявлення про горизонтальний та вертикальний перерізи озерної котловини, називають *морфометричними характеристиками* озера. До них відносять площу дзеркала, довжину, ширину, глибину, об'єм та ступінь розвитку берегової лінії, а також розміри великої та малої осей озера.

Площа дзеркала озера може обчислюватись двома способами: або разом з островами, або лише як площа водної поверхні. *Довжина* озера - це найкоротша віддаль між двома найбільш віддаленими точками. Ця лінія може бути прямою у випадку порівняно простих обрисів озера, і складатись із окремих відрізків для звивистого озера.

При визначенні *ширини* озера розрізняють *найбільшу ширину*, що визначається як найбільший поперечник (перпендикуляр) до лінії довжини озера, і *середню ширину*, що визначається відношенням площі дзеркала ω, км до його довжини L, км

$$B_{сер}=\omega/L. \qquad (40)$$

Велика вісь озера - це лінія між найбільш віддаленими між собою точками його контура. Вона завжди проводиться як пряма, незалежно від звивистості озера. *Мала вісь* - це лінія, проведена перпендикулярно до великої осі в місці найбільшої ширини озера.

Об'єм води в озері може бути обчислений за формулою

$$V=h_1 \cdot 0,5(\omega_1+\omega_2)+ h_2 \cdot 0,5(\omega_2+\omega_3) +\ldots + h_{n-1} \cdot 0,5\omega_{n-1}, \quad (41)$$

де ω_i - площі, обмежені відповідними ізобатами, h_i - віддаль між ізобатами.

Середня глибина озера дорівнює відношенню об'єму води в озері до площі його дзеркала

$$h_{сер}=V/\omega. \quad (42)$$

Ступінь розвитку берегової лінії озера оцінюється коефіцієнтом звивистості, який обчислюється за формулою

$$m = 0,282\frac{L}{\sqrt{\omega}}, \quad (43)$$

де L - довжина берегової лінії; ω - площа озера.

Середній похил схилів обчислюється за формулою

$$i_{сх}=tg\Theta=(0,5L+l_1+l_2+\ldots+0,5l_{n-1})h_{макс}/\omega, \quad (44)$$

де L - довжина берегової лінії; l_i - довжина окремих ізобат, n - кількість ізобат, $h_{макс}$ - максимальна глибина озера, ω - площа дзеркала озера.

6.4. Водний баланс озер та їхній вплив на режим річкового стоку

За умовами водного режиму озера можна поділити на дві категорії: стічні та безстічні.

Безстічні - це такі озера, в яких вся вода, що поступає в них, витрачається на випаровування. Із *стічних* озер має місце постійне скидання води у формі витікаючих із них водотоків чи через підземне, відведення у сусідні водозбори.

За умовами живлення поверхневими водами виділяють озера:

1) *безприточні*, що не мають постійних приток в вигляді річок та струмків;

2) *приточні*, що мають притоки, але не мають поверхневого стоку;

3) *приточно-стічні* озера, в які впадають і з яких витікають річки.

Водний режим озера безпосередньо визначається процесами притоку та витратами води.

Вода в озеро може поступати в результаті таких явищ:

1) випадання опадів безпосередньо на поверхню озера, $X_{оз}$;

2) конденсації водяної пари на поверхню озера, $K_{оз}$;

3) притоку води з поверхні водозбору озера $Y_{пр}$;

4) підземного притоку, $Y'_{пр}$.

Витрата води, котра надходить в озеро здійснюється внаслідок:

1) випаровування з поверхні озера, $E_{оз}$;

2) поверхневого відтоку з озера, $Y_{від}$;

3) підземного стоку з озера $Y'_{від}$.

В залежності від співвідношення між притоком та витратою води буде змінюватись запас води в озері ΔV. Рівняння водного балансу матиме вигляд

$$Y_{пр} + Y'_{пр} + X_{оз} + K_{оз} - Y_{від} - Y'_{від} - E_{оз} = \pm\Delta V. \quad (45)$$

Озера є своєрідними природними акумуляторами стоку. Тобто вони зменшують максимальні величини стоку в період повеней та паводків і підвищують стік річок в маловодний період. Щодо впливу озер на сумарну величину річного стоку, то він залежить від співвідношення між випаровуванням з водної поверхні та з суші.

В зоні достатнього та надлишкового зволоження, де випаровування з водної поверхні близьке до випаровування з суші, додаткові втрати на випаровування з поверхні озер відносно невеликі і зниження величин річного стоку під дією озер складає незначну частку по відношенню до зональної величини стоку в цьому районі.

В умовах недостатнього зволоження, де випаровування з водної поверхні значно перевищує величину випаровування з суші, озера можуть не лише суттєво зменшити сумарну величину річного стоку, але й збільшити його мінливість, внаслідок значного зниження стоку маловодних років і збільшення таким чином амплітуди коливання річного стоку. Створення штучних водосховищ в зоні недостатнього зволоження веде до значних втрат води на випаровування та зменшення річкового стоку.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.5. Термічний та льодовий режим озер

Процес зміни температури води в озері пов'язаний із зміною інтенсивності сонячної радіації та складових теплового балансу. Крім того, на температуру поверхні води і її розподіл по вертикалі та акваторії озера великий вплив мають глибина, площа дзеркала та наявність островів

Зміна температури води по вертикалі відбувається під впливом конвекційного перемішування, тобто вертикальної циркуляції внаслідок різниці в густині води на різних глибинах.

Напрямок конвективного перемішування залежить від того, вище чи нижче 4°С температура води (при цій температурі вода має найбільшу густину).

При температурі води від 0 до 4°С в холодний період року біля поверхні температура води нижча, а з глибиною вона збільшується. В цьому випадку має місце *обернена термічна стратифікація* (рис.10).

Пряма стратифікація спостерігається в теплий період року, коли з глибиною температура води знижується.

Восени при охолодженні пряма термічна стратифікація переходить в обернену, а навесні має місце зворотний процес.

У перехідні періоди температура води по всій глибині озера близька до 4°С, в цей час спостерігається *гомотермія*.

Процес замерзання починається при охолодженні води до 0°С. В більшості випадків вода переохолоджується лише на поверхні, де і проходить процес льодоутворення. Спочатку лід утворюється біля берегів, на обмілинах, а потім - на решті акваторії озера.

При сильному вітрі має місце перемішування водних мас на певну глибину, що сприяє утворенню внутрішньоводного льоду. В цьому випадку встановлення льодоставу дещо затримується і великі озера можуть замерзати довго (до 30-45 діб). Товщина льоду спочатку наростає інтенсивно, а потім сповільнюється в зв'язку з уповільненням відведення тепла через його товщу. При настанні стійких позитивних температур повітря, лід починає танути і руйнуватись. На більшості озер він тане на місці, у проточних озерах лід може частково виноситись річкою.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

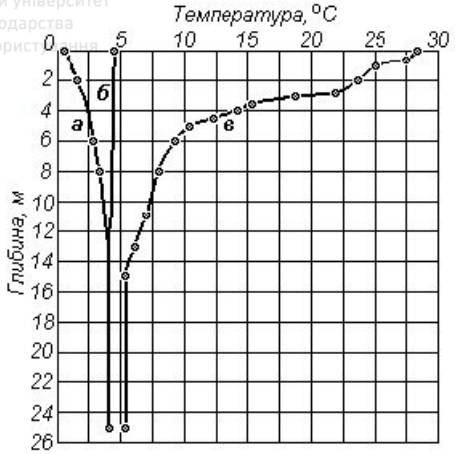


Рис.10. Зміна температури води в озері з глибиною: *а* – зворотна температурна стратифікація; *б* – гомотермія; *в* – пряма температурна стратифікація

6.5. Біологічні процеси, що протікають в озерах

Біологічні процеси, що протікають в озерах, безпосередньо зумовлюються хімічним складом озерної води, її прозорістю, розміром озера та його термічним режимом.

Великий вплив на розвиток рослинності (гідрофлори) і тваринних організмів (гідрофауни) озера здійснюють також фізико-географічні умови району розташування озера.

Розрізняють наступні основні групи організмів озер:

1) *планктон* - найдрібніші організми, що знаходяться в завислому стані і пасивно переміщуються разом з водою;

2) *нектон* - організми, що активно переміщуються в воді;

3) *бентос* - організми, що живуть на дні озера.

За вмістом солей та поживних речовин озера поділяють на мінеральні, евтрофні, оліготрофні та дистрофні.

До *мінеральних* відносяться озера **з** великим вмістом солей. Озера з великим вмістом поживних речовин називають *евтрофними*. Це озера, що добре прогріваються, з невеликою прозорістю води.

Оліготрофне озеро - глибоке озеро, бідне на рослинний планктон

Національний університет
природокористування
та поживні елементи для нього, з малою мінералізацією води (крім кальцію). Ці озера характеризуються великими або середніми глибинами, великою прозорістю води.

Дистрофні озера бідні на поживні речовини. Вони поширені у заболочених районах, тому вода в них насичена органічними речовинами болотного походження. Уповільнене відновлення біогенних речовин в цих озерах затримує розвиток бактеріопланктону і знижує біологічну продуктивність озер.

Вивчення біологічних процесів важливе не лише для загальної оцінки комплексу процесів, що протікають в озерах, але і має велике практичне значення в зв'язку з господарським використанням озер.

Відмерлі організми, разом з неорганічними частками, що приносяться впадаючими в озеро потоками, утворюють озерні відклади, шар яких досягає нерідко значної потужності.

Серед озерних відкладів особливо потрібно відмітити *сапропелі*, котрі є ущільненними відкладами переважно органічного походження. Сапропелі широко використовуються в сільськогосподарському виробництві як органічне добриво.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 7. Болота

Болото - ділянка земної поверхні, що характеризується надмірним застійним або слабопроточним зволоженням горизонтів грунту на протязі більшої частини року, наявністю процесів торфоутворення та специфічної вологолюбної рослинності. За наявності незначного шару торфу, коли корені основної маси рослин досягають підстелюючого мінерального грунту, перезволожені ділянки суші відносять до *заболочених земель*. На таких ділянках при переважаючій травянистій рослинності, шар торфу не перевищує 30 см.

7.1. Причини утворення боліт та болотних масивів

Болота можуть виникати або внаслідок заростання водойм, або внаслідок торфоутворення на поверхні суші, що призводить до заболочування вододільних просторів.

В першому випадку безперервний процес виносу в озеро мінеральних і органічних часток грунту, змитих з його водозбору, а також відкладення відмерлих рослин, зумовлює поступове зменшення глибин в озері. Одночасно починає розвиватись мілководна рослинність.

Таким чином на місці озера може утворитись болото, яке в процесі свого розвитку переходить із низинного в перехідне, а потім в верхове.

Процес болотоутворення на мінеральних грунтах залежить від умов обводнення території та її рельєфу. Найбільш інтенсивно цей процес протікає в зоні надмірного зволоження, де норма річних опадів значно перевищує норму випаровування з поверхні суші і зумовлює більш-менш постійне зволоження верхніх шарів грунту. Надмірна волога в цій зоні повинна відводитись з поверхні суші через поверхневе та грунтове стікання. Але при рівнинному рельєфі, з малими похилами, цей процес триває досить довго. В результаті утворюються значні площі, перезволожені застійними водами. В районах з рівнинним рельєфом та відносно рідкою річковою мережею, болота та заболочені землі займають не лише пониження місцевості, але й значні масиви з позитивними елементами рельєфу, включаючи і річкові вододіли.

Зона нестійкого зволоження характеризується значно меншим поширенням боліт. Тут болотні масиви мають місце лише на ділянках з від'ємними елементами рельєфу.

Надлишкове зволоження верхніх горизонтів в цій зоні може утворюватись лише за рахунок притоку поверхневих стічних вод та завдяки виходу на поверхню водоносних горизонтів або близькості рівнів грунтових вод в понижених місцях рельєфу. Отже, основною причиною заболочування тут є рівнинний рельєф і наявність на поверхні або близько до неї водонепроникного шару грунту, в більшості випадків глини, що веде до постійного перезволоження верхнього горизонту. Часто процес заболочування розпочинається на місцях лісних вирубок, лісових пожеж. Заболочуватись можуть і ділянки біля схилу річкової долини, де виклинюються грунтові води, а також мілкі впадини, що утворюються, як правило, в місцях винесення грунтовими водами розчинених солей та дрібнозернистих пісків. Заболочення прирічкових рівнинних ділянок має також місце в результаті підняття рівня води в річці внаслідок побудови греблі.

Площа боліт і перезволожених земель в Україні становить більше 4190 тис. га (приблизно 1,7% території республіки). Із них власне болiт - 613 тис. га, заболочених земель - 745 тис. га. і перезволожених земель 2834 тис. га.

За ступенем заболоченості і характером боліт в Україні виділяють п’ять характерних регіонів: Полісся, Мале Полісся, Лісостеп, Степ, Карпати з Прикарпаттям.

7.2. Класифікація боліт

В основу класифікації боліт покладені три основні ознаки, що визначають їхній водний режим: 1) геоморфологічні умови залягання і зв’язані з ними умови водного живлення болотних масивів; 2) рельєф поверхні болотних масивів, що визначає умови стікання води і ступінь їхньої проточності; 3) рослинний покрив і закономірності його розподілу по території болотних масивів.

За комплексом умов водного і пов’язаного з ним мінерального живлення, характером рослинності та висотного розташування по відношенню до оточуючої місцевості, розрізняють три основні типи боліт:

1) *Низинні болота*, в живленні яких, крім атмосферних опадів, приймають участь поверхневі та грунтові води. На низинних болотах поширена вимоглива до умов мінерального живлення *евтрофна* рослинність Тому їх ще називають *евтрофними* або *трав’яними*. болотами.

2) *Верхові болота*, живлення яких здійснюються лише за рахунок атмосферних опадів. На цих болотах проростає *оліготрофна* рослинність, мало вимоглива до вмісту поживних речовин в грунті. Верхові болота мають випуклу форму поверхні, їх ще називають *оліготрофними* або *моховими* болотами.

3) *Перехідні болота* змішаного живлення з *мезотрофною* рослинністю. Їх також називають *мезотрофними* або *лісовими* болотами.

За розташуванням в рельєфі місцевості розрізняють болота заплавні, долинні, схилові, вододільні та притерасні.

Заплавні болотні масиви, що покривають повністю широкі заплави річок, характерні тим, що стікання води з таких масивів має місце по всьому фронту дренування їх річкою. Ці масиви мають або цілком горизонтальну поверхню, або слабо нахилену в бік русла річки. Заплавні болотні масиви можуть мати одночасно декілька джерел живлення: грунтовими водами, атмосферними опадами, що випадають безпосередньо на поверхню болота, та за рахунок річкових вод, що затоплюють їх під час розливів річок.

Притерасні болотні масиви відрізняються від заплавних тим, що з

результаті свого більш високого розташування по відношенню до рівня води в річці, вони не затоплюються річними водами в період паводків та повеней. І заплавні, і притерасні болотні масиви відносяться до групи *долинних* боліт. До цієї ж групи відносяться менш поширені болотні масиви старорічищ.

До болотних масивів вододільних міжрічкових просторів входять болотні масиви: вододільні плакорного залягання, вододільно-схилового плакорного залягання, котловинного залягання.

Болота вододільно-плакорного залягання характеризуються тим, що вони розташовуються на місцевості в найбільш високих точках річкових вододілів, з них води стікають в різних напрямках і надходять в різні річкові басейни. В зв'язку з майже повною відсутністю грунтового живлення для них єдиним джерелом живлення служать атмосферні опади.

Болота *вододільно-схилові* розташовуються на пологах схилах міжрічкових просторів. На таких болотних масивах води стікають (в залежності від рельєфу та розташування масиву), або в напрямку загального схилу в один водоприймач, або в напрямку схилу до головної річки і в напрямку обох приток, по відношенню до котрих масив займає вододільне положення. Для цих масивів основним джерелом живлення також є атмосферні води. Але на окремих понижених ділянках цих масивів спостерігаються транзитні фільтраційні потоки, що проходять через болото в бік загального похилу місцевості.

Для боліт *котловинного* залягання характерна наявність стікання води до болотного масиву зі схилів котловини, що оточує болото. Такі масиви можуть розташовуватись в повністю замкнутих і безстічних котловинах, в пониженнях проточного характеру, а також в котловинах, із яких здійснюється стік води одним або декількома струмками при відсутності впадаючих потоків. При котловинному заляганні болотні масиви можуть мати різні випадки живлення. На неглибоких впадинах живлення відбувається за рахунок атмосферних опадів та поверхневого стоку. При глибоких котловинах частка грунтового живлення може бути значною в загальному живленні болотного масиву.

В зонах нестійкого та недостатнього зволоження грунтові води є основним видом живлення болотних масивів. Тому болота в цих зонах приурочені лише до глибоких впадин та річкових долин.

Національний університет водного господарства та природокористування

7.3. Характерні стадії розвитку болотних масивів

Процес розвитку болотних масивів зовні проявляється в наступному:

у поступовому накопиченні торфу, збільшенні його товщини на поверхні болота відносно початкової поверхні грунту або початкового рівня водойми;

у розповсюдженні болота в ширину;

у поступовій зміні рослинності на поверхні болота;

у зміні гідрологічних умов і водного режиму болота;

у зміні рельєфу поверхні болота та утворенні особливої гідрографічної мережі;

в ерозійних процесах, що призводять до утворення на болотних масивах струмків та озер.

Розвиток болотних масивів на мінеральних грунтах може здійснюватись або через поширення процесу заболочування від центральних ділянок зони заболочування до периферії (*центрально-оліготрофний хід розвитку болотного масиву*) або, навпаки, від периферії до центру (*периферійно-оліготрофний хід розвитку болотного масиву*).

Центрально-оліготрофний хід розвитку властивий болотним масивам, що утворились в замкнутих (безстічних) або в напівзамкнутих (стічних) котловинах, дно котрих характеризується загальним напрямком уклонів від периферії до центру западини.

Периферійно-оліготрофний хід розвитку властивий болотним масивам, що утворились в умовах сильно пересіченої місцевості, в відносно вузьких долинах, що мають більш-менш значний уклон дна і стік води вздовж долини.

Сукупність рослинних асоціацій, що виникає при надмірному водно-мінеральному живленні, характерному для умов низинних боліт, утворює так звану *евтрофну* болотну рослинність.

Рослинність, що розвивається на болотах в умовах бідного живлення мінеральними солями при водному живленні за рахунок атмосферних опадів і слабій проточності вод, що характерно для верхових боліт, називають *оліготрофною* болотною рослинністю.

Виділяють ще *мезотрофну* болотну рослинність, що об’єднує види болотних рослин не вимогливих до мінералізації болотних вод, які проростають на збіднених солями водах в умовах середньої та слабої проточності.

Евтрофна, мезотрофна і оліготрофна рослинність боліт часто називається відповідно низинною, перехідною та верховою рослинністю.

При центрально-оліготрофному ході розвитку болотного масиву зміна евтрофної рослинності на мезотрофну, а потім оліготрофну проходить спочатку в центральних ділянках, найбільш віддалених від границь болотного масиву з мінеральними землями.

На окраїнах масиву, в місці контакту із суходолом, евтрофна і мезотрофна рослинність зберігається часто до пізніх стадій розвитку масиву, якщо проточність води і мінеральне живлення на периферії масиву зменшується в незначній мірі в процесі торфонакопичення.

При периферійно-оліготрфному ході розвитку болотного масиву зміна евтрофної і мезотрофної болотної рослинності спочатку проходить на периферії масиву, а лише потім в його центральних частинах.

7.4. Гідрологічна роль боліт

Гідрологічні властивості боліт дуже своєрідні. Це визначається тим, що в торфових болотах міститься від 89 до 94% води по вазі і всього лише від 11 до 6% сухої речовини. В зв'язку з тим, що вода в болоті зв'язана сухою речовиною торфу, накопичені в болоті запаси води не можуть бути використані як значне додаткове живлення річок.

Води, що міститься в торфовому болоті, можна розділити на два типи, які відрізняються характером зв'язку води з торфом: 1) вільну, що відділяється від торфу під дією сили тяжіння і стікає по уклону в канави та річки; 2) зв'язану з торфовою масою, що не відокремлюється від неї під дією сили тяжіння.

Найбільша кількість води, що може утримуватись торфом, називається *повною вологоємністю торфу*. Вологоємність торфу складає від 750 по 900 кг/м^3. Повна вологоємність є своєрідною межею: вся волога понад повної вологоємності може бути порівняно легко відведена із болота по каналах і природних руслах; волога при стані зволоження нижче повної вологоємності відводиться з великими труднощами і частково витрачається лише на випаровування.

Про гідрологічну роль боліт довгий час існували різні думки. Із накопиченням даних спостережень більшість дослідників прийшла до висновку, що в умовах достатнього та надмірного зволоження болота принаймні не зменшують величину середнього стоку. В умовах недостатнього зволоження болота, як і озера, можуть дещо знизити

Національний університет
величину стоку за рахунок більшого випаровування з поверхні боліт в порівнянні з випаровуванням з поверхні суші. А взагалі можна сказати про відсутність значного регулюючого впливу заболоченості території на річний стік.

Щодо екстремальних значень, то болота зменшують як максимальний стік паводків та повеней за рахунок акумуляції значної частини води торфом, так і мінімальний стік за рахунок зменшення коефіцієнта стоку.

Осушення боліт не веде до різких змін річного стоку. За даними спостережень, ці зміни в більшості випадків не перевищують точності розрахунків. Меженний і мінімальний стоки під впливом осушення боліт і перезволожених земель дещо підвищуються, а внутрішньорічний розподіл стоку стає більш рівномірним.

Тема 8. Гідрологічна мережа. Водний кадастр

8.1. Організація гідрологічної мережі

Гідрологічна мережа – сукупність гідрологічних станцій і постів, розміщених в межах будь-якої території (річкового басейну, адміністративного району, республіки) з метою вивчення гідрологчного режиму річок та водойм для обслуговування різних галузей народного господарства. Гідрологічна мережа як складова частина входить в загальну гідрометеорологічну мережу України, яка підпорядковується Державному комітету України по гідрометеорології і контролю природного середовища.

Гідрологічна станція – це установа задачею якої є вивчення гідрологічного режиму вод на території її діяльності. Гідрологічні станції діляться на два розряди. Гідрологічні станції 1-го розряду організують і проводять гідрологічні спостереження та інші пов’язані з ними роботи, обробляють та узагальнюють матеріали по гідрологічному режиму водних об’єктів, обслуговують народне господарство відповідними відомостями і керують роботою прикріплених гідрологічних станцій 2-го розряду і гідрологічних постів.

Гідрологічні станції 2-го розряду виконують ту ж роботу, крім публікації матеріалів спостережень.

Гідрологічний пост – місце вибране на водному об'кті для проведення спостережень за різними елементами водного режиму. Гідрологічні пости діляться на 3 розряди в залежності від об'му робіт.

