

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

**Затверджено**  
на засіданні методичної ради університету  
протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2003 р.  
голова методичної ради \_\_\_\_\_ Гопченко Є.Д.

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**  
до практичних занять з дисципліни гідрохімія України  
для студентів V курсу очної та VI курсу заочної форм навчання  
гідрологічного факультету  
Напрямок підготовки „Гідрометеорологія”  
Спеціальність „Гідрологія та гідрохімія”

**Затверджено**  
на засіданні методичної комісії  
гідрометеорологічного інституту  
протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2003 р.  
голова метод.комісії \_\_\_\_\_ Єхніч М.П.

**Затверджено**  
на засіданні кафедри  
гідрології суші  
протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2003 р.  
зав.кафедри \_\_\_\_\_ Гопченко Є.Д.

**Одеса – 2003**  
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

**до практичних занять з дисципліни „Гідрохімія України”**  
**для студентів V курсу очної та VI курсу заочної форм навчання**  
**гідрологічного факультету**

**Напрямок підготовки „Гідрометеорологія”**  
**Спеціальність „Гідрологія та гідрохімія”**

**Затверджено**  
**на засіданні методичної ради**  
**університету**  
**протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2003 р.**

**Одеса – 2003**  
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

**до практичних занять з дисципліни**  
**„ГІДРОХІМІЯ УКРАЇНИ”**

Одеса - 2003

Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни “Гідрохімія України” для студентів V курсу очної та VI курсу заочної форм навчання гідрологічного факультету за спеціальністю “Гідрологія та гідрохімія” /Укладачі: Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. – Одеса, ОДЕКУ, 2003, 34 с., укр.мова.

## ЗМІСТ

Загальні властивості води.....	4
Практичне завдання №1 .....	4
1 Концентрація розчинів і способи її вираження. Формула Курлова.....	4
1.1 Способи вираження концентрації розчинів .....	4
1.2 Приклади розрахунку концентрацій.....	6
1.3 Формула Курлова – як відображувач хімічного складу води..	7
1.4 Приклад складання формули Курлова.....	7
Література до завдання №1 .....	9
Практичне завдання №2.....	10
2 Розрахунок розбавлення стічних вод у річках, озерах водосховищах	10
2.1 Поняття про самоочищення природних вод.....	10
2.2 Визначення зони забруднення і зони впливу забруднюючих речовин.....	11
2.3 Визначення зони забруднення і зони впливу забруднюючих речовин.....	11
2.4 Типи водних об'єктів за умовами розбавлення у них стічних вод.....	12
2.5 Вибір методу розрахунку розбавлення для річок і водойм при різних способах скидання стічних вод.....	13
2.6 Теоретичні основи методики розрахунку розбавлення забруднень у річках і водоймах.....	14
2.7 Практичні способи розрахунку розбавлення стічних вод у річках.....	15
2.7.1 Експрес-метод розрахунку розбавлення стічних вод.....	15
2.7.2 Визначення створу достатнього перемішування за методом Фролова-Родзиллера.....	17
2.7.3 Наближений метод розрахунку розпластування хмари забруднення в річковому потоці.....	20
Література до завдання №2.....	22
Додатки.....	23

## Загальні властивості води

Вода - одне із самих надзвичайних з'єднань на Землі. Вода (H<sub>2</sub>O) – найпростіша хімічна сполука водню з киснем (11,2% водню й 88,1% кисню за масою).

Чиста вода є головною складовою гідросфери Землі і має якості рідини без запаху, смаку та кольору (лише в шарі понад 2 м має блакитний відтінок).

Температура плавлення води становить 0°C, а температура кипіння - 100°C. Найбільшу густину вода має при 4°C (маса 1см<sup>3</sup> води – 1г), при 0°C густина льоду – 916,8 кг/м<sup>3</sup>, густина води – 999,97 кг/м<sup>3</sup>. Тиск водяної пари при 0°C дорівнює 610,38 Па, а при 100°C – 1013,08 ГПа. Питома теплота плавлення льоду становить 332,43·10<sup>3</sup> Дж/кг. Питома електропровідність чистої води низька – 4,41·10<sup>-6</sup> Ом/м (при 18°C). Молекулярна маса води дорівнює 18 [3].

Вода аномальна по своїх властивостях і має високу щодо розрахункової температуру плавлення льоду і кипіння, розширення при замерзанні, сильні розчинюючі властивості, високу діелектричну проникність, високу питому теплість випару і плавлення, високий поверхневий натяг, високу термічну усталеність та інш.

## Практичне завдання №1

### 1. Концентрація розчинів і способи її вираження.

#### Формула Курлова

**Мета роботи:** Одержати практичні навички вираження концентрації розчинів. Скласти формулу Курлова для відображення хімічного складу поверхневих природних вод. Узагальнити та дати характеристику зміни хімічного складу поверхневих вод по території України.

#### 1.1 Способи вираження концентрації розчинів

У сучасній гідрохімічній практиці [2,3] склад природних вод може характеризуватися мінералізацією води. **Мінералізація** означає загальну кількість всіх знайдених у воді під час аналізу мінеральних речовин, яка виражається або загальною мінералізацією, або сухим залишком, або густиною. Також використовуються терміни „сума іонів  $\sum_i$ ” чи „сума мінеральних речовин”, тобто арифметична сума кількостей всіх іонів, у тому числі іноді й недисоційованих неорганічних речовин, у мг/л чи г/л, концентрація яких більш 0.1 мг/л.

Для характеристики мінералізації морської або океанічної води користуються терміном „солоність”.

**Солоність** – це сумарний вміст у грамах всіх твердих мінеральних розчинених речовин, які містяться в 1 кг морської води за умови, що бром та йод заміщені еквівалентною кількістю хлору, всі вуглекислі солі переведені в оксиди, всі тверді речовини висушені, а органічні речовини спалені при температурі 480 °С.

У практиці результати аналізу проб води виражають різними способами:

- 1) головні іони при загальній мінералізації води більш ніж 1 г/л (г/дм<sup>3</sup>) – виражаються в проміле ‰ (чи г/кг), менш ніж 1 г/л – в мг/л (мг/дм<sup>3</sup>);
- 2) розчинені гази (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> та інш.) – кількістю міліграмів, розчинених в 1 л води (мг/л, мг/дм<sup>3</sup>), в океанології – (мл/л, мл/дм<sup>3</sup>);
- 3) біогенні елементи (сполуки азоту, фосфору, кремнію) – кількісно в мг/л (мг/дм<sup>3</sup>) чи в мікрограмах на 1 л води – мкг/л (мкг/дм<sup>3</sup>);
- 4) мікроелементи – в мг/л, мг/дм<sup>3</sup> або мкг/л чи мкг/дм<sup>3</sup>.

Для позначення концентрації розчинів використовують такі способи:

- 1) **Масова концентрація** – відношення маси деякого