На постах 1-го розряду ведуть спостереження за рівнем і температурою води, льодовими утвореннями і льодовою установкою, вимірюють витрати води і проводять метеорологічні спостереження за програмою метеорологічних постів 1-го розряду. На окремих постах вимірюють витрати наносів і відбирають проби води на каламутність та для хімічного аналізу.

На постах 2-го розряду ведуть спостереження за програмою постів 1-го розряду за виключенням вимірювань витрат води та наносів.

На постах 3-го розряду ведуть спостереження за рівнем і температурою води, льодовими утвореннями та льодовою установкою.

Гідрологічні станції і пости розміщюються із таким розрахунком, щоб при можливо меншій їх кількості можна було отримати достатні і надійні матеріали про водний режим річок та водойм.

Крім державної гідрологічної мережі, можуть улаштовуватися відомчі станції і пости для задоволення їх специфічних записів.

8.2. Водний кадастр, його видання

Дані про пункти спостережень за різними елементами водного режиму річок та водойм та матеріали цих спостережень публікуються у виданнях Водного кадастру.

Водний кадастр – систематизована сукупність відомостей про водні ресурси країни. Перше видання водного кадастру для території бувшого СРСР було здійснене в 1933-1940 рр. Друге видання – 1960-1975 рр. Видання водного кадстру складається із 3-х серій, кожна з яких поділена на декілька десятків випусків (за регіонами).

1 серія – ″Гидрологическая изученность″. Тут наводиться перелік водних об'єктів даної території та їхні морфометричні характеристики, відомості про стаціонарні спостереження елементів водного режиму річок та водойм і проведених експедиційних досліджень.

2 серія – ″Основные гидрологические характеристики″. Ця серія вміщує детально проаналізовані табличні матеріали з пояснювальним текстом по режиму річок та водойм, складених за даними спостережень на мережі Держкомгідромету та інших відомств.

3 серія - ″Водные ресурсы″. Ця серія містить рекомендації для проектних та водогосподарських організацій із розрахунків гідрологічних характеристик. Ці рекомендації ґрунтуються на науковому аналізі і узагальненні даних спостережень.

Крім того, Держкомгідрометом видаються "Гідрологічні щорічники", в яких наводяться дані про різні елементи водного режиму за окремі роки.

Змістовий модуль 2. Гідрометрія

Гідрометрія – розділ гідрології, яка вивчає методи вимірювань і спостережень, що застосовуються для вивчення режиму річок та водойм. Основними задачами гідрометрії є розробка методів та приладів для кількісного визначення різних елементів режиму водних об’єктів та систематичного вивчення їхнього режиму для отримання багаторічних характеристик рівнів, стоку води і наносів, хімічного складу води, температури води, льодових явищ тощо.

До складу основних гідрометричних робіт на річках, озерах і водосховищах входять: 1) влаштування та обладнання гідрологічних станцій і постів; 2) спостереження за коливанням рівнів води; 3) спостереження за уклонами водної поверхні; 4) промірні роботи для вивчення глибин та рельєфу дна водних об’єктів; 5) спостереження за температурою води, замерзанням та скресом криги на річках та водоймах, станом льодового покриву; 6) вимірюванням швидкостей та напрямку течії води; 7) визначення стоку води і наносів; 8) визначення механічного складу наносів і донних відкладів; 9) спостереження за кольором, прозорістю, питомою вагою і хімічним складом води. Крім цього, до складу гідрометричних робіт можуть входити спостереження за деформацією річкових русел і берегів водосховищ, спостереження за хвильовим режимом.

Дані гідрометричних спостережень аналізуються, узагальнюються і публікуються у "Гідрологічних щорічниках" та виданнях Водного кадастру.

Тема 9. Вивчення режиму коливання рівнів води

Рівень води – одна з основних характеристик водного режиму, яка широко використовується в різних галузях народного господарства. Використання річок для водного транспорту і лісосплаву пов’язане із

знанням рівнів води; проектування, спорудження і експлуатація різних гідротехнічних споруд потребують знання не лише зміни висоти рівнів, але й амплітуди коливання їх. Будівництво осушувальних і зрошувальних каналів також потребує даних про стан рівнів води в річках. Крім того, дані про рівні води дають можливість обчислити одну з характеристик стоку – витрату води.

Основною причиною коливання рівнів води є зміна витрати води в річках, а також деформація, заростання русла, льодові явища, гідротехнічні споруди, припливи і відпливи тощо.

Рівнем води називають висоту водної поверхні, яку відлічують відносно деякої сталої площини порівняння, яку називають нулем графіка водомірного поста і яка призначається не менше як на на 0.5 м нижче мінімального історичного рівня води (рис. 11)

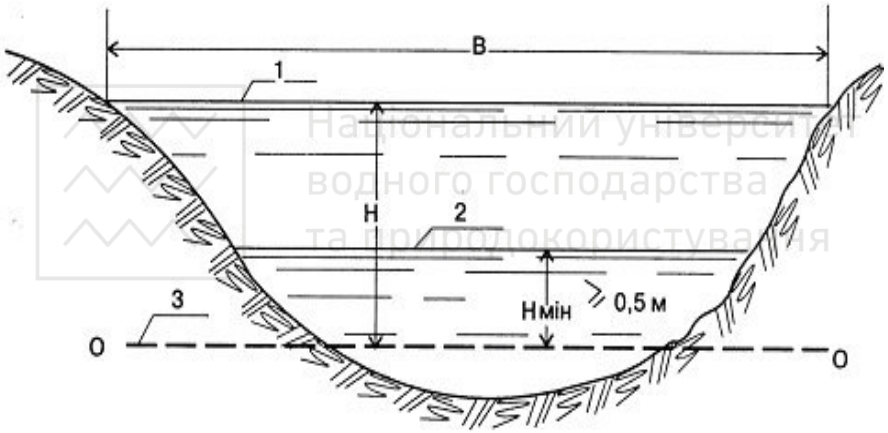


Рис.11. Поперечний переріз потоку;
1 – рівень води; 2 – мінімальний рівень води; 3 – нуль графіка водопоста; В – ширина потоку

9.1. Типи водомірних постів

Водомірні пости бувають постійні і тимчасові. Постійні водомірні пости створюють для вивчення режиму водного об’єкта протягом тривалого часу. Це основний вид поста. Тимчасові водомірні пости організовують для проведення спеціальних спостережень на відносно короткий строк – сезон, рік, кілька років або на період проведення досліджень пошуковою партією на даній рвчці чи врайоні.

За **способом влаштування** водомірні пости бувають: прості, передавальні, самописні, дистанційні.

Прості водомірні пости. Ці пости поділяють на рейкові, пальові, мішані. *Рейкові водомірні пости* бувають з вертикальною і похилою рейкою.

Водомірний пост з вертикальною рейкою обладнують на крутих берегах або там, де є споруди – містки, греблі, набережні. За їхньої відсутності вертикальну рейку прикріплюють до палі (рис.12).

Рейку встановлюють у такому місці, де вона не пошкод-жувалась би льодом, пароплавами, плотами тощо. Водомірні рейки бувають дерев'яні і металеві**.** Водомірний пост з верти-кальною рейкою може складатись з однієї чи кількох рейок залежно від конфігурації берега і амплітуди коливання рівнів води в річці. Довжина рейки (чи рейок) повинна перевищувати амплітуду коливання рівнів води на 1,0 м. Нульова поділка її має бути на 0,5 м нижчою від можливого найнижчого рівня води, верх рейки – на 0,5 м вищим від можливого найвищого рівня. Крайні значення рівнів води на ділянці майбутнього поста встановлюють за літературними даними, за мітками високих вод або опитавши старожилів з місцевого населення.

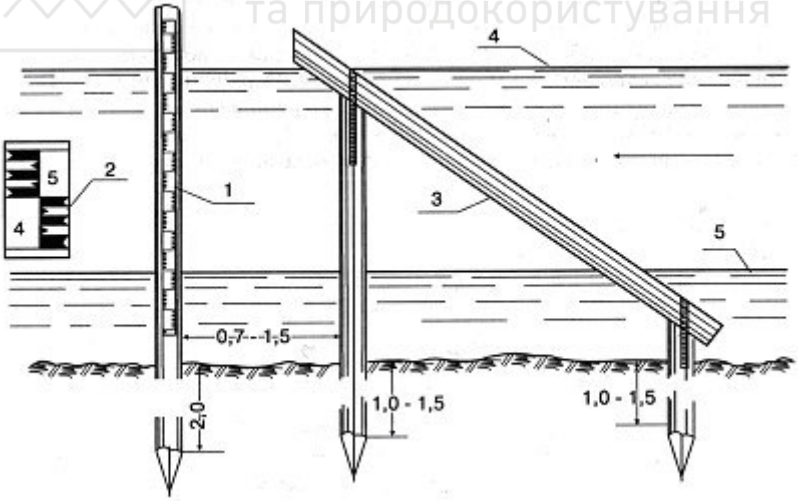


Рис. 12. Водомірний пост з вертикальною рейкою:
1 – рейка, закріплена на палі; 2 – частина водомірної рейки; 3 – огородження рейки; 4 – рівень високих вод; 5 – рівень низьких вод

Водомірний пост з похилою рейкою встановлюють на ділянці річки з пологим (20-60^0) берегом, що не розмивається і не замулюється. Принцип спорудження такого поста показаний на рис.13. Поділки на похилій рейці повинні відповідати зміні на 1см вертикальної рейки, тобто 1см по вертикалі буде дорівнювати l=1/sin α см на похилій рейці. Тут α – кут похилу щодо горизонту. Водомірні пости з похилою рейкою краще захищені від пошкоджень, вимірювання рівнів води на них зручніше і точніше, але створення таких постів дорожче і складніше – на кожний пост необхідно виготовляти „індивідуальну" рейку.

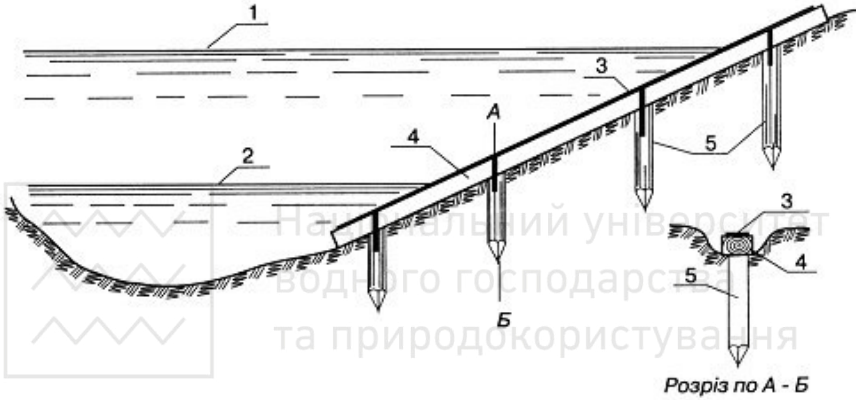


Рис. 13. Водомірний пост з похилою рейкою:
1 – рівень високих вод; 2 – рівень низьких вод; 3 – похила рейка; 4 – брус; 5 – палі

Площина, що проходить через нижній кінець рейки називається нулем відліку. Перевищення нуля відліку над нулем графіка водомірного поста є приводка рейки.

Пальові водомірні пости встановлюють на рівнинних річках з похилими берегами і значною амплітудою коливання рівнів води. Такий пост складається із паль, розташованих в одному створі, який перпендикулярний середньому напрямку течії води. Палі нумерують по порядку, починаючи з верхньої. Рівні води відраховують за переносною рейкою (рис.14), яку ставлять вертикально на найближчу до берега палю, розташовану під водою.

У цьому випадку відмітка головки палі є нулем водомірних спостережень. Одночасно із записом відліку по рейці записують

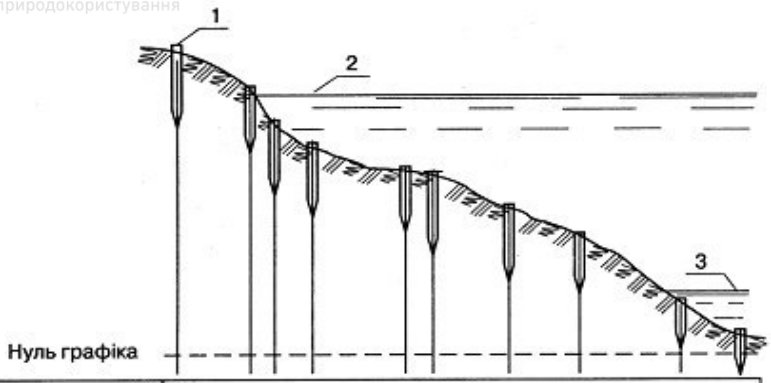
номер палі. Різниця між відміткою нуля водомірних спостережень і відміткою нуля графіка водомірного поста називається приведенням до нуля графіка поста (рис.14). Застосовують палі металеві гвинтові, металеві з відрізків труб або балок чи дерев'яні (діаметром 0,20-0,25 м). Головки паль мають бути строго горизонтальні. У торець дерев'яних паль забивають залізний костиль, або великий з круглою головкою цвях, на який і ставлять переносну водомірну рейку. Палі забивають у грунт так, щоб нижній її кінець захїодив у грунт, що не промерзає, не менше як на 0,5 м. Після встановлення палі зрізують горизонтально з таким розрахунком, щоб їхні головки були над поверхнею землі на 10-15 см.

Мішані водомірні пости поєднують елементи рейкового і пальового постів. Їх споруджують на річках з різкими переломами схилів берега: на крутій частині берега – рейка, на похилій – паля або навпаки – залежно від місцевих умов. Після побудови мішаного водомірного поста головки паль і нулі рейок за допомогою нівеліра прив'язують до репера і обчислюють перевищення (приводка) над нулем графіка поста.

Передавальні водомірні пости споруджують тоді, коли підхід до води утруднений (наприклад, дуже круті береги). Рівні води в таких випадках заміряють по відстані від деякої постійної точки до поверхні води. До передавальних водомірних постів належать: мостові пости, пости з виносною стрілою і стрілковий покажчик рівня [4]. Схема передавального поста з виносною стрілою зображена на рис. 15.

Пости з виносною стрілою споруджують на річках з крутими берегами (і за неможливості використати наявні гідротехнічні споруди). Пост складається з горизонтально закріпленої на полях стріли (дерев'яний брус, металева труба чи ферма). На стрілі горизонтально закріплена рейка нулем до річки. На кінці стріли закріплений невеликий шків (ролик), через який проходить тонкий трос з важком (5-6 кг) на кінці. Для спуску або підйому троса на березі встановлено барабан, на який намотується трос. На тросі проти нульової поділки ре йки закріплений покажчик при положенні важка, зануреного у воду на 0,5 м нижче від можливого найнижчого рівня води.

Національний університет
водного господарства
та природокористування



Номери реперів і паль	Рп 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Відстань від постійного початку	0,00	10,31	13,92	17,39	30,50	33,62	38,01	42,53	51,81	52,05
Відмітки головок паль	11,32	10,43	9,59	8,78	8,50	8,06	7,38	6,65	5,30	5,00
Перевищення над нулем графіка	6,32	5,43	4,59	3,78	3,50	3,06	2,38	1,65	0,80	0,10

Рис. 14. Пальовий водомірний пост
1 – репер; 2 – рівень високих вод; 3 – рівень низьких вод

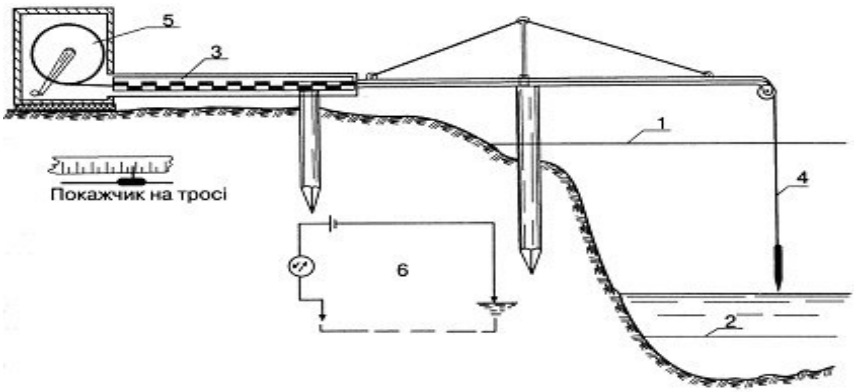


Рис. 15. Передавальний пост:
1 – рівень високих вод; 2 – рівень низьких вод; 3 – рейка; 4 – трос із важком; 5 – барабан; 6 – схема електроконтакту

Для вимірювання рівня води важок опускають до поверхні води і в цей момент роблять відлік по рейці проти покажчика. Момент торкання важка до води доцільно фіксувати за допомогою електроконтакту, при якому подається світловий чи звуковий сигнал. Точність вимірювання рівнів води на передавальних постах з виносною стрілою становить 2-3 см, а за наявності електроконтакту – 1 см.

Самописні водомірні пости встановлюють на водоймах, рівень води у яких різко змінюється протягом доби. Основним приладом самописного поста є самописець. Практично всі самописці рівня води складаються з двох основних елементів: датчика рівня і записуючого пристрою. Датчик рівня води може бути поплавковим або манометричним. При зміні рівнів води у водоймі поплавок самописця підіймається або опускається і його рух за допомогою троса передається на записуючий пристрій, що складається з циліндра, на який закріплена паперова стрічка, та каретки з пером і годинниковим механізмом. Коливання рівнів води записується у певному масштабі. Тривалість роботи самописця без підзаведення годинника – від 1 доби до 9 міс. На самописних водомірних постах в Україні переважають самописці типу „Валдай" з добовим заводом годинникового механізму.

Способи встановлення самописців рівня води досить різноманітні (рис.16), однак їх можна поділити на *острівний і береговий типи.* Перший – коли самописець встановлюють у руслі річки, на водосховищі (озері) на спеціальній споруді, і другий, береговий, коли самописець встановлюють на березі водойми над колодязем, який трубою з'єднаний із водоймою.

Дистанційні водомірні пости застосовують переважно для потреб диспетчерської служби на гідроелектростанціях, водному транспорті, зрошувальних системах, а також на річках у малонаселених і важкодоступних районах. На таких постах встанов-люють прилади, які автоматично передають на відстань дані про рівні води в зазначений час або безперервно. Для передачі даних використовують механічний, електропровідний або радіозв'язок.

Незалежно від конструкції і принципу дії всі дистанційні пости складаються з датчика, джерела живлення, каналу зв'язку і реєстратора даних про рівні (рис.17).

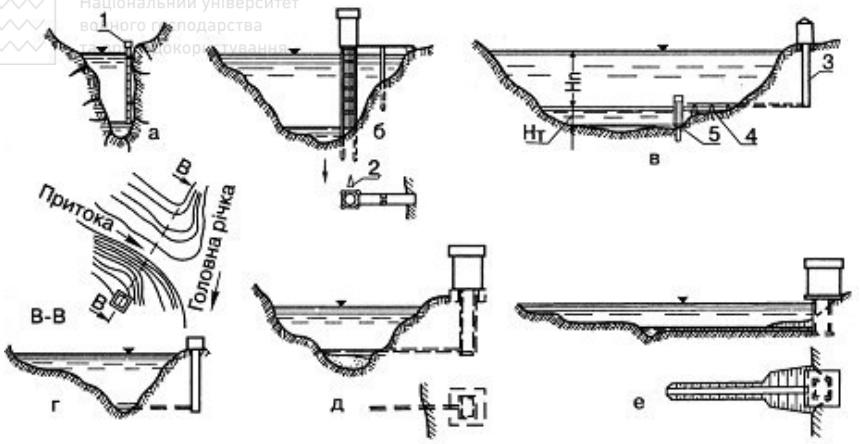


Рис. 16. Схеми розташування установок самописця рівнів води: а) на річці з обривистими скельними берегами і великою амплітудою коливанння рівнів води; б) острівного типу; в) комбінована установка на річці з широким руслом і великою амплітудою коливання рівнів води; г) на притоці; д) берегового типу з підведенням води трубою; е) берегового типу з підведенням води відкритим каналом

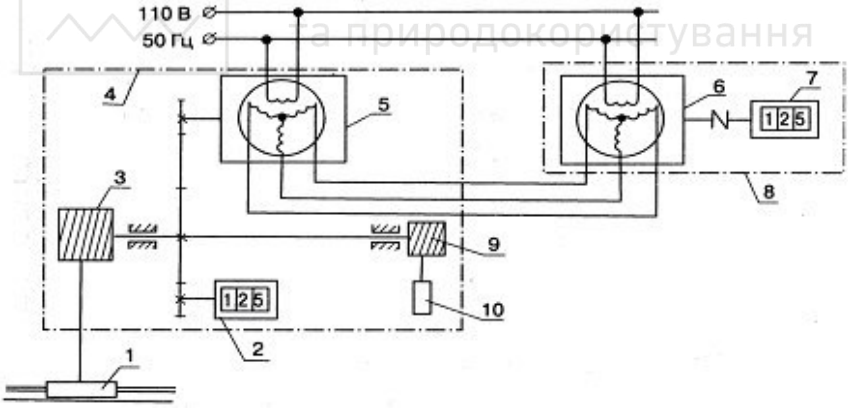


Рис. 17. Принципова схема дистанційного рівнеміра:
1 – поплавок; 2 – покажчик місцевого відліку рівня; 3 – барабан; 4 – сельсинний датчик рівня; 5 – сельсин-датчик; 6 – сельсин-приймач; 7- покажчик вторинного приладу; 8 – сельсинний приймач; 9 – барабан; 10 - противага

Національний університет
водного господарства
та природокористування

9.2. Обсяг роботи і строки проведення спостережень на водомірному посту

Пункт, обладнаний пристроями і приладами для спостережень за гідрологічним режимом вод, називається гідрологічним постом або гідрологічною станцією. Станція відрізняється від поста більшим обсягом спостережень.

При розміщенні водомірних постів для вивчення гідрологічного режиму водних об'єктів і території в цілому необхідно намагатися, щоб можливі зміни гідрологічних характеристик в часі і на території були б вивчені при найменшому числі пунктів стаціонарних спостережень.

Основними строками сполстережень за рівнями води є 8-а і 20-а год за місцевим часом. У меженний період, коли рівні води змінюються мало, спостереження можна проводити лише один раз на добу – о 8-й год. Під час повені і паводків, крім 8-ї і

20-ї год, спостереження ведуть ще і в додаткові строки через однакові проміжки часу – через 2, 4, 6, іноді через 8 год.

Температуру води вимірюють щодня о 8-й і 20-й год, а на постах з одностроковим спостереженням – о 8-й год. Спостереження за температурою води в річці починають навесні з появою відлиг і припиняють восени через 3-5 діб після встановлення сталого льодоставу. На річках з несталим льодовим режимом спостереження за температурою проводять безперервно.

За льодовими явищами спостерігають від появи первинних льодових утворень восени і до закінчення льодоходу навесні.

Узимку на річках, де спостерігаються льодові явища, вимірюють висоту снігу на льоду, товщину останнього і шуги. Місце для вимірювання вибирають у створі поста посеред річки там, де товщина льоду характерна для всієї ділянки річки. Це місце вибирають у результаті льодомірних зйомок. Товщину льоду на річках із сталим льодовим покривом вимірюють кожного 1-0го, 20-го числа і в останній день місяця. На річках з можливими відлигами, а також на інформаційних постах товщину льоду вимірюють 5-го, 10-го, 15-го, 20-го, 25-го числа і в останній день місяця.

9.3. Обробка водомірних спостережень

Розрізняють первинну і спеціальну обробку водомірних спостережень. Первинна обробка водомірних спостережень проводиться щодня спостерігачем поста і полягає в приведенні рівнів

води до нуля графіка і обчисленні середнього рівня за добу. Для цього до відліку рівня води по постійній рейці рейкового поста (або переносній рейці пальового поста) додають різницю між відмітками нуля спостережень і нуля графіка (приводку).

За даними рівнів води за окремі строки спостережень обчислюють їхні середньодобові значення. Якщо рівні води на протязі доби вимірювалися через рівні проміжки часу то середньодобовий рівень обчислюють як середню арифметичну величину, в противному випадку – як середньозважену величину. Обчислення середнього рівня води за місяць провадиться за даними середньодобових рівнів. Потім з усіх даних строкових спостережень вибирають максимальний і мінімальний рівні за місяць і відповідні їм дати. Обробка зазначених даних проводиться у книжці для запису водомірних спостережень.

Після перевірки цих книжок на гідрологічній станції дані про рівні води з них переносять до річної таблиці щоденних рівнів води. Середній рівень води за рік обчислюють за середньомісячними величинами, а найвижчий і найнижчий рівні за рік вибирають з максимальних і мінімальних рівнів за місяць.

За даними річної таблиці щоденних рівнів води будують графік коливання рівнів води (рис. 19).

Спеціальна обробка рівнів води включає визначення характерних рівнів, побудову графіків зв'язку відповідних рівнів так кривих повторюваності і тривалості стояння рівнів води. Рівні на сусідніх водомірних постах, які характеризують одну й ту саму фазу (максимальні на підйомі, мінімальні на спаді та ін.) режиму рівнів річки, називають відповідними.

Відповідні рівні на верхньому і нижньому постах можуть спостерігатися в різні дні. Невідповідність у часі залежить від тривалості добігання води між постами.

Графік зв'язку відповідних рівнів представлений на рис. 18

На основі цього графіка за рівнями води одного поста можна відновити рівні, яких бракує, іншого поста. Графіки зв'язку відповідних рівнів використовують також для прогнозу рівнів води нижнього поста за спостережуваними рівнями верхнього поста.

При проектуванні ГТС і використанні річок для зро-шування, судноплавства, лісосплаву тощо потрібно знати повторюваність (частоту) рівнів певної висоти і тривалість (забезпеченість) їх у потрібних висотних межах протягом навігаційного, вегетаційного, зимового або будь-якого іншого періоду року.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

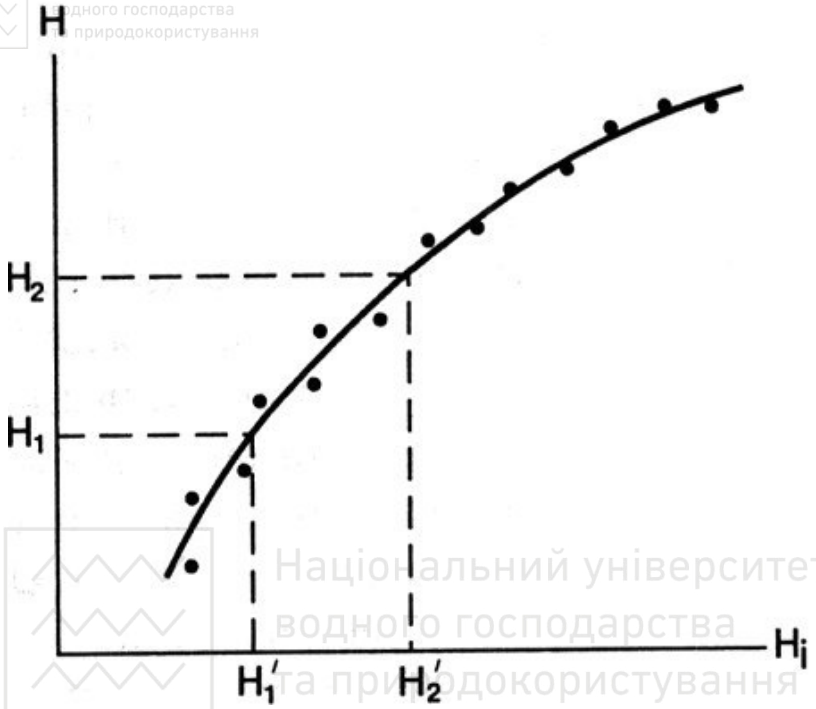


Рис. 18. Графік зв'язку відповідних рівнів води

Для цього рівні води піддають спеціальній статистичній обробці і за одержаними даними будують криві повторюваності та тривалості рівнів води (рис.19).

Вихідними даними для побудови кривих повторюваності та тривалості є річна таблиця середньодобових рівнів. Розрахунки координат цих кривих ведуть в наступному порядку. Спочатку визначають амплітуду коливання рівнів води на протязі року, як різницю між найвищим і найнижчим рівнем води. Далі амплітуду розбивають на рівні інтервали, починаючи з найвищого рівня. Останній інтервал може відрізнятися від попередніх. Загальна кількість інтерваліва повинна бути не меншою 10-12. Далі визначають число днів стояння рівнів води в кожному інтервалі за кожний місяць. Сума числа днів стояння рівнів води за кожний місяць (сума по вертикалі) повинна дорівнювати числу днів в місяці. Складаючи числа днів стояння за кожний інтервал (сума по горизонталі) отримаємо

повторюваність рівнів води. Розрахунки координат кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) ведуть за таблицею 5.

Для побудови кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) (рис. 19) на осі координат відкладають вибрані інтервали, а на осі абсцис – дні та проценти. Необхідно мати на увазі, що при побудові кривої повторюваності (частоти) обчислені в табл. 1 значення відкладають для середини відповідного інтервалу, а при побудові кривої тривалості (забезпеченості) – для кінця інтервалу. Повторюваністю називається число днів за розрахунковий період, коли спостерігався рівень в даній висотній зоні (інтервалі). Повторюваність розрахована у відсотках від тривалості розрахункового періоду, називається частотою. Тривалістю називається число днів за розрахунковий період, коли спостерігався рівень вищий або рівний даному. Тривалість розрахована у відсотках від тривалості періоду називають забезпеченістю.

Далі визначають модальний та медіальний рівні, верхній та нижній квадрильянні рівні.

Модальний рівень – це значення змінної, яке відповідає найбільшій частоті.

Медіанний рівень – це значення змінної, яке ділить ряд на дві рівні частини.

Верхній квадрильянний рівень – відповідає забезпеченості 25 %.

Нижній квадрильянний рівень – відповідає забезпечен6ості 75 %.

Таблиця 5

Відомість повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води на р._____ біля п._____ за 19_____ рік

Інтервали рівнів, см	Число днів стояння рівнів в інтервалах (по місяцях)						Повторюваність (частота)		Тривалість (забезпеченість)	
	1	2	3	4	5	6	дні	%	дні	%

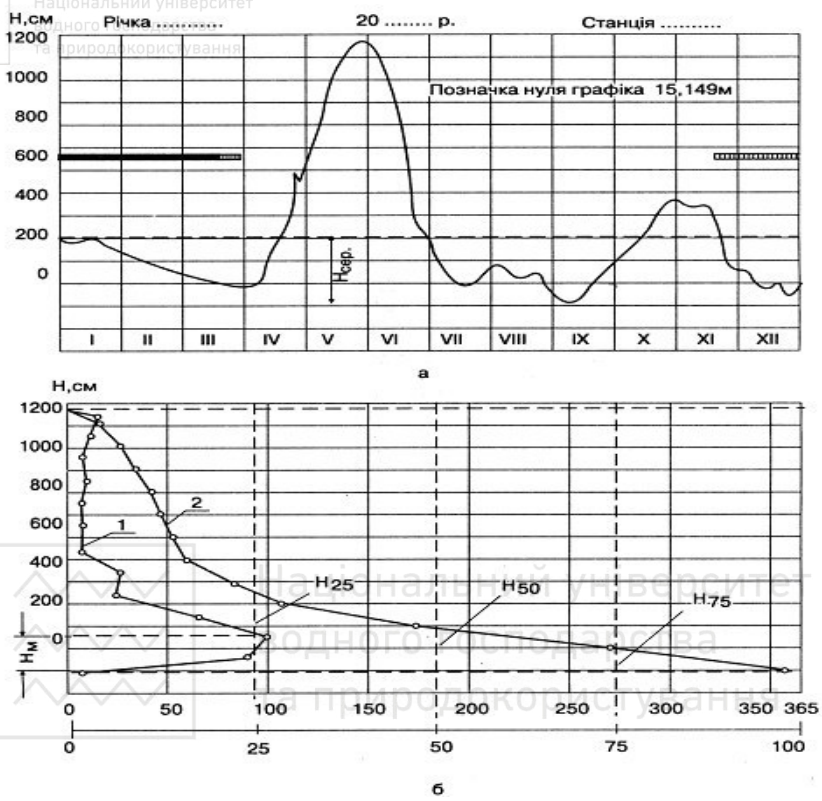


Рис. 19. Графік коливань рівня води (а), криві повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) рівнів води (б):
1 – частота коливання рівнів; 2 – забезпеченість рівнів

Тема 10. Промірні роботи

Метою промірних робіт є визначення глибини і характеру дня річки, озера чи іншої водойми. В результаті промірних робіт можна дістати план русла річки, поперечні і поздовжні профілі, характеристику рельєфу дна. Промірні роботи виконуються обов'язково при виборі місця для водомірного поста, вимірюванні витрат води, наносів. При проведенні промірних робіт обов'язковим є одночасне вимірювання рівнів води. Всі проміри повинні бути приведені до одного розрахункового (умовного) рівня який відповідає певному моменту часу.

Національний університет
та природокористування

10.1. Прилади, що використовуються при промірних роботах

Прилади для проведення промірних робіт поділяють на: **ручні, механічні, акустичні.**

До ручних приладів відносять: водомірну або нівелірну рейку, мірку, ручний лот. При глибинах до 3м застосовують рейку. Її ставлять вертикально на дно нулем униз і роблять відлік на рівні поверхні води. Це і буде глибина, точність методу 1см. При більших глибинах використовують мірку. Це кругла дерев'яна жердина діаметром 4-6 см і завдовжки 5-7м, розмічена через 10 см червоною і білою фарбами. На нижній кінець надітий металевий башмак масою 0,5-1кг. Точність вимірювань 2-5 см. Ручний лот металева (чавунна або свинцева) вага масою до 5 кг з вушком для прикріплення лотління. Лотлінь це шнур діаметром 3-5мм або м'який сталевий трос діаметром 1-2мм. Точність вимірювання 10 см (рис. 20).

До механічних приладів відносять: механічний лот. Він складається: з ручної лебідки яка містить лічильний пристрій, що служить для опускання і підйому ваги (лота) при вимірюванні глибин; троса, на якому опускається вага під час промірів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

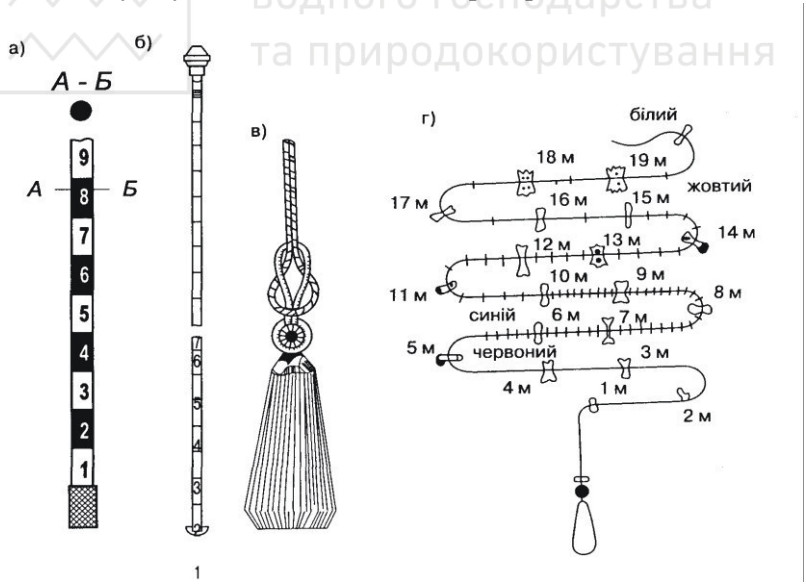


Рис. 20. Мірка, лот і лот ручний:
а – мірка; б – плавуча мірка; в – лот; г – лот із розміченим лотлінем

Для виконання промірів та інших гідрометричних робіт застосовують лебідки типу "Нева", "Луга", ГР-36. (рис. 21)

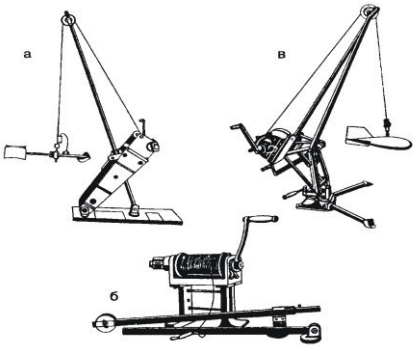


Рис. 21. Гідрометричні лебідки:
а – „Нева”; б – „Луга”; в – ГР-36

При вимірюванні механічним лотом глибину у якійсь точці визначають за формулою

$$h = l - a - \Delta_1 , \qquad (46)$$

де h – глибина в точці; l – довжина розмотаного троса за лічильником, a - висота виносу стріли над поверхнею води; Δ_1 - поправка, що вводиться за спеціальною таблицею в залежності від кута відхилення α (рис. 22).

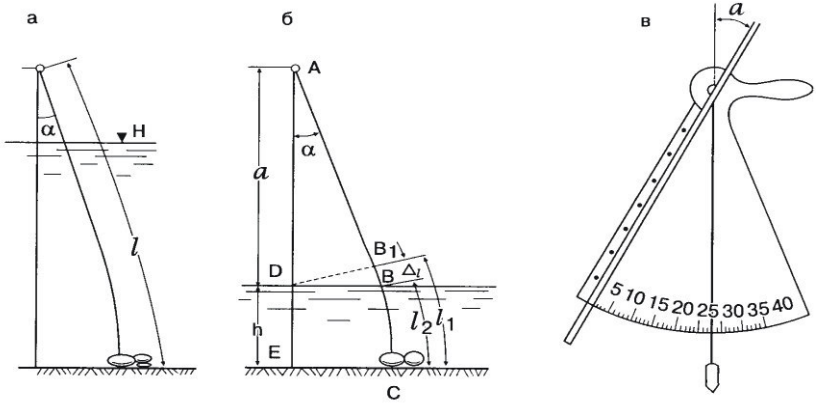


Рис. 22. Схеми визначення поправок на віднесення лотліня течією (а, б) і найпростіший кутомір

До акустичних приладів відносять ехолот. Принцип роботи грунтується на вимірюванні часу проходження у воді ультразвукового імпульсу, який посилає вібратор-випромінювач, а приймає відбитий від дна сигнал ехо – вібратор – приймач (рис. 23).

Швидкість поширення ультразвуку в воді залежить від температури і солоності води. У прісній воді при температурі 14°С швидкість поширення ультразвуку с = 1462 м/сек. На практиці використовують такі ехолоти: РЕЛ – 1М; ПЕЛ – 2.

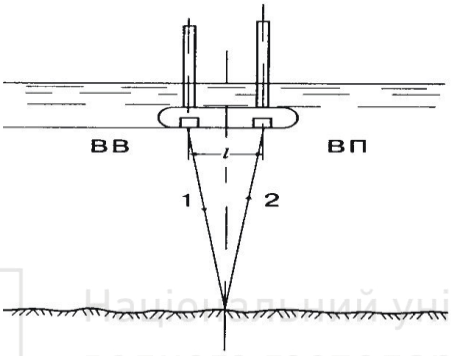


Рис. 23. Схема вимірювання глибин ехолотом:
ВВ – вібратор-випромінювач; ВП – вібратор-приймач; 1 – прямий ультразвуковий імпульс; 2 – відбитий ультразвуковий імпульс.

Глибину води h визначають за формулою

$$h = \sqrt{(\frac{c\Delta t}{2})^2 - (\frac{l}{2})^2} + d, \qquad (47)$$

де c – швидкість поширення ультразвуку в воді; Δt - час проходження ультразвукового імпульсу від вібратора-водовипромінювача до дна і від дна до вібратора-приймача;

d – глибина занурення вібратора; l – відстань між вібра-торами.

10.2. Способи проведення промірних робіт

При проведенні промірних робіт для кожної промірної точки необхідно визначити глибину води (вертикальну відстань від поверхні

Національний університет
водного господарства та природокористування

води до дна) та її положення в плані, відмітку рівня води і характер грунту на дні.

Координати промірних точок в залежності від конкретних умов визначають одним із способів:

1) по натягнутому вздовж створа розміченому тросу;

2) засічками промірних точок з берега кутомірними інструментами (теодоліти, мензули з кіпрегелем);

3) засічками кутомірними інструментами орієнтирів на березі (секстант);

4) радіо геодезичними методами при промірах на великих водоймах.

В залежності від розмірів річки та швидкості течії, проміри глибин можна здійснювати по поперечних і поздовжніх профілях, по косих галсах і змішаним способом.

При проведенні промірних робіт по поперчних профілях останнє розбивають перпендикулярно до магістралі та закріпляють на магістралі і на урізах води невеликими палями. Відстань між поперечниками для середніх умов назначають через 1/2 - 1/3 ширини річки, якщо вона не перевищує 100 метрів, і через 1/3 – 1/4 при ширині річки до 1000м. кількість промірних точок на кожному поперечнику на річках завширшки до 50м вибирають 10-20, при ширині річки 100-300м – 20-30 і при ширині до 1000м – 40-50. Засічки промірних точок здійснюють або по розміченому тросу (при ширині річки до 100-150м і швидкості течії до 1,5м), або за допомогою одного чи двох кутомірних інструментів (рис. 24).

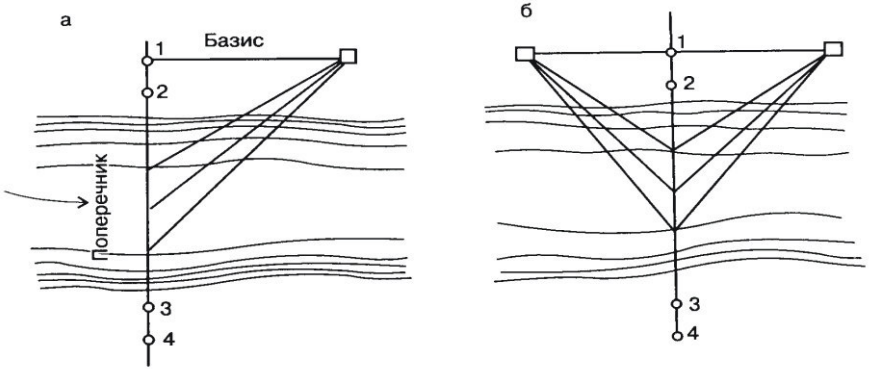


Рис. 24. Схема засічок промірних вертикалей на поперечнику одним (а) і двома (б) кутомірними інструментами

Проміри можна проводити з човна, з гідрометричного містка, з люльки, або з льоду.

Проміри глибин поздовжних профілях здійснюють при великих швидкостях течії і значних глибинах. Поздовжні профілі намічають рівномірно по ширині річки, приблизно через 1/10 – 1/20 її ширини. Положення промірних точок при цьому фіксують двома кутомірними інструментами (рис. 25).

Проміри по косих галсах здійснюють при значних швидкостях течії води, або коли необхідно виконати проміри на великих ділянках річки. При виконанні промірних робіт по косих галсах (рис. 25) човен що зноситься течією, перетинає річку від берега до берега під кутом 15-30°.

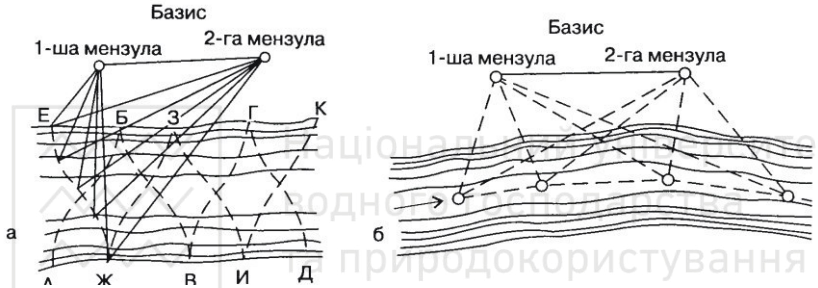


Рис. 25. Схема промірів косими галсами (а) і по поздовжніх профілях (б)

Галси назначають через 1/4 – 1/2 ширини річки. Засічки промірних точок здійснюють двома кутомірними інструментами.

Проміри глибин змішаним способом виконують при наявності складного рельєфу дна, коли одним із наведених способів не можна із достатньою точністю виявити всі особливості будови русла річки. У цьому випадку проміри по поперечних профілях, або косих галсах комбінують з промірами по поздовжніх профілях.

10.3. Обробка матеріалів промірних робіт

При виконанні промірних робіт, дані вимірювань записують у журналі стандартної форми. Записують такі дані:

1) місцеположення профілю відносно магістралі; 2) спосіб координування промірних точок; 3) прилад, яким вимірювались

глибини; 4) час початку і кінця проміру; 5) рівень води на вод посту на початку і в кінці проміру; 6) стан погоди і річки під час проміру. Для кожної промірної точки визначають відмітку дна.

Матеріали промірних робіт використовують для побудови поперечних профілів і визначень морфометричних характеристик русла, для побудови поздовжніх профілів і плану ділянки річки або водойми в ізобатах та горизонталях.

Побудова поперечного профілю і визначення морфометричних характеристик русла

За даними промірних робіт на міліметровому папері будують поперечний профіль за неведеною формою (рис. 26).

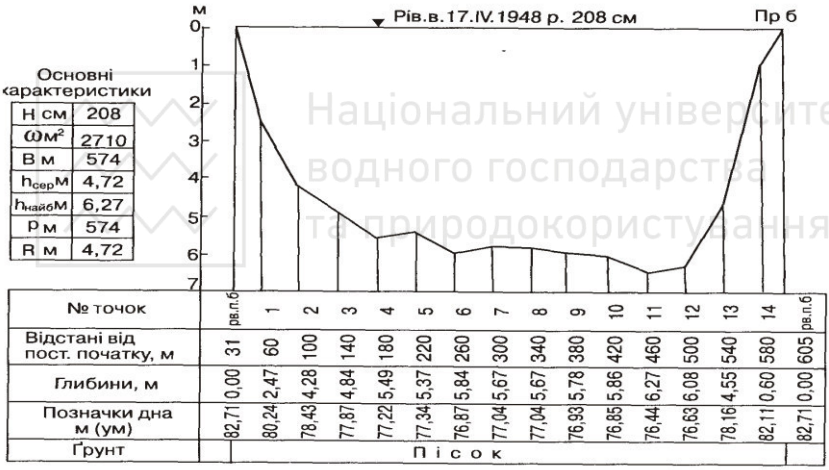


Рис. 26. Поперечний профіль річки

До морфометричних характеристик належать: ширина річки, площа поперечного перерізу русла, середня глибина, змочений периметр, гідравлічний радіус.

Ширина річки це відстань між урізами по поверхні води для даного поперечного перерізу.

Площу водного перерізу обчислюють аналітично або вимірюють планіметром. Спосіб аналітичного обчислення показаний на схемі (рис. 27).

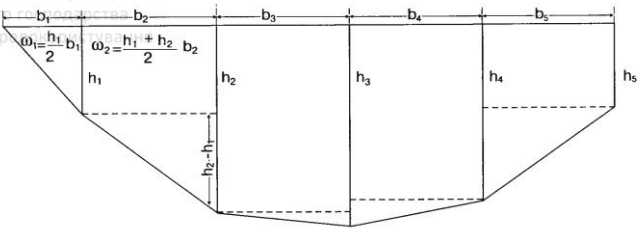


Рис. 27. Схема обчислення площі водного перерізу і довжини змоченого периметра

У межах поперечного перерізу слід відрізняти площу власне поперечного перерізу, площу водного перерізу, площу живого перерізу і площу мертвих зон.

Площею поперечного перерізу називається площа обмежена лініями рівня води і контурами русла річки.

Площа водного перерізу при відкритому русі дорівнює площі поперечного перерізу. За наявності льодяного покриву площа водного перерізу дорівнює різниці між площею поперечного перерізу і площею зануреного льоду.

Площею живого перерізу називають ту частину водного перерізу, де спостерігається рух води. Площею мертвих зон називають ту частину площі водного перерізу де не має руху води.

Середню глибину $h_{сер}$ обчислюють як частку від ділення площі водного перерізу ω на ширину річки В

$$h_{сер} = \frac{\omega}{B}.$$

Змочений периметр – довжина лінії, яка проходить по дну річки від урізу до урізу. За наявності льоду до довжини змоченого периметра додають довжину ніжньої поверхні льоду. Змочений периметр виміряють за допомогою курвиметра або аналітичним способом. (див. рис. 27).

Для побудови плану ділянки річки або водойми в ізобатах або в горизонталях, зведені до умовного рівня глибини чи відмітки дна в кожній промірній точці наносять на планшет з точністю до 1см. Потім проводять ізобати (лінії рівних глибин) або горизонталі (лінії рівних відміток) (рис. 28).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

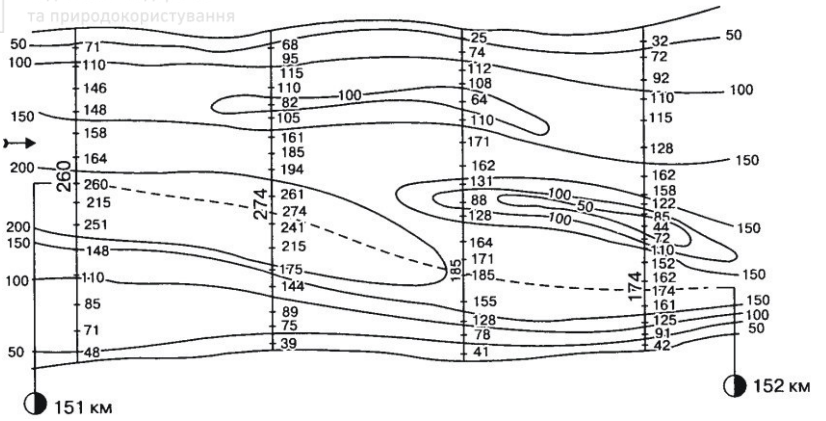


Рис. 28. План ділянки русла в ізобатах

Відстань між ізобатами чи горизонталями встановлюють залежно від масштабу зйомки і глибин у річці чи водоймі. Для побудови поздовжнього профілю річки використовують дані нівелювання і промірів русла річки, зведених до умовного рівня (рис. 29).

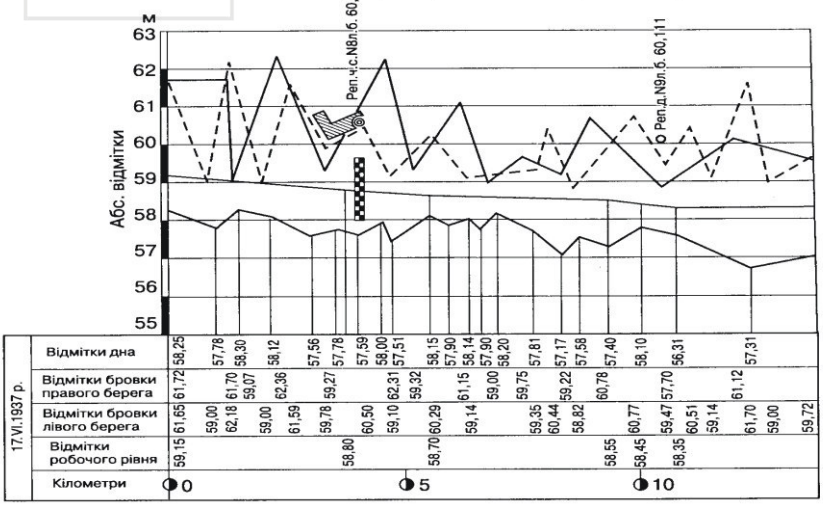


Рис. 29. Поздовжній профіль ділянки річки

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 11. Швидкості течії води

11.1. Поняття про миттєву та місцеву швидкості

Швидкістю течії води в потоці називається віддаль, на яку переміститься за одиницю часу в процесі руху частинка або деякий об'єм води. У руслових потоках спостерігається турбулентний режим руху води, який характеризується переміщенням мас води, що спричинює пульсацію швидкостей як за величиною, так і за напрямком.

У зв'язку з наявністю пульсації швидкостей розрізняють миттєву і місцеву швидкість в точці потоку. *Миттєвою швидкістю* називається швидкість в даній точці потоку в дану мить. Вона змінюється в часі як за величиною так і за напрямком. Швидкість течії в точці потоку, усереднена за певний час, *називається місцевою швидкістю* і визначається за виразом

$$\bar{u} = \frac{1}{T}\int_t u dt, \qquad (48)$$

де $\int_t udt$ - площа графіка пульсації швидкості; T – період осереднення. Період осереднення приймається рівним 100с. Це означає, що для визначення місцевої швидкості в точці, тривалість вимірювання повинна тривати не менше 100 с. Надалі будемо розглядати місцеві швидкості потоку і позначати їх буквою u без риски.

11.2. Характер розподілу швидкостей в потоці.

Розподіл швидкостей течії води в річному потоці залежить від морфологічний особливостей та шорсткості русла, уклону водної поверхні потоку. Розглянемо розподіл швидкостей по глибині потоку. Графік розподілу швидкостей по глибині потоку (від поверхні води до дна) називається *епюрою швидкостей або годографом (рис.* 30*).*

Національний університет
водного господарства
та природокористування

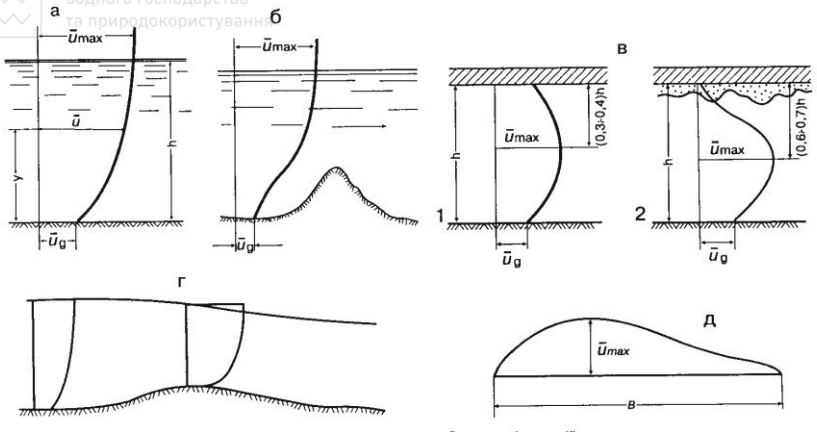


Рис. 30. Епюри швидкостей течії

а) на вертикалі; б) на вертикалі біля перешкоди; в) на вертикалі при льодовому покриві (1) і при шузі (2); г) на вертикалі від плеса до перекату; д) поверхневих швидкостей по ширині річки

При відкритому руслі найбільша швидкість спостерігається на поверхні потоку, а найменша – біля дна. Це зумовлюється тим, що сила тертя між шарами води та повітря значно менша, ніж сила тертя між шаром води та дном. Якщо виміряти площу епюри швидкостей і поділити її на глибину вертикалі, то одержимо середню швидкість на вертикалі ($u_в$). Середня швидкість на вертикалі виражається залежністю

$$u_в = \frac{1}{h}\int_o^h udh. \qquad (49)$$

Середня швидкість на вертикалі знаходиться близько 0,6h від поверхні води. При наявності льодового покриву найбільша швидкість переважно буває на 0,3-0,4 глибини від поверхні води, а коли крім льоду є ще й шуга, то максимальна швидкість буде на (0,6÷0,7)h від поверхні води. Розподіл швидкостей (поверхневих або середніх на вертикалі) по ширині річки називають епюрою швидкостей по ширині річки (рис. 31а). Розподіл швидкостей по живому перерізу річки можна зобразити у вигляді *ізотах* – лініях рівних швидкостей (рис. 31б).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

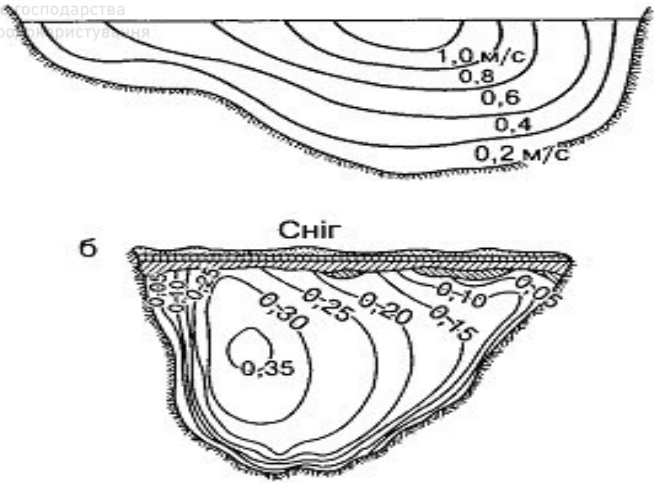


Рис. 31. Ізотахи у відкритому руслі (а) і під льодовим покривом (б)

При відкритому руслі ізотахи мають вигляд незамкнутих ліній. Найбільші швидкості мають місце на поверхні по середині потоку. При наближенні до берегів та дна швидкості зменшуються. При наявності льодового покриву частина ізотах замкнена, а найбільша швидкість знаходиться ближче до середини потоку.

11.3. Методи вимірювання швидкостей течії води

Розглянемо основні методи вимірювання швидкостей течії води, які можуть бути використані в гідрометричних роботах.

Метод, що ґрунтується на реєстрації відстані, яку проходить тіло разом з водою за якийсь проміжок часу. Прилади, що використовуються при цьому називають гідрометричними поплавками.

Метод, що ґрунтується на реєстрації числа обертів лопатевого гвинта. Прилади, що використовуються при цьому називають гідрометричними млинками.

Метод, що ґрунтується на реєстрації величини швидкісного напору. Прилади, що використовуються при цьому називаються гідрометричними трубками.

Метод, що грунтується на вимірюванні об'єму води, що заповнює прилад за період спостереження. Прилади, що використовуються при цьому називаються батометрами.

11.4. Вимірювання швидкостей течії води гідрометричними поплавками

При застосуванні цього методу приймається, що швидкість руху поплавка дорівнює швидкості течії води в місці знаходження поплавка. Швидкість u визначається за формулою

$$u = \frac{L}{t}, \text{м/с} \qquad (50)$$

де L- відстань, що проходить поплавок за час t.

Гідрометричні поплавки поділяють на поверхневі, глибинні та поплавки - інтегратори.

Поверхневі поплавки застосовують для вимірювання швидкостей течії на поверхні потоку. Їх виготовляють звичайно з дерева (кружальця дерева, скріплених навхрест дощок), ненаповнену водою пляшку з яскравим прапорцем тощо (рис. 32).

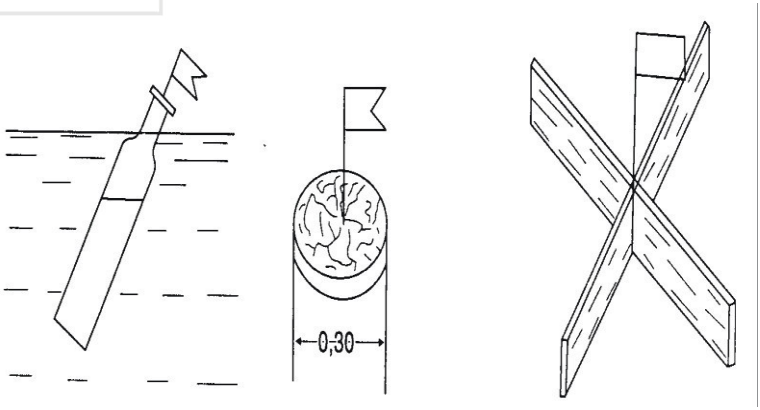


Рис. 32. Поверхневі поплавки

Для вимірювання швидкостей течії вибирають ділянки річки довжиною не менше 40 – 50 м. Виміряну швидкість відносять до середини ділянки в місці перетину поперечного створу поплавком.

Національний університет водного господарства та природокористування

Глибинні поплавки складаються із з'єднаних тонким шнуром поверхневого поплавка і нижнього, власне глибинного, зануреного на глибину h (рис. 33).

Верхній поплавок значно менший за нижній і лише показує місце розташування глибинного. Таким чином вимірюється швидкість течії на глибині h занурення нижнього поплавка.

Поплавки-інтегратори використовують для вимірювання середньої швидкості на вертикалі. Як поплавки–інтегратори використовують дерев'яні, целулоїдні або інші легкі кульки діаметром 3-4 см з невеликим кільцем за яке кульку прикріплюють ниткою до штанги. Потім штангу кулькою ставлять на дно на даній вертикалі. Коли нитку обривають, то кулька випливає на поверхню води (рис. 34).

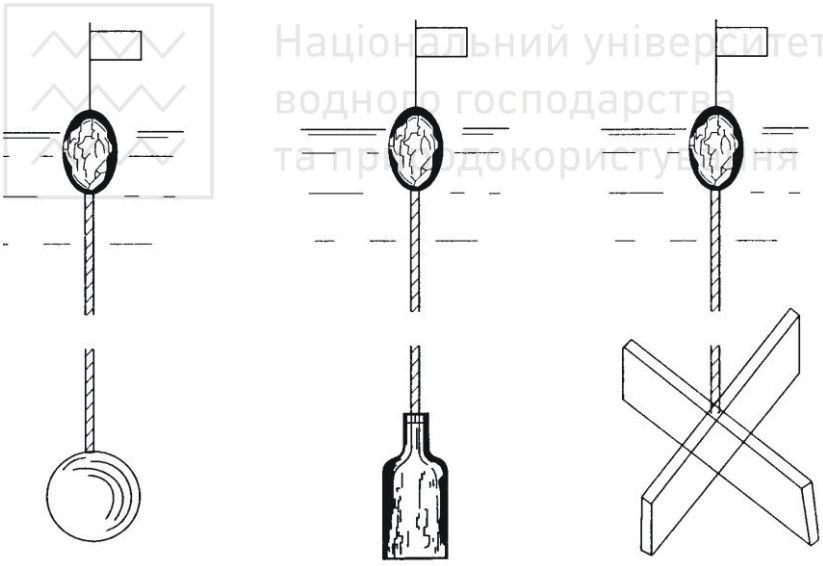


Рис. 33. Глибинні поплавки

Національний університет
водного господарства
та природокористування

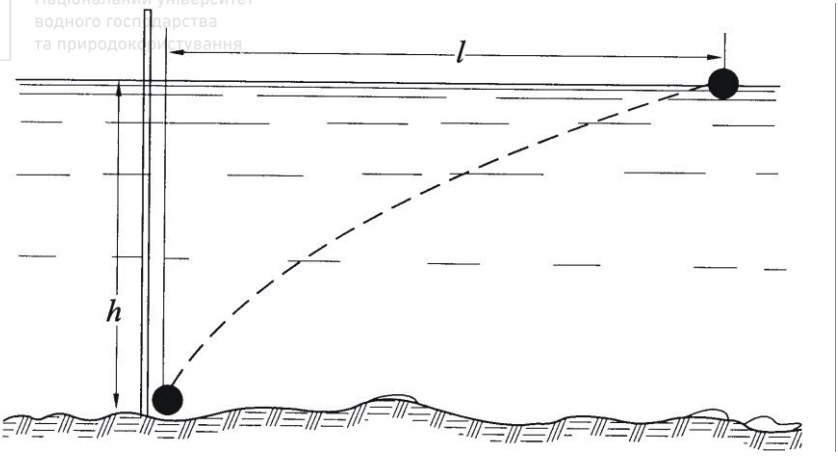


Рис. 34. Поплавок-інтегратор

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для вимірювання швидкості течії необхідно визначити відстань від даної вертикалі до точки появи поплавка на поверхні води l і час випливання поплавка t. Середня швидкість течії на вертикалі дорівнюватиме

$$u_{сер} = \frac{l}{t}, \text{ м}^2/\text{с} \qquad (51)$$

Поплавки - інтегратори застосовують при малих (до 0.2 м/с) швидкостях течії води.

Гідрометричні жердини використовують для вимірювання середньої на вертикалі швидкості течії води по лінії руху приладу. Жердина повинна бути занурена на 0.94h глибини річки. Користуються гідрометричними жердинами лише на річках з рівним дном, без виступів, валунів і рослинності.

11.5. Гідрометричні млинки

Гідрометричні млинки є найбільш поширеними приладами для вимірювання швидкостей течії води.

Існує велика кількість різних типів і конструкцій гідрометричних млинків. Вони відрізняються за напрямом осі обертання, будовою

Національний університет
лопатевого гвинта або ротора та за будовою контактного і лічильного механізмів і способом занурення млинка у воду.

За напрямом осі обертання розрізняють млинки з горизонтальною та вертикальною осями. До перших відносять млинки Ж-3, ГР-21, ГР-21М, ГР-55 (малогабаритні), ГР-11, ВБ-52, ВБ-61 та інші, до других – млинки типа Прайса, САНДІРІ та ін. Малогабаритний млинок ГР-55 представлений на рисунку 35.

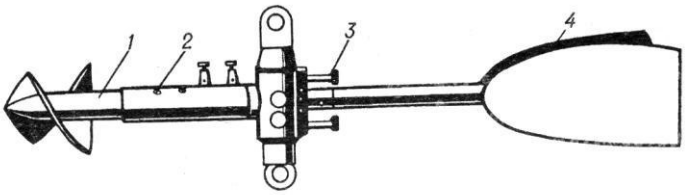


Рис. 35. Гідрометричний млинок ГР-55:

1- ходова частина; 2 – корпус; 3 – затискні гвинти; 4 – хвостове оперення

Національний університет водного господарства та природокористування

Гідрометричні млинки складаються з таких основних частин: ходової частини з лопатевим гвинтом і контактним механізмом, корпуса, стабілізатора напряму і сигнального пристрою. За будовою лопатевого гвинта або ротором розрізняють млинки з лопатевим гвинтом, утвореним гвинтовою поверхнею, і ротором, і ротором який складається з конусоподібних часток. За будовою лічильно-контактного механізму розрізняють млинки з механічним лічильником кількості обертів і з електричною сигналізацією. Більшість сучасних млинків має електричну сигналізацію.

За способом занурення у воду млинки поділяються на штангові (занурюють на штанзі); тросові (занурюють на тросі). Більшість сучасних річкових млинків є універсальними, тобто їх можна занурювати на штанзі і на тросі, в останньому випадку використовують вертлюг.

Контактний механізм представляє собою черв’ячну шестерню з двадцятьма зубцями і контактним штифтом. Проти одного із зубців є напайка. Коли контактний штифт доторкується до цієї напайки (через 20 обертів лопатевого гвинта) електричне коло замикається і

Національний університет водного господарства та природокористування

отримують електричний сигнал за допомогою електричної лампочки або дзвінка.

При виміру швидкості млинком використовують залежність між числом обертів лопатевого гвинта (або ротора) за секунду і швидкістю. Для ідеальних умов (відсутність тертя в механізмі млинка і в'язкості рідини) ця залежність виражається рівнянням

$$u = k_Г n, \tag{52}$$

де u – швидкість течії води; n – число обертів лопатевого гвинта за секунду; $к_Г$ – геометричний крок лопатевого гвинта (шлях що його пройде млинок, коли лопатевий гвинт зробить один оберт). Більш точно цю залежність можна записати у вигляді напівемпіричного рівняння

$$u = an + \sqrt{bn^2 + c^2}, \tag{53}$$

При $n = 0$ $u = \sqrt{c} = u_0$, де u_0 – початкова швидкість млинка, рівняння (52) можна записати у вигляді

$$u = an + \sqrt{bn^2 + u_0^2}, \tag{54}$$

де a і b параметри млинка.

Як видно з формули (54), рівняння млинка складається з двох частин: рівняння прямої лінії та рівняння параболи. Тобто при малих швидкостях течії води має місце криволінійна залежність між числом обертів за одиницю часу і швидкістю, а при великих – прямолінійна.

Початкова швидкість u_0 – це найменша швидкість при якій лопатевий гвинт починає обертатися, тобто найменша швидкість течії, що її можна виміряти млинком. Для більшості млинків u_0 = 0.03÷0.06 м/с. Верхня межа швидкості, що її можна виміряти млинком, чітко не визначена.

Тарування гідрометричних млинків

Під таруванням млинка розуміють встановлення залежності між швидкістю течії води і кількістю обертів робочого колеса за 1 секунду.

Національний університет водного господарства та природокористування

Для тарування млинків використовують прямолінійні тарувальні басейни (кожна завдовжки 80 м, завширшки 2м і глибиною 2 м), кругові тарувальні басейни і тарувальні лотки В.Уриваєва. Тарування проводять у стоячій воді, де млинки буксирують з різними швидкостями. Для кожної швидкості визначають число обертів робочого колеса за 1 секунду і на основі цих даних будують тарувальну криву млинка (рис.36), яка є його своєрідним паспортом.

ТАБЛИЦЯ даних тарування

V	n
0,039	0,00
0,060	0,15
0,078	0,25
0,098	0,36
0,126	0,49
0,195	0,80
0,258	1,09
0,325	1,31
0,480	2,04
0,730	3,07
0,981	4,17
1,28	5,45
1,47	6,27
1,75	7,45
2,04	8,72
2,28	9,75
2,51	10,75
2,53	10,86

Національний університет водного господарства та природокористування

Рис. 36. Тарувальна крива млинка

Млинки тарують зразу ж після їх виготовлення та в процесі їх експлуатації: через два роки, якщо млинок з мастильною камерою; без мастильної камери – через один рік. У разі пошкодження млинка його слід відремонтувати та протарувати.

11.6. Гідрометричні трубки

Вимірювання швидкостей течії гідрометричними трубками ґрунтується на реєстрації висоти швидкісного напору. Для визначення залежності між швидкістю течії і висотою швидкісного напору застосовують рівняння Д.Бернуллі (рис. 37).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

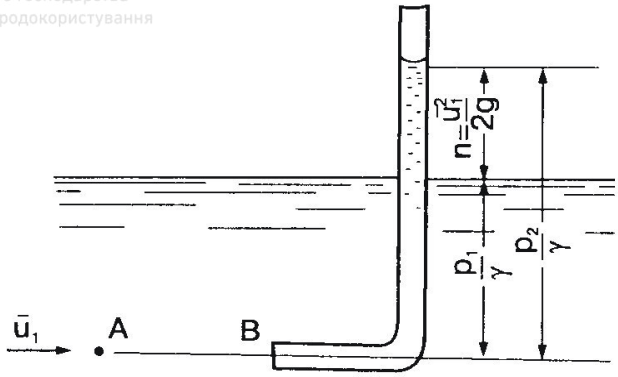


Рис. 37. Схема гідрометричної трубки

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}, \tag{55}$$

де Z_1 і Z_2 - висота положення точок А і В (рис. 2.20) однакова для обох точок і надалі її не враховують; P_1 - тиск у точці А, що визначається глибиною занурення цієї точки; u_1 - місцева швидкість у точці А; P_2 - тиск у точці В, що визначається висотою стовпа води у трубці; u_2 - швидкість у точці В, величина якої дорівнює нулю; γ - густина води.

З наведеного рівняння одержуємо висоту підйому води в трубці (або висоту швидкісного напору)

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{u_1^2}{2g} = h \tag{56}$$

звідки отримаємо формулу для визначення швидкості

$$u_1 = \sqrt{2gh}. \tag{57}$$

Національний університет

Ця формула справедлива для ідеальної рідини. Для реальних умов рівняння (57) матиме вигляд

$$u = \varphi\sqrt{2gh}, \qquad (58)$$

де φ – поправочний коефіцієнт величина якого встановлюється тарируванням. Гідрометричні трубки широко використовують для вимірювання швидкості течії в лабораторних умовах.

11.7. Батометри – тахіметри

Батометри – тахіметри застосовують для вимірювання швидкості течії та забору води на мутність. Для вимірювання швидкості барометр – тахіметр тарують, тобто визначають залежність між швидкістю течії і об'ємом води, яка потрапляє в тахометр за 1 секунду. На рис. 38. представлений найбільш поширений у практиці гідрометричних робіт батометр – тахіметр В.Г.Глушкова.

Національний університет водного господарства та природокористування

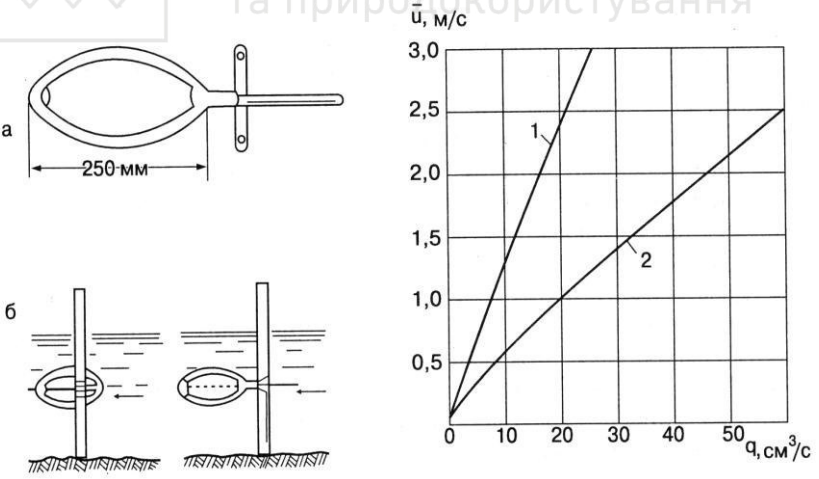


Рис. 38. Батометр – тахіметр

(а – з наконечником; б – без наконечника) і його тарувальна крива (1 – без наконечника; 2 – з наконечником)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 12. Витрати води

Витратою води називається кількість (об'єм) води, що протікає через поперечний переріз русла за одиницю часу. Для великих водотоків витрата виражається в $м^3/с$, а для малих в л/с. Витрата води є однією з основних характеристик річки, що визначає інші її елементи – рівень води, швидкість течії, похил водної поверхні, кількість наносів тощо. Існуючі методи визначення витрати води можна розділити на дві групи: безпосереднє вимірювання і опосередкове визначення. До першої групи належить так званий об'ємний метод, за якого витрата вимірюється за допомогою мірних посудин з фіксацією часу їхнього наповнення. При використанні методів другої групи вимірюється не сама витрата, а окремі елементи потоку. До таких методів належать:

1. визначення витрати за виміряними швидкостями течії і площею поперечного перерізу річки, який скорочено називається методом «швидкість - площа»;
2. визначення витрат за допомогою мірних пристроїв: гідрометричних лотків, водозливів. В даному випадку вимірюють напір на водозливу або на вхідній частині лотка, а витрату обчислюють за гідравлічними залежностями;
3. метод змішування, який має кілька різновидів – електролітичний, тепловий, калориметричний. На практиці застосовують в основному електролітичний метод, за якого витрата води визначається в залежності від зміни електропровідності введеного у потік розчину електроліту при змішуванні його з водною масою.

12.1. Метод «швидкість - площа». Модель витрати

Суть метода «швидкість - площа» полягає у визначенні об'єму моделі витрати, тобто водяного тіла об'ємом, що дорівнює витраті води через поперечний переріз потоку. Розглянемо поперечний переріз потоку (рис. 39).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

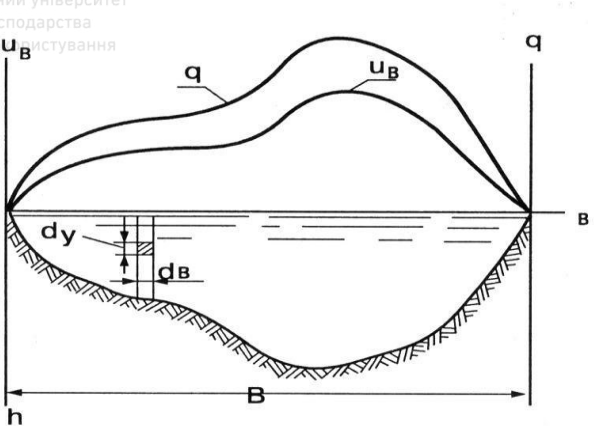


Рис. 39. Поперечний переріз потоку

Виділимо на ньому елементарну площадку. Витрату води через цю площадку, з урахуванням того, що вектор місцевої швидкості може бути направлений під кутом до нормалі, виразимо залежністю

$$dQ = u\cos\alpha d\omega, \tag{59}$$

де u – швидкість в межах елементарної площадки, α – кут між напрямком швидкості і нормаллю, $d\omega$ – величина елементарної площадки.

Витрата води через всю площу поперечного перерізу становитиме

$$Q = \int u\cos\alpha d\omega = \int\int u\cos\alpha dxdy \tag{60}$$

Якби кут ά зберігав своє значення для всіх елементарних площадок, то вираз (60) можна було б записати

$$Q = \cos\alpha \int\int udxdy\ . \tag{61}$$

Якщо на всіх елементарних площадках вектор швидкості направлений до нормалі, то

$$Q = \int\int udxdy = \int ud\omega\ . \tag{62}$$

Отримана формула виражає об’єм моделі витрати води, що зображено на рис. 40.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

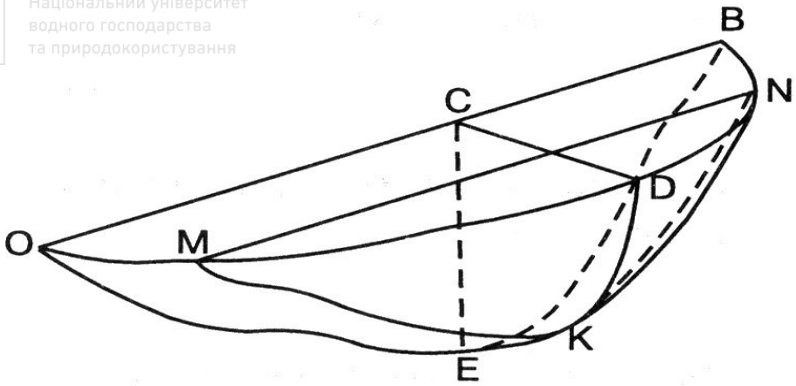


Рис. 40. Модель витрати:

OEB – живий переріз; OMDNB – епюра поверхневих швидкостей; CDE – епюра швидкостей на вертикалі; MKN - ізотаха

Ця фігура обмежена ззаду поперечним перерізом потоку, зверху – поверхнею, що представляє собою епюру поверхневих швидкостей потоку, і знизу – криволінійною поверхнею, що визначається залежністю $u = f(xy)$. Для безпосереднього визначення витрати води треба виміряти кінематичні і геометричні елементи потоку (швидкість течії та площу поперечного перерізу потоку). При цьому застосовують аналітичний та графічний методи розрахунку.

Розглянемо деякі властивості вибраної моделі. Якщо модель витрати перетнути площинами паралельними поверхні води, то площадки перерізів представлятимуть собою епюру розподілу швидкостей течії по ширині річки на відповідній глибині.

Якщо модель витрати перетнути вертикальними площинами, перпендикулярними до площини живого перерізу, то площадки перерізу будуть представляти собою епюри розподілу швидкостей по вертикалі.

Якщо модель витрати перетнути вертикальними площинами, паралельними до площини живого перерізу, то лінії перетину будуть представляти собою лінії рівних швидкостей, тобто ізотахи.

12.2. Вибір ділянки річки для вимірювання витрат води і визначення напрямку гідрометричного створу

Ділянка річки, вибрана для вимірювання витрат води, повинна бути прямою, без приток і стариць та знаходитися за межами поширення підпору від приток та гідротехнічних споруд. На вибраній ділянці Рух води повинен бути рівномірним і мати загальний напрямок по всій ширині річки. Швидкість течії у межень мають бути не меншими 0,15÷0,20 м/с, а перевищення 3,0÷4,0 м/с. На вибраній ділянці намічають і закріплюють гідрометричний створ.

Гідрометричним створом називається поперечник через річку, на якому вимірюють витрати води і наносів. Гідрометричний створ назначається перпендикулярно до середнього напрямку течії на прямолінійній ділянці і повинен задовільняти ряду вимог, а саме, знаходитися за межами впливу підпору від днища розташованих гідротехнічних споруд, відсутність інтенсивного розмиву русла та значної рослинності. Якщо гідрометричний створ віддалений від основного водомірного поста, то необхідно влаштувати водомірний пост при гідрометричному створі. За нуль графіка цього поста бажано прийняти ту ж відмітку, що і на основному водомірному посту.

В експедиційних умовах гідрометричний створ розбивають на око перпендикулярно до загального напрямку течії річки, орієнтуючись на напрямок берегів. Напрямок створу, призначеного для систематичних вимірювань встановлюють більш точно за допомогою гідрометричних млинків та поверхневих поплавків.

Розглянемо вибір гідрометричного створу за допомогою поверхневих поплавків. Для цього на вибраній ділянці розбивають три - п’ять допоміжних створів на віддалі в межах 0,5÷2,0 ширини річки. Віддаль від верхнім і нижнім створами (рис. 41) ретельно заміряють мірною стрічкою.

На березі встановлюють мензулу так, щоб із її стоянки було добре видно поверхню річки на всій ділянці. На пусковому створі, який обладнують на 5-10 м вище від першого створу, пускають 10-15 поплавків рівномірно по ширині річки. Далі засікають місця перетину поплавками всіх створів і визначають тривалість ходу кожного поплавка від верхнього до нижнього створу за допомогою секундоміра.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

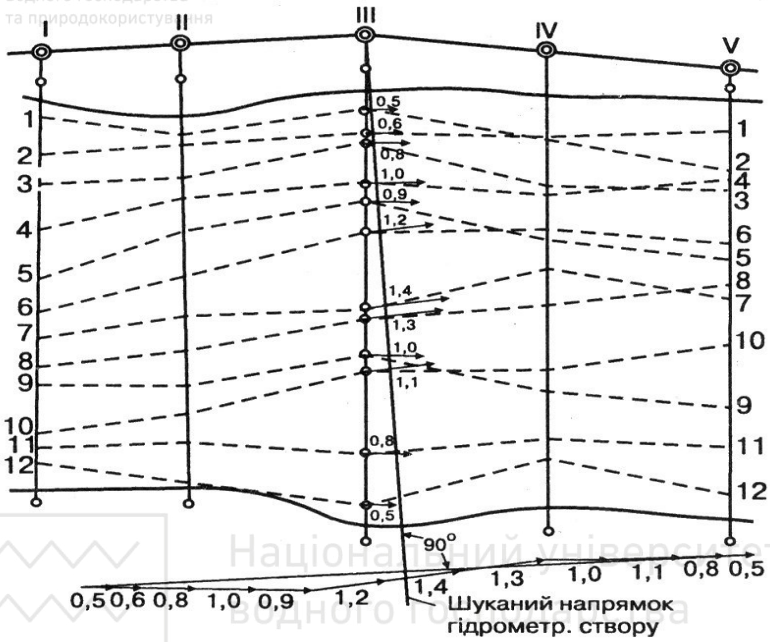


Рис. 41. Схема визначення напрямку гідрометричного створу поплавками

Для кожного поплавка обчислюють швидкість його руху за формулою

$$u = \frac{l}{t},\ \text{м/с} \qquad (63)$$

де l –відстань між верхнім і нижнім створами; t - тривалість ходу поплавка від верхнього до нижнього створу.

На планшеті будують траєкторію руху кожного поплавка. На лінії середнього створу, в точках перетину його поплавками, відкладають у вибраному масштабі вектори швидкостей кожного поплавка як дотичні до траєкторії його руху. Починаючи з довільної точки будують векторну діаграму і визначають результуючий вектор, який і буде середнім напрямком поверхневої течії води на даній ділянці.

Національний університет
Перпендикуляр до результуючого вектора приймається за напрямок шуканого гідрометричного створа.

Після закріплення гідрометричний створ устатковується такими пристроями і обладнанням:

1) створним водомірним постом, якщо основний водомірний пост розташований далеко;
2) реперними і створними віхами;
3) обладнанням для закріплення швидкісних вертикалей;
4) обладнанням і пристроями для виконання промірних робіт і вимірювання швидкостей;
5) водомірними постами для вимірювання похилу водної поверхні.

12.3. Вимірювання швидкостей гідрометричними млинками

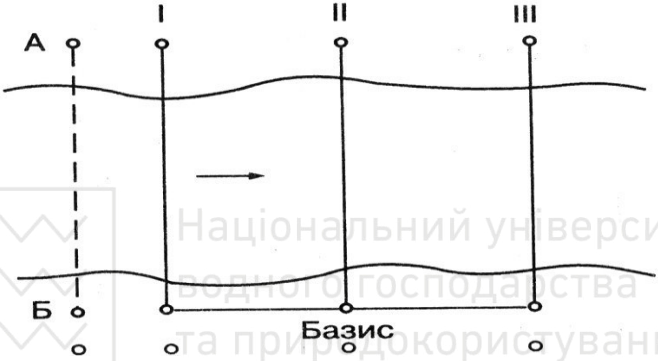
При вимірюванні швидкостей гідрометричними млинками, за даними вимірювання глибин в гідрометричному створі, слід намітити швидкісні вертикалі в залежності від ширини річки і способу вимірювання витрат води. Існує три способи***:детальний, основний і скорочений***. При детальному способі швидкісні вертикалі розташовують рівномірно по ширині річки, при близня через відстань b = (0,07÷0,10)B, де B – ширина річки. На кожній вертикалі при відсутності льодового покриву швидкості вимірюються в п’яти точках: *біля поверхні, на 0,2h; 0,6h; 0,8h і біля дна, де h – робоча глибина на вертикалі.* При наявності льодового покриву добавляється шоста точка на глибині *0,4h.* При основному способі швидкісні вертикалі скорочуються (але не менше п’яти), а швидкості вимірюють в двох точках на вертикалі: *0,2h і 0,8h,* а при глибині менше 0,5 м - в одній точці *0,6h.* При скороченому способі швидкості вимірюються в одній (*0,6h*) або в двох точках (0,2*h; 0,8 h*), а кількість швидкісних вертикалей значно скорочується. Їх кількість встановлюють на основі аналізу витрат, виміряних детальним і основним способами.

В кожній точці тривалість вимірювання повинна бути не менш як 100 с, а кількість прийомів (від сигналу до сигналу) повинна бути парною. Різниця між тривалістю першої половини вимірювання і другої половини повинна відрізнятися більш як на 5с, в протилежному випадку вимірювання треба продовжити.

Національний університет
та природокористування

12.4. Вимірювання витрат води поверхневими поплавками.

Вимірювання витрат води поверхневими поплавками проводять в разі відсутності гідрометричних млинків, або коли їх використання неможливе, наприклад при льодоході. Для виміру витрат води вище і нижче гідрометричного створу розбивають два додаткові створи з таким розрахунком, щоб тривалість ходу поплавків між ними була не менше 20 с. Для запуску поплавків в 5-10м вище верхнього створу, розбивають пусковий створ. Усі створи закріпляють віхами. На березі паралельно течії розбивають магістраль (базис) (рис.42).



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рис. 42. Розташування створів для вимірювання витрат води поплавками: I – верхній створ; II – середній створ; III – нижній створ; АБ – пусковий створ

На основному створі при довжині річки до 100м для визначення відстані проходження поплавків від магістралі натягують розмічений трос. На більш широких річках положення поверхневих поплавків визначають за допомогою кутомірних інструментів.

12.5. Обчислення витрат води, виміряних гідрометричним млинком

При вимірювання швидкостей гідрометричними млинками витрата води може бути обчислена аналітичним, графоаналітичним та графомеханічним способами.

Розглянемо аналітичний та графомеханічний способи.

Аналітичний спосіб. Витрату води обчислюють за формулою

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$Q = kV_1\omega_0 + \frac{V_1 + V_2}{2}\omega_1 + \ldots + \frac{V_{n-1} + V_n}{2}\omega_{n-1} + kV_n\omega_n, \qquad (64)$$

де Q – витрата води; $V_1, V_2, \ldots, V_n$ – середні швидкості на відповідних вертикалях; ω_0 – площа живого перерізу між берегом (межею мертвого простору) і першою швидкістною вертикаллю; $\omega_1, \omega_2 \ldots$ - площі поперечного перерізу між суміжними вертикалями; ω_n – площа поперечного перерізу між останньою швидкістною вертикаллю і берегом; k – коефіцієнт, величина якого залежить від характеру берега, а саме: при пологому березі з нульовою глибиною на урізі k = 0,7; при обривистому березі або не рівній стінці k = 0,8; при гладкій стінці k = 0,9 і за наявності мертвого простору k = 0,5.

В залежності від кількості точок вимірювань та стану русла, середню швидкість на вертикалі визначають за такими формулами.

1) для відкритого русла і за відсутності водної рослинності:

а) при вимірюванні швидкості десяти точок на вертикалі

$$V_B = 0{,}1(u_{пов} + u_{0{,}2} + u_{0{,}3} + \ldots + u_{0{,}9} + u_{дно});$$

б) при вимірюванні швидкостей в п'яти точках на вертикалі

$$V_B = 0.050u_{пов} + 0{,}347(u_{0.2} + u_{0.6}) + 0.173u_{0.8} + 0.083u_{дно};$$

в) при вимірюванні швидкості двох точок на вертикалі

$$V_B = 0.5(u_{0.2} + u_{0.8});$$

г) при вимірюванні швидкостей в одній точці на вертикалі

$$V_B = u_{0.6}.$$

При вимірюванні витрати води в руслі з водною рослинністю або за наявності льодового покриву:

а) при вимірюванні швидкості в шести точках на вертикалі

$$V_B = 0.1(u_{пов} + 2u_{0.2} + 2u_{0.6} + 2u_{0.8} + u_{дно});$$

б) при вимірюванні швидкості в трьох точках на вертикалі

$$V_B = 0.33(u_{0.15} + u_{0.50} + u_{0.85});$$

в) при вимірюванні швидкості в одній точці на вертикалі

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$V_B = 0.9u_{0.5}.$$

У наведених формулах індекси 0,2; 0,4 та ін. Означають відносне за глибиною положення точок вимірювань швидкостей на вертикалі, рахуючи від поверхні води.

Часткові площі між швидкістними вертикалями обчислюють за простими геометричними фігурами – трикутниками та трапеціями. Кожний доданок формули (64) представляє часткову витрату між швидкісними вертикалями. Повну витрату підраховують як суму часткових витрат води.

Графо-механічний спосіб обчислення витрат води застосовують при вимірюванні швидкостей детальним способом і ведуть в такий послідовності (рис. 43):

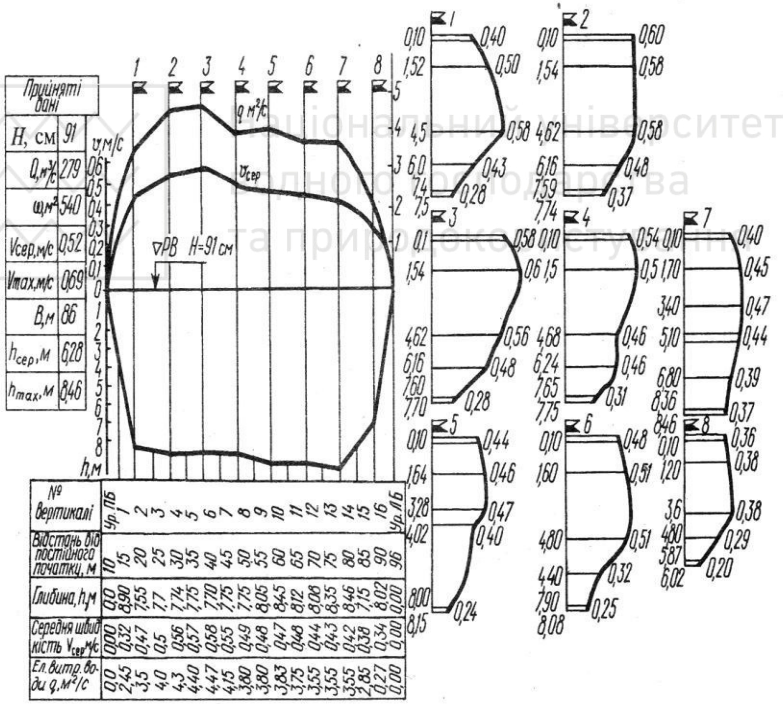


Рис. 43. Обчислення витрати води графо-механічним способом

1. На аркуші міліметрового паперу будують профіль поперечного перерізу річки і наносять розрахунковий рівень води.

2. На тому ж аркуші креслять епюри швидкостей для кожної швидкістної вертикалі.

3. Обчислюють середні швидкості на вертикалях діленням площі епюри швидкостей на робочу глибину вертикалі; площу епюр визначать планіметром або палеткою.

4. Будують над профілем епюру середніх швидкостей, з якої знімають значення середніх швидкостей для кожної промірної вертикалі.

5. Обчислюють елементарні витрати для всіх вертикалей. Для цього значення середніх швидкостей множать на глибину і отримані дані заносять у відповідний рядок під профілем.

6. Будують епюру елементарних витрат. Для цього значення елементарних витрат відкладають вверх від рівня води на профілі на кожній вертикалі і по одержаних точках проводять плавну лінію.

7. Обчислюють витрату води, для чого визначають площу епюри елементарних витрат планіметром або палеткою.

Після обчислення витрат на кресленні складають таблицю прийнятих даних.

12.6. Визначення витрат води, при вимірюванні швидкостей поверхневими поплавками

Вимірювання швидкостей течії води поверхневими поплавками проводять лише тоді, коли немає вітру. Для цього вище і нижче гідрометричного створу на рівних відстанях розбивають два допоміжних створи, відстань між якими встановлюють таку, щоб тривалість ходу поплавка між ними була не менша 20с.

В 5-10м вище верхнього створу розбивають пусковий створ (рис. 42). Всього по ширині річки пускають послідовно 15-30 поплавків з таким розрахунком, щоб середній створ вони проходили групами по два-чотири. Тривалість руху поплавків між створами фіксують секундоміром. Точку перетину поплавками гідрометричного створу визначають по розміченому тросі (при ширині річки до 100м) або за допомогою кутомірних інструментів.

Обчислення виміряних поплавками витрат виконують у такій послідовності.

1. Обчислюються площі живого перерізу на основному створі.

2. На сітку, наведену у книжці для запису вимірювань витрат води поплавками, наносять точки поплавків. Через нанесені точки (або

центра груп точок) проводять епюру розподілу тривалості ходу поплавків по ширині річки (рис. 44).

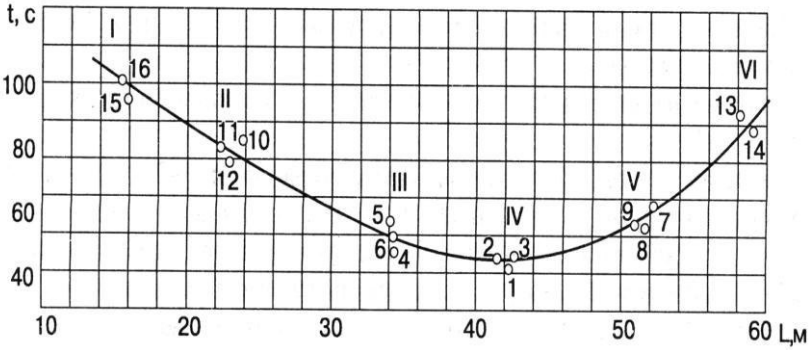


Рис. 44. Епюра тривалості ходу поплавків:
1, 2, ... , 16 – номери поплавків; I, II, ... , VI – групи поплавків; t – тривалість ходу поплавків; L – відстань від постійного початку до місця перетину поплавком основного створу

3. Через рівні відстані назначають швидкісні вертикалі, для кожної з яких з епюри встановлюють тривалість ходу поплавка та обчислюють поверхневу швидкість течії $V = l/t$, де l – відстань між верхнім і нижнім створами; t – тривалість ходу поплавка.

4. Обчислюють фіктивну витрату за формулою

$$Q_{ф} = kV_1\omega_0 + \frac{V_1 + V_2}{2}\omega_1 + \ldots + \frac{V_{n-1} + V_n}{2}\omega_{n-1} + kV_n\omega_n, \qquad (65)$$

де V_i – поверхневі швидкості на швидкісних вертикалях; ω_i – площа живого перерізу між швидкісними вертикалями; k – коефіцієнт що враховує характер берега і глибину на його урізі (див. п 12.5).

Дійсну витрату води обчислюють за формулою $Q = Q_{ф}k_i$, де k_i – перехідний коефіцієнт від фіктивної витрати до дійсної.

Величину перехідного коефіцієнта визначають при одночасному вимірюванні витрат води гідрометричним млинком і поплавками за відношенням

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$k_i = \frac{Q_д}{Q_ф}, \tag{66}$$

де $Q_д$ - витрата води, виміряна гідрометричним млинком; $Q_ф$ – витрата виміряна поплавками.

Для наближеного визначення коефіцієнта k_i можна користуватися емпірічними формулами, зокрема

$$k_i = 1 - 1.85\sqrt{\frac{I}{F_r}}, \tag{67}$$

де I – поздовжній похил водної поверхні; F_r – число Фруда, яке визначається за формулою

$$F_r = \frac{V_{сер.пов}^2}{g h_{сер}}, \tag{68}$$

де $V_{сер.пов.}$ – середня поверхнева швидкість; g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/сек^2; $h_{сер}$ – середня глибина у живому перерізі, м.

Середню поверхневу швидкість визначають за виразом $V_{сер.пов} = Q_ф / \omega$, а середню глибину у живому перерізі – $h_{сер} = \omega / B$, де ω – площа живого перерізу, B – ширина річки.

Для визначення коефіцієнта k_i можна використовувати формули Г. В. Железнякова і Ф. Карасьова, які відповідно мають вигляд

$$k_i = 0.61(c^*)^{0.125}, \tag{69}$$

$$k_i = 0.77 + 0.043\sqrt{c^* - 3.8}. \tag{70}$$

При цьому $c^* = c / \sqrt{g}$,

де c – коефіцієнт Шезі; g – прискорення вільного падіння.

Національний університет
та природокористування

12.7. Визначення витрат води за площею живого перерізу і середньою швидкістю потоку

Витрату обчислюють за формулою

$$Q = \omega V , \tag{71}$$

де ω – площа поперчного перерізу, яку визначають за наявним поперечним профілем русла, м^2; V – середня швидкість течії річки, яку обчислюють за формулою Шезі, м/сек.

Формула Шезі має вигляд

$$V = c\sqrt{RI} , \tag{72}$$

де c - коефіцієнт Шезі, м^{0,5}/с; R – гідравлічний радіус, м; I – похил водної поверхні.

Похил водної поверхні визначають нівелюванням. При розрахунках максимальних витрат води помітках високих вод, що залашилися на берегах, похил одержують нівелюванням цих міток.

Коефіцієнт Шезі визначають за емпіричними формулами, наприклад за формулою М. М. Павловського

$$c = \frac{1}{n} R^y , \tag{73}$$

де n – коефіцієнт шорсткості, який визначають за таблицею М. Ф. Срібного залежно від характеристики русла та заплави [4]; R – гідравлічний радіус; y – показник степеня, який визначають за формулою М. М. Павловського

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.10) . \tag{74}$$

Для наближеного обчислення можна користуватися формулами

$$y = 1.5\sqrt{n} \qquad \text{при} \quad R < 1 \text{ м}$$

$$y = 1.3\sqrt{n} \qquad \text{при} \quad R > 1 \text{ м}$$

Національний університет водного господарства та природокористування

12.8. Визначення витрат води способом змішування

Визначення витрат води способом змішування полягає в тому, що в потік вливають розчин будь-якої речовини, найчастіше хлористого натрію, потім на розсташованому нижче за течією створі, після повного змішування цієї речовини з річковою водою, відбираються проби води і визначають концентрацію речовини після змішування.

Для досягнення достатньої точності вимірювання цим способом необхідно вибрати безприливну нешироку ділянку річки з великими швидкостями, без рукавів, проток, мертвих зон і ям.

Існує два різновиди методу змішування:

1) тривалий випуск у річку розчину індикатора з постійною витратою;
2) одноразовий випуск у річку розчину індикатора певного об'єму.

За першим способом в пусковому створі в річку впускають розчин індикатора. Якщо вибрана ділянка відповідає вказаним вище вимогам, то повинна виконуватися умова, що вагові витрати речовини індикатора на пусковому створі і в створі, де проводять виміри, повинні бути рівні між собою, тобто

$$QC_0 + qC_1 = (a+q)C_2, \qquad (75)$$

де Q – витрата води у річці; C_0 – концентрація індикатора в річці у попередньому стані; C_1 – концентрація розчину; q – витрата речовини індикатора; C_2 - концентрація індикатора у пробі, взятій на контрольному створі.

З формули (75) витрата води в річці дорівнює

$$Q = q\frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}; \qquad (76)$$

Наведений спосіб дає дуже високі результати, але потребує значною кількості індикатора і громіского обладнання для його випуску у річку. Тому він не набув широкого практичного застосування.

Другий спосіб передбачає одноразовий випуск розчину солі у річку з розрахунку 1,5-2 кг на 1 $м^3/с$ витрати води в річці. Концентрація розчину 2-3 кг. солі на 10 л. води. Розчин виливають в річку в

середній її частині на пусковому створі. У контрольному створі через кожні 15с за допогою електровимірювального містка визначають електропровідність води, яка спочатку різко збільшується, а потім повільно спадає. Відстань між пусковим і контрольним створами повинна бути достатньою ьдля повного перемішування розчину.

Для вимірювання витрати води способом іонного паводка застосовують вимірник витрати води ВВ-52, якій складається з електровимірювального містка, електродної коробки, двох десятилітрових бачків, склянної банки на 20-30 мл і піпетки на 1 мл.

На березі в контрольному створі розташовують електровимірювальний місток, з'єднаний кабелем з електродною коробкою, яку закріпляють на середині річки. Після випуску в річку розчину по шкалі реохорда вимірювального містка кожні 15 с здійснюють відлік відносної електропровідності. Іонни й паводок здебільшого триває близько 10 хв.

Після закінчення спостережень за ходом іонного паводка визначають розрахункову електропровідність ($P_{розр}$) вихідного розчину, для чого піпеткою відбирають 1 мл розчину, вводять його в 10000 мл чистої річкової води і визначають величину відносної електропровідності цього розбавленого розчину. Тоді $P_{розр} = P_c\ 10000$.

За даними вимірювань будують графік іонного паводка, на якому по осі ординат відкладають значення відносної електропровідності $P\ ^0/_{00}$, а по осі абсцис – час.

Витрату обчислюють за формулою

$$Q = \frac{WP_{роз}}{F}, \tag{77}$$

де W – об'єм розчину, влитого в річку, м^3; $P_{роз}$ - розрахункова електропровідність розчину, $^0/_{00}$; F - площа графіка іонного паводка, яка визначається за формулою

$$F = \Delta t \sum P\ ^0/_{00,} \tag{78}$$

Δt – інтервал часу, який дорівнює 15 с; $\sum P$ – сума ординат графіка іонного паводка.

Відносна електропровідність річкової води за час вимірювань може змінитися. Тоді вводиться поправка, з урахуванням якої витрату обчислюють за формулою

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$Q = \frac{WP_{роз}}{F \pm \Delta F}, \qquad (79)$$

де ΔF - поправка на площу іонного паводка внаслідок зміни електропровідності води в річці.

Поправку обчислюють за формулою

$$\Delta F = \frac{\Delta P}{2} t, \qquad (80)$$

де ΔP – величина, на яку змінилася електропровідність за час вимірювань $^0/_{00}$; t - тривалість вимірювань, с .

Тема 13. Криві витрат води

Між витратою води в річці та рівнем існує певна гідравлічна залежність. Графічний її вираз називається кривою витрат води.

Кривою витрат води називається графік залежності для даного перерізу річкового русла між рівнем і витратою води. Найпростіший вигляд залежність має у разі рівномірного руху води у сталому руслі з постійною формою поперечного перерізу. У такому випадку має місце однозначна залежність між рівнем і витратою води тобто кожному значенню рівня відповідає лише одне значення витрати води. Часто порушення однозначності кривою $Q = f(H)$ відбувається під впливом льодових явищ, заростання русла, розмивання і намивання русла. Більш складний вигляд крива $Q = f(H)$ буде мати і при неусталеному русі води в річках, який спостерігається при весняних повенях, дощових паводках, попусках води із водосховищ, що розташовані вище від водомірного поста.

Основою для побудови кривої витрат води є виміряні витрати води, профіль по гідрометричному створу, дані, що характеризують режим річки на ділянці гідроствору.

Частота вимірювань витрат води неоднакова у різні сезони року. Частіше вимірюють витрати води під час повеней. 4-5 разів на підйомі і 5-8 – на спаді. В межень витрати води вимірюють через 7-10 діб, при дощових паводках – 1-2 на підйомі і 2-3 на спаді. При сталому льодоставі витрати води вимірюють через 10-20 діб. Для аналізу кривої витрат води та для її екстраполяції (продовження за межі спостережень) на міліметровий папір наносять значення витрат, площ

живого перерізу русла і середніх швидкостей течії води залежно від рівня води (рис. 45.)

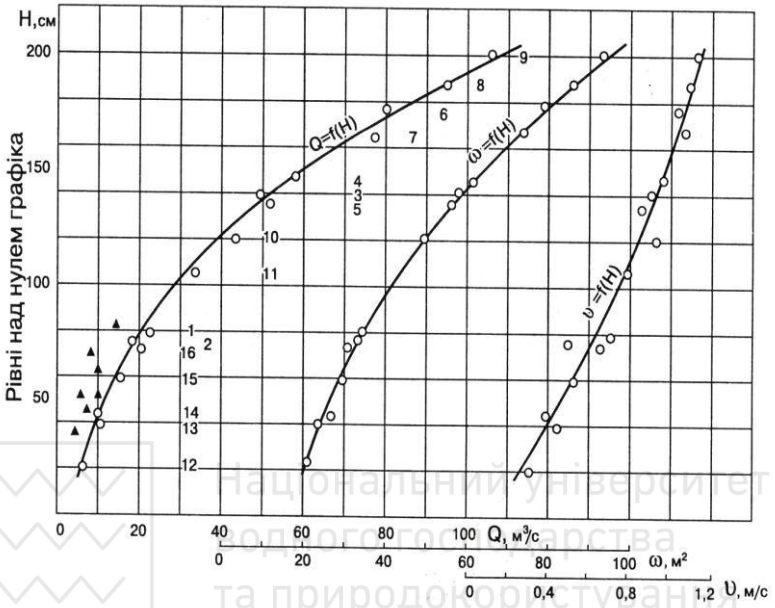


Рис. 45. Криві витрат, площ живого перерізу і середніх швидкостей течії

13.1. Побудова кривої води при однозначній залежності між витратою і рівнем води

Розмір паперу і масштаб для кривих вибирають залежно від амплітуди коливання рівнів води, витрат, площ живих перерізів і середніх швидкостей з таким розрахунком, щоб хорда кривої витрат розміщалась щодо осей координат приблизно під кутом 45^0, а хорди площ і середніх швидкостей – під кутом 60^0 до осі абсцис. По осі ординат відкладають рівні, а по осі абсцис - витрати, площі живого перерізу і середні швидкості, причому їхній масштаб буде різний для кожного значення. Після нанесення точок проводять плавні лінії. Потім проводять ув'язку кривих (таб.6) за рівнянням $Q = u\omega$.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 6

Ув'язування кривих $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$ і $u_{сер} = f(H)$

H, см	Значення з кривої			$Q = \omega u_{сер}$	Розходження,
	Q, м^3/с	ω, м^2	$u_{сер}$, м/с	м^3/с	%
50	63,6	105	0,60	63,0	Менше 1
60	102	125	0,82	102	0
70	132	143	0,95	136	Менше 1
і далі					

Для цього через рівні інтервали визначають витрати за вище наведеною формулою і порівнюють їх з витратами знятими з кривої $Q = f(H)$. Якщо розходження перевищує 1%, то виясняють причину цього і вносять виправлення (змінюють форму кривих). Для підрахунку середньодобових витрат води складають розрахункову таблицю (табл.7).

Таблиця 7

Розрахункова таблиця

Рівні см	Витрати, м^3/с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	25,0	25,7	26,4	27,1	27,8	28,5	29,2	29,9	30,6	31,3
30	32,0	32,9	33,8	35,6	35,6	35,5	38,3	38,3	39,2	40,1
40	41,0	42,1	43,2	44,3	45,4	46,5	48,7	48,7	49,8	50,9
50	52,0	і т.д.								

Таблицю складають таким чином: з кривої $Q = f(H)$ через кожні 10 см рівня знімають значення витрати води. Зняті з кривої значення витрат записують в графу "0" проти відповідних рівнів. Значення

витрат промірних рівнів визначають за інтерполяцією і записують у відповідній графі.

Після складання розрахункової таблиці перевіряють відхилення витрат, знятих з кривої $Q = f(H)$, від виміряних (за формою табл.8). Якщо середнє відхилення для всіх витрат, які були використані для побудови кривої $Q = f(H)$, не перевищує 2-4 %, то криву вважають задовільною.

Таблиця 8

Перевірка побудови кривої $Q = f(H)$

(зіставлення виміряних і знятих із кривої витрат води)

№ вит-рати	Дата вимір ю-вання	Виміряні		Q_2, м^3/с з розра-хункової таблиці	$\pm\Delta Q = Q_1 - Q_2$	$\pm\Delta Q = \Delta Q : Q \cdot 100$
		H, см	Q_1, м^3/с			
10	18.III	28	30,1	30,6	-0,5	-1,66
11	21.IV	37	40,3	38,3	2,0	4,96
12	26.IV	45	48,4	46,5	1,9	3,97
13	11.V	441	41,9	42,1	-0,2	-0,48
						$\sum\Delta Q\% = 11{,}07$

Користуючись розрахунковою таблицею і щоденними рівнями води, визначають щоденні витрати води. Таблиці щоденних витрат води публікуються в гідрологічних щорічниках.

13.2. Екстраполяція кривої витрат води

Екстраполяцією кривої витрат води називають продовження її вверх і вниз за межі спостережень. Криву витрат вважають надійною, коли вона обґрунтована виміряними витратами на 80% і більше амплітуди коливання рівнів і екстраполяція вверх не перевищує 15-20%, а вниз – 5% амплітуди рівнів.

Екстраполяція кривої до максимального рівня виконується такими основними способами: а) безпосереднім продовженням кривої; б) за елементами витрати; за допомогою формули Шезі. Перший спосіб використовують тоді, коли не обґрунтована виміряними витратами частина кривої витрат не перевищує 10% амплітуди рівнів і профіль поперечного перерізу річки в межах цієї зони не має різних переломів, а шорсткість русла істотно не змінюється.

Другий спосіб полягає в тому, що екстраполюють криву

$u_{сер} = f(H)$, а криву $\omega = f(H)$ продовжують до найвищого рівня за даними обчислення площі живого перерізу, користуючись профілем поперечного перерізу гідрометричного створу. Цей спосіб використовують за тих же умов, що і попередній.

Екстраполяція кривої витрат за допомогою формули Шезі застосовується за наявністю надійно виміряних поздовжніх похилів водної поверхні. Суть цього способу полягає в тому, що витрати в частині кривої $Q = f(H)$ обчислюються як добуток площі живого перерізу, визначеного за профілем створу і середньої швидкості течії, яку визначають за допомогою формули Шезі

$$u_{сер} = c\sqrt{h_{сер} I}\,, \tag{81}$$

Величину $h_{сер}$ визначають за профілем створу. Значення похилу I і коефіцієнта Шезі с визначають шляхом побудови і екстраполяції кривих $I = f(H)$ і $c = f(H)$. Залежність $I = f(H)$ будують за даними вимірювань похилів водної поверхні, а потім екстраполюють її до найвищого рівня безпосереднім продовженням. Для побудови кривої $c = f(H)$ за виміряними витратами води обчислюють значення коефіцієнтів Шезі за формулою

$$c = \frac{V}{\sqrt{h_{сер} I}} \tag{82}$$

Криву $c = f(H)$ екстраполюють безпосереднім продовжен-ням до максимального рівня води (рис.46)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

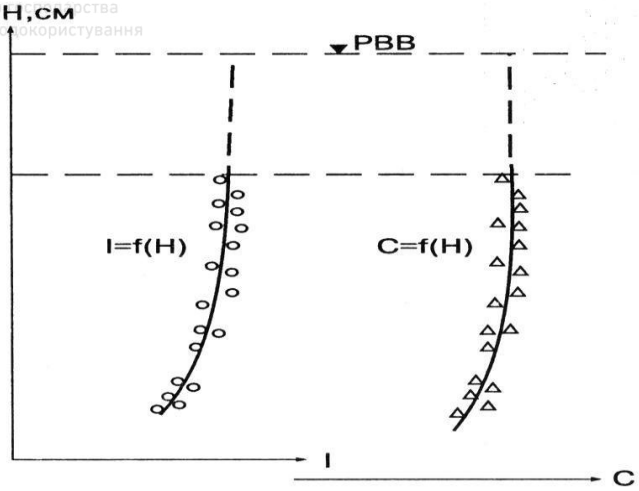


Рис. 46. Криві $I = f(H)$ і $C = f(H)$ та їхня екстраполяція

Екстраполяцію кривих витрат води вниз до мінімального рівня можна виконати двома способами: а) екстраполяція до нульової витрати; б) екстраполяція за елементами витрати.

Перший спосіб використовують тоді, коли відомий рівень нульової витрати. На рис. 47 наведені випадки встановлення відмітки нульової витрати.

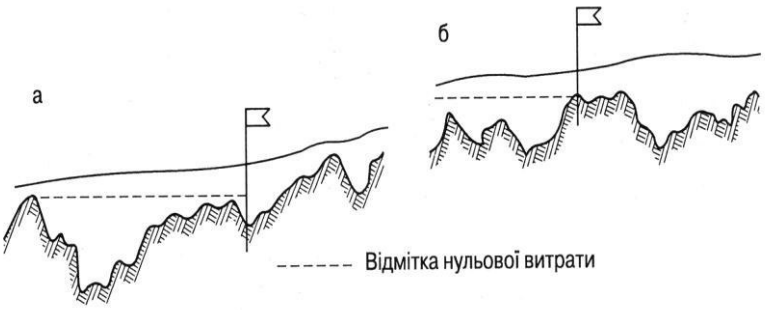


Рис. 47. Визначення відмітки нульової витрати

Для визначення відміток нульової витрати необхідна детальна зйомка ділянки річки в районі гідроствору.

Другий спосіб використовують за неможливості встановити відмітку нульової витрати. У цьому випадку площу перерізу визначають за профілем створу, а середню швидкість знаходять по екстраполяції кривої $u_{сер} = f(H)$ безпосереднім продовженням. Методи побудови кривих витрат і обчислення стоку води за відсутності однозначної залежностями між витратами і рівнями води наведені в роботі [4].

Тема 14. Витрата наносів

Тверді частинки, що транспортуються потоком нази-ваються наносами. Загальну кількість твердих частинок і розчинених у воді речовин, які переносяться потоком за певний період, називають твердим стоком. Більша частина наносів поступає в річки з їх водозборів, менша – утворюється за рахунок розмиву русла.

Наноси поділяютьбся на завислі і донні. Перші переміщуються в товщині потоку в завислому стані, а другі-по дну. До складу наносів входять також частинки органічного походження.

Кількість наносів, які проносить вода через живий переріз в одиницю часу, називають витратою наносів (R, кг/с), а за певний проміжок часу-стоком нанеосів (R, кг).

14.1. Визначення стоку завислих наносів

Кількість завислих наносів, які містяться в одиниці об'єму води, називають мутністю води (ρ , г/м^3), яка визначається за формулою

$$\rho = \frac{P_H 10^6}{V}, \qquad (83)$$

де P_H –кількість наносів у пробі,г; V – об'єм проби води, см^3. Прилади для взяття проб води для вимірювання мутності називаються батометрами. На практиці використовують батометр-пляшку на штанзі, батометр-пляшку в гідрометричній вазі і вакуумний батометр (рис. 48-50).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

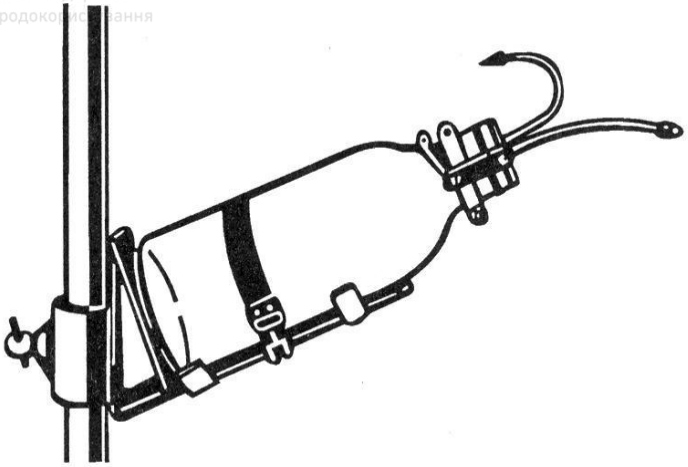


Рис. 48. Батометр-пляшка на штанзі

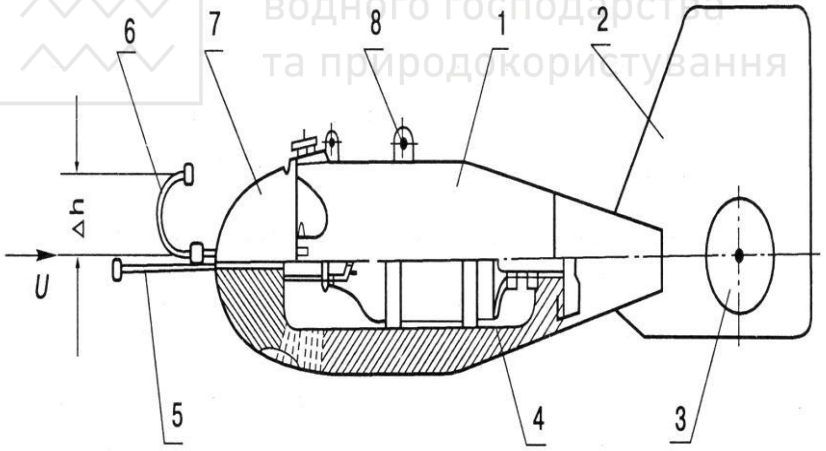


Рис. 49. Батометр-пляшка у вазі:

1 – корпус; 2 – хвіст; 3 – вага; 4 – піддон; 5 – водозабірна трубка; 6 – повітровідвідна трубка; 7 – відкидна передня частина; 8 - кільце

Національний університет
водного господарства
та природокористування

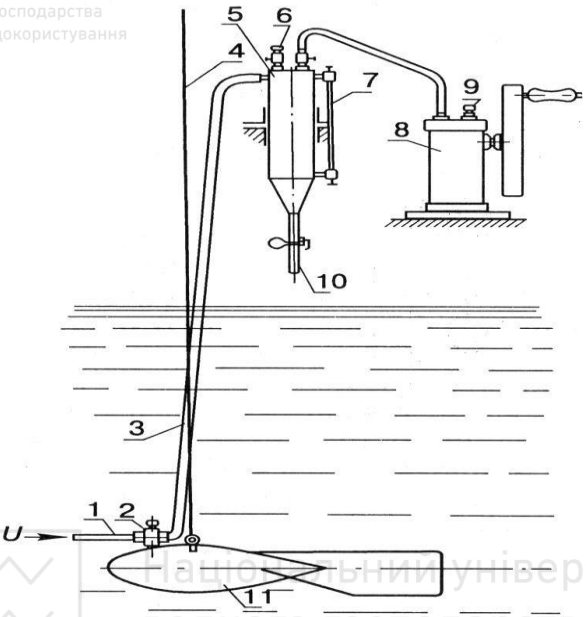


Рис. 50. Вакуумний батометр:

1 – забірний наконечник; 2 – тримач; 3 – гумовий шланг; 4 – трос; 5 – вакуумна камера; 6 – кран для випуску повітря; 7 – водомірна трубка; 8 – насос; 9 – отвір для виходу повітря; 10 – трубка для випуску води; 11 – гідрометрична вага

За допомогою батометрів проби води можна брати точковим або інтеграційним способами.

Точковий спосіб полягає в тому, що проби води беруть в окремих точках швидкісних вертикалей. Цей спосіб поділяють на детальний, двоточковий, одноточковий. В першову випадку проби води беруть в п’яти точках – біля поверхні, на 0,2h; 0,6h; 0,8h; біля дна. Двоточковий спосіб передбачає взяття проб у точках 0,2h; 0,8h, а одноточковий на глибині 0,6h.

Детальний спосіб застосовують у перші два – три роки на річках з мутністю понад 100 г/м^3.

Двоточковий спосіб використовують на великих, середніх річках при середній мутності від 50 до 100 г/м^3, а одноточковий - при такій самій мутності на малих річках.

Сумарний спосіб полягає у взятті проб води в двох точках на вертикалі (0,2h; 0,8h). І в злитті їх в одну посудину для визначення середньої мутності на вертикалі. Цей спосіб використовується при малій мутності – до 50 г/м^3.

Інтеграційний спосіб полягає в трому, що проби води беруться безперервно по всій глибині вертикалі при рівномірному переміщення батометра від поверхні потоку до дна і назад. Якщо середня мутність води в річці становить менше 50 г/ м^3, то проби, взяті інтеграційним способом на вертикалях можна об'єднати в одну сумарну пробу для всього живого перерізу.

При вимірювання витрат завислих наносів беруть такі проби води:

1) проби на мутність на швидкісних вертикалях для обчислення витрати наносів;
2) контрольні одиничні проби на мутність для встановлення залежності між мутністю одиничної проби і середньою мутністю річки;
3) проби для вмизначення крупності завислих наносів.

Кількість вимірювань витрат завислих наносів протягом року залежить від режиму річки і ступеня вивченності стоку наносів у даному створі. На рівнинних річках у перші два три роки потрібно виміряти не менше 20-25 витрат на рік, а на гірських річках протягом перших 3-5 років - по 30-40 витрат.

У наступні роки кількість вимірювань завислих наносів може бути зменшена відповідно до особливостей даного створу.

Щоденні одиничні проби води беруть на одній із постійних вертикалей на стрижневій частині річки. Величини мутності за одиничними пробами використо-вують для визначення режиму мутності води для періодів між вимірюваннями витрат. При відомій мутності витрату завислих наносів обчислюють за формулою

$$R = 0.001\rho Q \text{ кг/с}, \qquad (84)$$

Національний університет
та природокористування

де ρ - мутність щоденної одиничної проби, г/м^3; Q – витрата води, м^3/с.

Контроліні одиничні проби води на мутність беруть під час вимірювання витрат завислих наносів у тій самій точці, що й щоденні одиницні проби.

Середня мутність потоку визначається за формулою

$$\rho_{сер} = \frac{R \cdot 10^3}{Q} \text{ г/м}^3, \quad (85)$$

Для визначення крупності завислих наносів проби води беруть лише в характерні періоди гідрологічного режиму всього 4-10 проб на рік. Проби води беруть в тих же точках, що й при вимірюванні витрат наносів, але зливають їх в окремий посуд.

Обчислення витрат завислих наносів

Витрати завислих наносів можуть бути обчислені графомеханічним або аналітичним способом.

Аналітичним способом витрати визначаються за різними залежно від способу взяття проб води на мутність залежностями.

При точковому способі вимірювання витрати наносів для кожної точки розраховують значення мутності і одиничної витрати завислих наносів. Середні одиничні витрати для кожної вертикалі, в залежності від кількості точок в яких бралися проби, обчислюють за формулами

$$\alpha_{сер} = 0.1(\alpha_{пов} + 3\alpha_{0,2} + 3\alpha_{0,6} + 2\alpha_{0,8} + \alpha_{дно}); \quad (86)$$

$$\alpha_{сер} = 0{,}5(\alpha_{0,2} + \alpha_{0,8}); \quad (87)$$

$$\alpha_{сер} = \alpha_{0,6}; \quad (88)$$

$$\alpha_{сер} = 0{,}5(\alpha_{0,15} + \alpha_{0,85}) \ , \quad (89)$$

де α_i – величини одиничної витрати наносів у відповідних точках, г/(м^2·с), що визначається як добуток величини мутності води на швидкість течії

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$\alpha = \rho u \ . \tag{90}$$

Витрату завислих наносів у кг/с обчислюють за формулою

$$R = 0.001(k\alpha_1\omega_0 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\omega_1 + ... + \frac{\alpha_{n-1} + \alpha_n}{2}\omega_{n-1} + k\alpha_n\omega_n) \ , \tag{91}$$

де α_i – середні одиничні витрати на швидкісних вертикалях; ω_i – часткові площі живого перерізу; k – коефіцієнт значення якого береться таким, як і при обчисленні витрат води.

При взятті проб на мутність сумарним або інтеграційним способом витрату наносів обчислюють за формулою

$$R = 0.001(\rho_1 Q_0 + \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}Q_1 + ... + \frac{\rho_{n-1} + \rho_n}{2}Q_{n-1} + \rho_n Q_n), \tag{92}$$

де ρ_i – середня мутність води на відповідній вертикалі; Q_0 і Q_n – часткові витрати води між урізом та першою швидкісною вертикаллю та між останньою швидкісною вертикаллю та урізом водит; $Q_1, Q_2 .. Q_{n-1}$ – часткові витрати води між суміжними швидкісними вертикалями.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Якщо взяті проби були об'єднані в одну сумарну пробу, то витрату завислих наносів у кг/с обчислюють за формулою

$$R = 0.001\rho_{сер}Q, \tag{93}$$

де $\rho_{сер}$ - середня мутність проби, г/м^3; Q – витрата води, м^3/с.

Обчислення стоку завислих наносів

Основний спосіб обчислення стоку завислих наносів базується на основі даних про мутність одиничних проб води. Він дає змогу обчислювати стік наносів на основі 10-15 витрат, виміряних на протязі року. При цьому необхідні такі дані: мутність щоденних одиничних проб води $\rho_{од}$; середні мутності води в річці за даними вимірювань витрат завислих наносів; мутність контрольних одиничних проб та витрати води Q.

Визначення величини стоку ведеться в такій послідовності. Будують хронологічний графік коливання витрати води за даний рік

(гідрограф) і хронологічний графік мутності одиничних проб. На графік мутності наносять точки, які відповідають значенням середньої мутності,обчисленої за даними вимірювання витрат наносів, відкидаючи неякісні дані. Потім будують графік зв'язку середньої мутності річки $\rho_{сер}$ і мутності контрольних одиничних проб води $\rho_{од}$ (рис. 51).

Цей графік дає змогу за величинами мутності щоденних оджиничних проб визначати величину середньої мутності річки. Так можна визначити середню мутність річки за будь-який день у період між датами вимірювань витрати наносів.

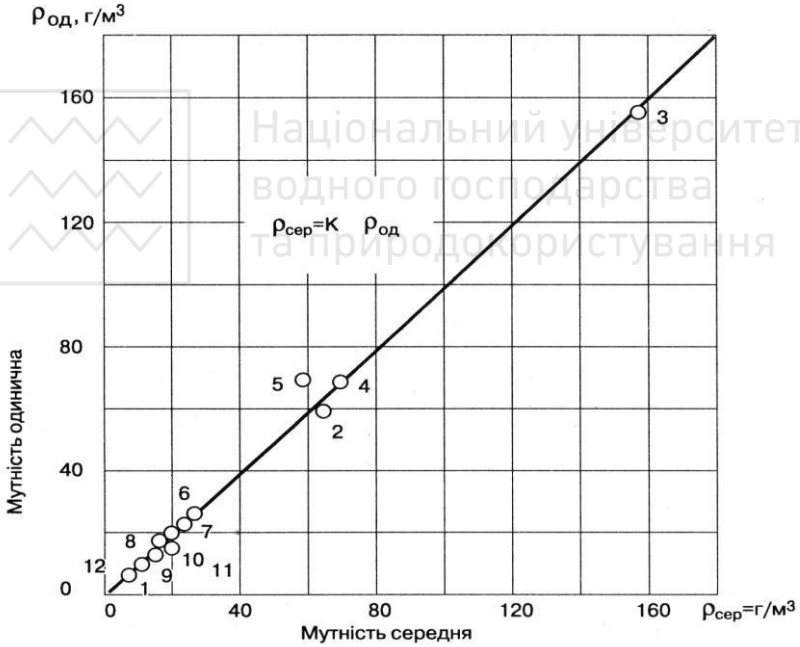


Рис. 51. Зв'язок середньої мутності річки і мутності контрольних одиничних проб

Для наступних розрахунків необхідно визначити кутовий коефіцієнт k і співвідношення координат для будь-якої точки

Національний університет водного господарства та природокористування

одержаної прямої $k = \rho_{сер} / \rho_{од}$. Визначивши значення k, можна обчислити середньодобову витрату наносів за формулою

$$R = 0.001k\rho_{од}Q \quad \text{кг/с} \tag{94}$$

Середні декадні витрати визначають за формулою

$$R_{сер.дек.} = (0.1k\sum_{1}^{10} Q\rho_{од})0{,}001 \tag{95}$$

Для обчислення стоку наносів спочатку підраховують значення стоку за всі декади, а потім підсумувавши їх, визначають стік наносів за рік. Для ви значення стоку наносів за декаду потрібно середню за декаду витрату помножити на кількість секунд в декаді.

14.2. Визначення стоку донних наносів

Величина стоку донних наносів на рівнинних річках становить до 10% загальної кількості наносів, а на гірських – до 50% і більше.

Вимірювання стоку донних наносів грунтується на визначенні їх елементарних витрат. Елементарна витрата визначається за формулою

$$q = 100P_Д / tl, \tag{96}$$

де $P_Д$ – кількість наносів у пробі, г; t – тривалість спостереження, с; l –ширина вхідного отвору батометра; q – в г/ (м с).

Прилади для взяття проб донних наносів. Для вивчення стоку донних наносів використовують батометри. Існує велика кількість донних батометрів різних конструкцій, які поділяються на батометри для вимірювання дрібних донних наносів (пісок) і батометри для крупних донних наносів (галька, гравій).

Для вимірювання крупних донних наносів використовують батометр Г.І.Шамова (рис. 52) і батометр – сітку (рис. 53). Батометр Г.І.Шамова складається із кожуха і сітчатого ящика, який встановляється в кожух. На дні ящика розміщений пісковловлювач дя наносів завбільшки до 1 см. Батометр опускають на дно на тросі з відкритою кришкою.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

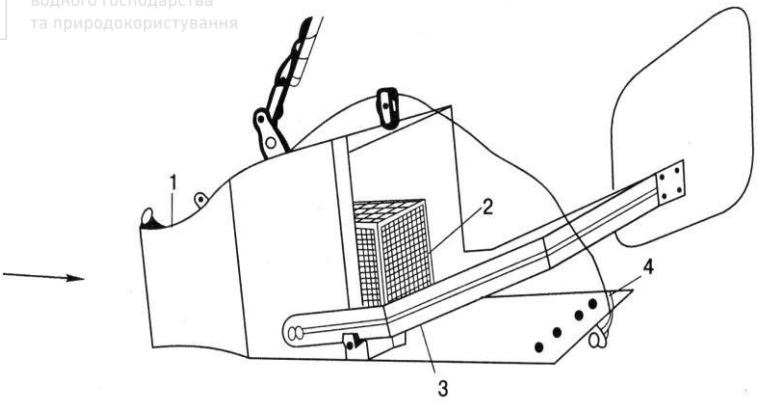


Рис. 52. Батометр Г. І. Шамова

Національний університет
водного господарства
та природокористування

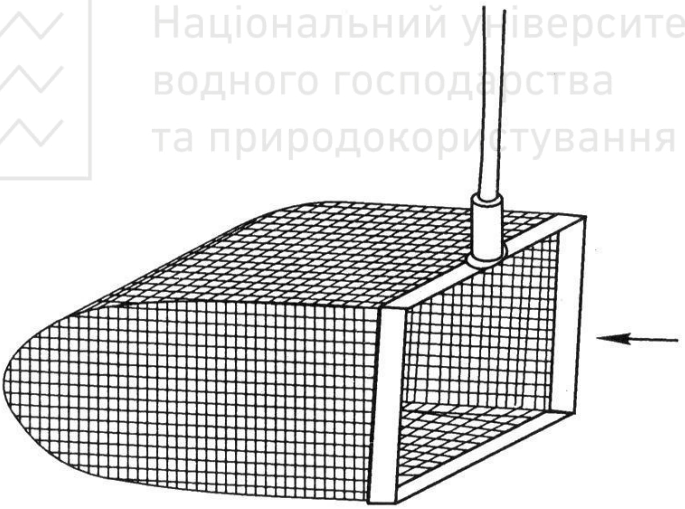


Рис. 53. Батометр-сітка

Батометр – сітку застосовують для спостереження за крупними частками. Він складається з металевої рами і натянутої на неї дрібної сітки. Батометр опускається на дно річки на штанзі.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Визначення витрат і підрахунок стоку донних наносів

Звичайно виконують не менше 10 вимірювань витрат за рік, частіше під час паводків та повеней. Витрати донниїх нганосів вимірюють одночасно з вимірюванням вират води і завислих наносів. Проби донних наносів берут ь на всіх швидкісних вертикалях гідрометричного створу. На кожній вертикаля рекомендується брати по три-п'ять проб для усереднення пульсації наносів.

При вимірюванні витрати піщанних донних наносів після того, як бат ометр підняли з води на поверхню, наноси струшують у ванночку (таз), а потім перекладають у мірний циліндр для визначення об'єму проби. Об'єм проби вимірюють через 10 – 15 хв після їхнього ущільнення; потім проби висушують на повітрі, запаковують і надсиліють в лабораторію для визначення їх маси у крупності. Якщо проби донних наносів складаються з крупних фракцій, то їх об'єм не вимірюють.

Загальну витрату наносів визначають за формулою

$$G = 0.001(\frac{q_1}{2}b_0 + \frac{q_1+q_2}{2}b_1 + ... + \frac{q_{n-1}+q_n}{2}b_{n-1} + \frac{q_n}{2}b_n), \qquad (97)$$

де q_1, q_n - елементарні витрати донних наносів на вертикалях, г/(мс), на 1 м ширини русла; b_1, b_{n-1} - відстань між вертикалями, в м; b_0 і b_n - відстань між крайніми вертикалями і урізами води, в м.

Для обчислення стоку донних наносів будують графік зв'язку між значеннями витрат води і донних наносів. Якщо залежність $G = f(Q)$ отримують досить тісною, то по центру тяжіння потоку точок проводять плавну криву. За цією кривою вираховують значення середньодобових витрат донних наносів за середньодобовими витратами води. Якщо точки на графіку зв'язку розмущені зі значним розкидом, то при наявності великої кількості виміряних витрат донних наносів, більш – менш рівномірно розподілених протягом року, витрати донних наносів визначають шляхом інтерполяції між виміряними їх значеннями.

Визначені середньодобові витрати заносять у річну таблицю, де і підраховують стік наносів за рік.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

14.3. Вивчення стоку розчинених речовин

Вивчення хімічного складу природних вод і стоку розчинених речовин має велике наукове та практичне значення. Від складу розчинених у воді речовин залежить характер використання річкових вод.

Хімічний склад вод річок та їхня мінералізація залежить від джерел живлення річок, складу ґрунтів водозбору, клімату та господарської діяльності. Вони дуже змінюються протягом року. Щоб вивчити хімічний склад річкових вод, та зміну його в часі, на водомірних постах проводять гідрохімічні дослідження.

Прилади для взяття проб води. Проби води на хімічний аналіз беруть із поверхневого шару та з глибин. Проби з поверхневого шару беруть спеціально призначеним для цього відром, яке перед взяттям проб кілька разів споліскують водою, що береться для дослідження.

Проби води з глибинних шарів беруть спеціальними батометрами, які опускають на необхідну глибину на тросі за допомогою лебідки.

Для взяття проб води на водосховищах і озерах застосовують переважно батометр міжнародного зразка та батометр І. В. Молчанова (рис. 54), який складаться з двох циліндрів, об’ємом по два літри кожний, закріплених на металевій рамі.

Для взяття проби води батометр на тросі з відкритими кришками опускають на потрібну глибину. Посильний важок приводить у дію пружинний механізм, який закриває кришки циліндрів і батометр піднімають на поверхню. Прилад застосовують для взяття проб води з глибин до 50 м. Взяті проби води посилають для аналізу в лабораторію, а для кількісного визначення безпосередньо біля водного об’єкта нестійких компонентів застосовують польові гідрохімічні елементи.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

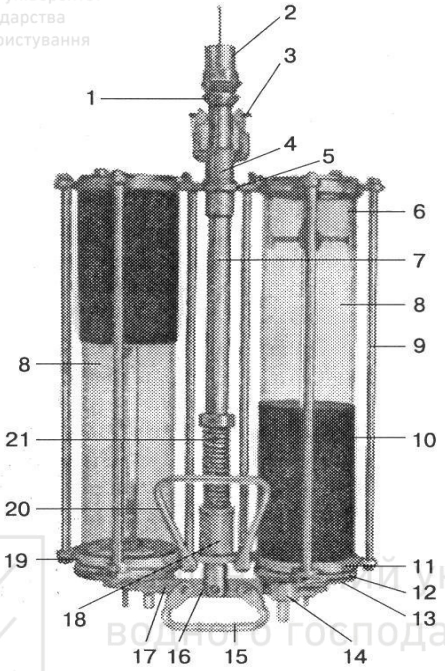


Рис. 54. Батометр І. В. Молчанова:

1 – виступ осі; 2 – головка; 3 – собачки; 4 і 18 – втулки; 5 і 11 – верхня і нижня основи рами; 6 – кронштейн термометра; 7 – центральна вісь; 8 – циліндри; 9 – стяжки; 10 і 23 – непрозорі кільця; 12 – гумові прокладки; 13 – металеві диски; 14 – крани; 15 і 20 – ручки; 16 – планка; 17 – коромисло; 19 – гумове кільце; 21 – пружина.

Обчислення витрат і стоку розчинених речовин

Маса розчинених речовин (сухого залишка) в одиниці об'єму називається мінералізацією води і обчислюється за формулою

$$\alpha = \frac{P_c \cdot 10^6}{V}, \qquad (98)$$

де α – мінералізація, г/м^3; P_c – маса сухого залишка, г.; V – об'єм проби, мл.

Національний університет
та природокористування

Витрату розчинених речовин визначають за формулою

$$\rho = \frac{\alpha Q}{10^3}, \qquad (99)$$

де ρ – витрата розчинених речовин, кг/с; α – мінералізація води, г/м^3; Q – витрата води в день взяття проби, м^3/с.

Щоденні витрати розчинених речовин визначають, використовуючи побудовані графіки зв'язку $\alpha = f(Q)$.

Результати обчислень заносять у річну таблицю щоденних витрат розчинених речовин, де додатково обчислюють середньомісячні значення витрат і середню річну витрату ρ_0 і підраховують сумарний стік розчинених речовин за рік

$$W_{p.p} = 31.54 \cdot 10^3 \rho_0, \text{ т} \qquad (100)$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3. Зміст практичних занять та розрахунково-графічної роботи

Практичні заняття

1. Вивчення режиму коливання рівнів води – 4 год;
2. Промірні роботи та методи проведення промірних робіт – 2 год;
3. Швидкості течії води. Методи вимірювання швидкостей течії води - 2 год;
4. Обчислення витрат води - 2 год;
5. Зв'язок витрат з рівнями води - 2 год;
6. Наноси. Методи вимірювання наносів. Обчислення витрат завислих наносів - 4 год.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Розрахунково-графічна робота

1. Побудова кривих повторюванності та тривалості стояння рівнів води (рис. 19 б).
2. Побудова поперечного профілю та обчислення морфометричних характеристик русла (рис. 26).
3. Обчислення витрат води при вимірюванні швидкостей гідрометричним млинком (формула 64).
4. Побудова кривих витрат води (рис. 45).
5. Обчислення витрат завислих наносів (формула 91).

4. Питання для самостійної роботи. Тестування та контроль знань

4.1. Питання для самостійної роботи

Змістовий модуль 1. Загальна гідрологія

1. Гідрологія як наука. Поділ гідрології в залежності від об'єктів та методів дослідження.
2. Водні ресурси Земної кулі та України.
3. Кругообіг води в природі. Водний баланс Земної кулі.
4. Річкові системи. Їхні характеристики.
5. Будова річкового русла. Русло в плані.
6. Річковий басейн. Водний баланс річкового басейну.
7. Поняття про режим вод суші. Одиниці вимірювання стоку.
8. Живлення річок.
9. Фази річкового стоку.
10. Фактори річкового стоку.
11. Зимовий режим річок.
12. Поняття про твердий стік та руслові процеси.
13. Формування річкових наносів.
14. Механізм переміщення річкових наносів.
15. Режим стоку наносів.
16. Селеві потоки.
17. Дефоромація русла. Руслові процеси.
18. Озера, типи озер.
19. Морфометричні характеристики озер.

Національний університет
20. Водний баланс озер.
21. Термічний та льодовий режим озер.
22. Біологічні процеси, що протікають в озерах.
23. Болота. Причини утворення боліт та болотних масивів.
24. Класифікація боліт.
25. Гідрологічна роль боліт.

Змістовий модуль 2. Гідрометрія

1. Гідрологічна мережа. Гідрологічні станції та пости.
2. Об'єм спостережень на гідрологічних постах.
3. Рівні води. Типи водомірних постів.
4. Система відміток на водомірних постах.
5. Первинна обробка даних водомірних спостережень.
6. Спеціальна обробка водомірних спостережень.
7. Промірні роботи. Задачі промірних робіт.
8. Прилади, що використовуються при промірних роботах.
9. Методи проведення промірних робіт.
10. Побудова поперечних профілів та обчислення морфометричних характеристик русла.
11. Побудова повздовжніх профілів. Визначення середніх та середньозважених похилів дна русла.
12. Побудова плану ділянки річки та водойми в ізобатах та горизонталях.
13. Характер розподілу швидкостей в потоці.
14. Методи вимірювання швидкостей течії води.
15. Гідрометричні поплавки.
16. Гідрометричні трубки.
17. Гідрометричні млинки. Типи та будова гідрометричнимх млинків.
18. Теорія гідрометричного млинка. Тарування гідрометричних млинків.
19. Методи вимірювання швидкостей гідрометричними мли нками.
20. Обчислення витрат води.
21. Побудова кривих витрат води.
22. Поняття про твердий стік.
23. Методи вимірювання наносів.
24. Обчислення витрат завислих наносів.

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

4.2. Тести для контролю знань

Наведені нище тести використовуються для поточного контролю знань. На кожне запитання дано три варіанти відповідей. Необхідно вказати вірний варіант.

Для підсумкового контролю використовуються окремі завдання, що складаються із трьох запитань з розділу „Загальна гідрологія” (сторінка 127-128).

Тест 1

Водні ресурси – це:

а) кількість річок, що знахзодяться на одній території;

б) запаси поверхневих та підземних вод даної території;

в) об’єм води необхідний для задоволення потреб водоспоживачів даної території.

Тест 2

Завданням загальної гідрології є:

а) вивчення і описання конкретних водних об’єктів;

б) визначення морфометричних характеристик;

в) вивчення фізичної суті гідрологічних явищ.

Тест 3

Водний баланс – це:

а) співвідношення за якийсь період між припливом та споживанням води;

б) співвідношення за певний проміжок часу припливу, витрати та акукмуляції води;

в) співвідношення між припливом води за багатоводний та маловодний періоди.

Тест 4

Водозбір річки – це:

а) головна річка разом з її притоками;

Національний університет водного господарства та природокористування

б) частина території, з якої дана річка отримує поверхневе живлення;

в) верхня ланка гідрографічної мережі .

Тест 5

Згідно водного Кодексу України розмір річки залежить:

а) від її довжини;

б) від площі водозбору;

в) від кількості приток.

Тест 6

Фази річкового стоку – це:

а) видолина, улоговина, суходіл, долина;

б) повінь, паводок, межень;

в) зональна, азональні, антропогенні.

Національний університет водного господарства та природокористування

Тест 7

Похил дна річки виражається:

а) в процентах;

б) в безрозмірних одиницях, або промілле;

в) в метрах або сантиметрах.

Тест 8

Гідрограф стоку – це:

а) графік наростання площі водозбору по довжині річки;

б) графік зміни стоку в часі;

в) графік зміни швидкості по глибині потоку.

Тест 9

Базис ерозії річки залежить від:

а) грунтів, що складають русло;

б) відміток рівня води водоприймача;

Національний університет водного господарства та природокористування

в) довжини річки.

Тест 10

Гідравлічна крупність наносів характеризується:

а) видом наносів;

б) швидкістю рівномірного випадання часток в стоячій воді;

в) фізико-географічними умовами басейну.

Тест 11

Ставками називають штучні водосховища об'ємом меншим:

а) 5 млн. $м^3$;

б) 1 млн. $м^3$;

в) 3 млн. $м^3$.

Тест 12

Національний університет водного господарства та природокористування

Карстові озера утворились в результаті:

а) діяльності льодовика;

б) механічної дії льодовика та морозного вивітрювання;

в) хімічної діяльності поверхневих і підземних вод.

Тест 13

Дно чаші озера нижче берегової обмілини називають:

а) літораль;

б) профундаль;

в) субліторaль.

Тест 14

До заболочених земель відносять перезволожені ділянки суші, де шар торфу не перевищує:

а) 50 см;

б) 30 см;

в) 10 см.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тест 15

На верхових болотах переважає:

а) підземне живлення;

б) дощове живлення;

в) поверхневими водами.

Тест 16

Вологоємність торфу складає:

а) 200 ÷ 350 кг/м^3;

б) 750 ÷ 900 кг/м^3;

в) 500 ÷ 650 кг/м^3.

Тест 17

Лінії рівних глибин – це:

а) ізотахи;
б) ізохрони;
в) ізобати.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тест 18

Лінії рівних швидкостей – це:
а) ізотахи;
б) ізохрони;
в) ізобати.

Тест 19

Рівнем води називається:

а) відстань від поверхні води до дна;

б) висота поверхні води над нулем графіка водомірного поста;

в) відмітка поверхні води.

Тест 20

Нуль графіка водомірного поста - це:

а) відмітка, що відповідає найнижчому рівню води;

б) відмітка умовної площини порівняння;

Національний університет
та природокористування

в) відмітка дна русла.

Тест 21

Кривою витрат води називається:

а) графік зміни витрат в часі;

б) графік залежності витрат від рівнів води;

в) графік залежності витрат від швидкості течії.

Тест 22

Водомірний пост обладнується:

а) одним репером;

б) двома реперами;

в) трьома реперами.

Тест 23

Національний університет
водного господарства
та природокористування

На пальовому водомірному посту встановлюється:

а) дві палі;

б) п’ять палей;

в) необхідна кількість палей в залежності від конфігнурації дна русла річки або водойми.

Тест 24

Витратою води називається:

а) кількість води, що протікає через поперечний переріз річки за деякий проміжок часу;

б) кількість води, що стікає з одиниці площі водозбору за одиницю часу;

в) кількість води, що протікає через поперечний переріз річки за одиницю часу.

Тест 25

Об’єм стоку – це:

а) кількість води, що протікає через поперечний переріз річки за одиницю часу;

б) кількість води, що стікає з одиниці площі водозбору за одиницю часу;

в) кількість води, що протікає через поперечний переріз річки за деякий проміжок часу.

Тест 26

Шар стоку характеризує:

а) кількість води, що стікає з одиниці площі вордозбора за одиницю часу;

б) висоту шару води, яку можна отримати, якщо об'єм стоку рівномірно розподілити по всій площі водозбору;

в) кількість води, що протікає через поперечний переріз річки за деякий проміжок часу.

Національний університет водного господарства та природокористування

4.3. Розподіл балів, що присвоюються студентам

Для діагностики знань використовується модульно-рейтингова система за 100-бальною шкалою оцінювання. Розподіл балів наведений в таблиці 9.

Таблиця 9

Розподіл балів, що присвоюються студентам

Модуль 1: поточне тестування														РГР	Підсумковий модуль	Разом
Змістовий модуль 1								Змістовий модуль 2								
20								26								
Т. 1	Т. 2	Т. 3	Т. 4	Т. 5	Т. 6	Т. 7	Т. 8	Т. 9	Т. 10	Т. 11	Т. 12	Т. 13	Т. 14	14	40	100
2	4	4	2	2	2	2	2	6	2	4	6	4	4			

Т1, Т2,….Т 14 – теми змістових модулів

Національний університет водного господарства та природокористування

Шкала оцінювання в КМСОНП та ECTS

90 — 100 балів — „відмінно” (A);

82 – 89 балів — „дуже добре” (B);

74 – 81 бал – “добре” (C);

64 – 73 бали — „задовільно” (D);

60 – 63 бали – “достатньо” (E);

35 — 59 балів „незадовільно” з можливістю повторного складання екзамену (FX);

1 — 34 балів — „незадовільно” зобов’язковим повторним курсом (F).

Рекомендована література для самостійної роботи

1. Быков В.Д., Васильєв А.В. Гидрометрия. Л.; Гидрометеоиздат, 1977. -448 с.
2. Літовченко О.Ф. Інженерна гідрпологія та регулювання стоку. К., Вища школа, 1999.-360 с.
3. Сливка П.Д., Новосад Я.О., Будз О.П. Гідрологія та регулювання стоку. Рівне; Видавництво УДУВГП, 2003. -286 с.
4. Яцик А.В. Водогосподарська екологія: у 4 т., 7 кн. — К.: Генеза, 2003. — Т.1, кн. 1-2. — 400 с.

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет водного господарства та природокористування

Предметний показчик

Азональні фактори 31
Акумуляція наносів 39
Аналітичний спосіб визначення витрат води 99
Антропогенні фактори стоку 31
Асиметричність басейну річки 21
Безрозмірні характеристики стоку 26
Безстічні озера 49
Батометр:
- вакуумний 116
- І.В. Молчанова 125
- пляшка 115
- сітка 122
- тахіметр 92
- Г.І. Шамова 122
Болото 53
Велика вісь озера 49
Великий кругообіг води в природі 14
Великі річки 13
Верхові болота 55
Весняний льодохід 38
Видолина 17
Визначення витрат води:
- за площею живого перерізу і середньою швидкістю потоку 105
- способом змішування 106
Випаровування 16
Витік річки 18
Витрата води 26
Витрата завислих наносів 119
Внутрішньоводний лід 37
Водний баланс:
- земної кулі 14
- озера 49, 50
- річкового басейну 33
Водний кадастр 60
Водні ресурси 12
Вододіл 19
Гирло річки 18
Гідравлічна крупність наносів 40
Гідравлічний радіус 23
Гідрограф 28
Гідрографічна мережа 17
Гідрографія 10
Гідрологічна станція 50
Гідрологічний пост 60
Гідрологічний режим 25
Гідрологія як наука 10
Гідрометричні поплавки:
- глибинні 86
- поверхневі 85
- поплавки-інтегратори 86
Гідрометричні млинки 87
Гідрометричні трубки 90
Гідрометричний створ 96
Гідрометрія 61
Годограф 82
Гомотермія 51
Графо-механічний метод 101
Густота річкової мережі 18
Дельта річки 17
Дефляційні озера 48
Деформація русла 44
Дистанційний водомірний пост 67
Довжина річки 18
Долина річки 17

Національний університет водного господарства та природокористування

Евтрофна рослинність 55
Екстраполяція кривої витрат води 111
Ерозія 39
Естуарій 18
Живий переріз русла 23
Живлення річок 27
Забереги 36
Заболочені землі 53
Зажор 37
Заплава 22
Затор 37, 38
Звивистість річки 19
Змочений периметр русла 23
Зональні фактори стоку 31
Ізобати 80, 81
Інфільтрація 31, 32
Класифікація боліт 55
Кліматичні фактори стоку 31
Корінне русло 31
Криві витрат води 108
Кругообіг води у природі 14
Лимани 18
Літораль 48
Малий кругообіг води в природі 14
Малі річки 13
Меженне русло 21
Межень 28
Мезотрофна рослинність 57, 58
Мезотрофні болота 57, 58
Миттєва швидкість 82
Місцева швидкість 82
Мішані водомірні пости 65
Модель витрати 93
Модуль стоку 26
Модульний коефіцієнт 26
Морфометричні характеристики:
- річкового басейну 19
- русла 23
Мутність води 42
Низинні болота 55
Об'єм стоку 26
Обробка водомірних спостережень 69
Озерна чаша 48
Озеро 46
Оліготрофна рослинність 55
Оліготрофне болото 55
Паводок 28
Пальові водомірні пости 64
Передавальні водомірні пости 64
Перекат 22
Перехідне болото 55
Планктон 52
Плесо 23
Площа водозбору 19
Площа дзеркала озера 48
Повінь 28
Повна вологоємність торфу 58
Поздовжній профіль річки 24,25
Поперечний переріз русла 23
Похил русла 24
Притоки 17
Промірні роботи 73
Прості водомірні пости 63
Проточні озера 49
Профундаль 48
Пряма термічна стратифікація 51
Режим:
- вод суші 25
- стоку наносів 42
Рівень води 61
Рівні характерні:

Національний університет водного господарства та природокористування

- модальний 72
- медіанний 72
- верхній квадрильянний 72
- нижній квадрильянний 72
Річкова система 17
Річковий басейн 19
Русло річки 21
Руслові процеси 44
Сало 76
Самописні водомірні пости 67
Сапропель 53
Селеві потоки 43
Середня:
- висота басейну річки 21
- глибина річки 24
- глибина озера 49
- ширина басейну 20
Спеціальна обробка рівнів 70
Способи проведення промірних робіт 76
Ставок 46
Стік:
- донних наносів 121
- завислих наносів 114
- розчинених речовин 124
Струкутра річкового русла 21
Субліторальний 48
Суходіл 17
Тарування гідрометричних млинків 89
Твердий стік 39
Термічний режим річок 35
Типи водомірних постів 62
Типи озер 47
Узбережжя 48
Фази річкового стоку 28
Фактори річкового стоку 30
Фарватер 22
Шар стоку 26
Ширина:
- озера 48
- річки 24
Шуга 37
Шугохід 37

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Зміст

Передмова 3
1. Програма навчальноъ дисциплыни «Інженерна гідрологія» 3
1.2. Тематичний план та розподіл навчального часу 6
1.3. Програмний матеріал блоків змістових модулів 8
2. Конспект лекцій та методичні рекомендації до вивчення окремих модулів та тем дисципліни 10
Змістовий модуль 1. Загальна гідрологія
Тема 1. Основні положення 10
1.1. Гідрологія як наука. Завдання гідрології у вирішенні водогосподарських проблем 10
1.2. Водні ресурси Земної кулі та України 12
1.3. Кругообуг води в природі. Водний баланс Земної кулі та України 14
Тема 2. Річкові системи та річкові басейни, їхні морфометричні характеристики 17
2.1. Гідрографічна мережа. Річкові системи 17
2.2. Річковий басейн. Морфометричні характеристики басейну 19
2.3. Структура річкового русла. Русло в плані 21
Тема 3. Режим стоку річок 25
3.1. Поняття про режим вод суші. Одиниці вимірювання стоку 25
3.2. Поняття про живлення річок 27
3.3. Фази річкового стоку 28
3.4. Фактори річкового стоку 30
3.5. Водний баланс річкового басейну 33
Тема 4. Термічний та льодовий режим річок 35
Тема 5. Твердий стік 39
5.1. Формування річкових наносів 39
5.2. Механізм переміщення наносів 40
5.3. Режим стоку наносів 42
5.4. Стік розчинених речовин 43
5.5. Селеві потоки 43
5.6. Деформація русла. Руслові процеси 44
Тема 6. Озера та водосховища 46
6.1. Загальні відомості про озера та водосховища 46
6.2. Типи озер 47

6.3. Морфометричні характеристики озер 48
6.4. Водний баланс озер та їхній вплив на режим річкового стоку 49
6.5. Термічний та льодовий режим озер 51
6.6. Біологічні процеси, що протікають в озерах 52
Тема 7. Болота 53
7.1. Причини утворення боліт та болотних масивів 53
7.2. Класифікація боліт 55
7.3. Характерні стадії розвитку болотних масивів 57
7.4. Гідрологічна роль боліт 58
Тема 8. Гідрологічна мережа. Водний кадастр 59
8.1. Організація гідрологічної мережі 59
8.2. Водний кадастр, його видання 60
Змістовий модуль 2. Гідрометрія 61
Тема 9. Вивчення режиму коливання рівнів води 61
9.1. Типи водомірних постів 62
9.2. Обсяг робіт і строки спостережень на водомірному посту 69
9.3. Обробка водомірних спостережень 69
Тема 10. Промірні роботи 73
10.1. Прилади, що використовуються при промірних роботах 74
10.2. Способи проведення промірних робіт 76
10.3. Обробка матеріалів промірних робіт 78
Тема 11. Швидкості течії води 82
11.1. Поняття про миттєву та місцеву швидкості 82
11.2. Характер розподілу швидкостей в потоці 82
11.3. Методи вимірювання швидкостей течії води 84
11.4. Вимірювання швидкостей течії гідрометричними поплавками 85
11.5. Гідрометричні млинки 87
11.6. Гідрометричні трубки 90
11.7. Батометри-тахиметри 92
Тема 12. Витрати води 93
12.1. Метод „швидкість-площа”. Модель витрати 93
12.2. Вибір ділянки річки для вимірювання витрат води і визначення напрямку гідрометричного створу 96
12.3. Вимірювання швидкостей гідрометричними млинками 98

Національний університет
водного господарства
та природокористування

12.4. Вимірювання витрат води поверхневими поплавками 99
12.5. Обчислення витрат води, виміряних гідрометричним млинком 99
12.6. Визначення витрат води, при вимірюванні швидкостей поверхневими поплавками 102
12.7. Визначення витрат води за площею живого перерізу і середньою швидкістю потоку 105
12.8. Визначення витрат води способом змішування 106
Тема 13. Криві витрат води 108
13.1. Побудова кривої витрат води при однозначній залежності між витратою і рівнем води 109
13.2. Екстраполяція кривої витрат води 111
Тема 14. Витрати наносів 114
14.1. Визначення стоку завислих наносів 114
14.2. Визначення стоку донних наносів 121
14.3. Вивчення стоку розчинених речовин 126
3. Зміст практичних занять та розрахунково-графічної роботи 126
4. Питання для самостійної роботи. Тестування та контроль знань 127
4.1. Питання для самостійної роботи 127
4.2. Тести для контролю знань 129
4.3. Розподіл болів, що присвоюються студентам 134
Рекомендована література для самостійної роботи 135
Предметний покажчик 136

Національний університет
водного господарства
та природокористування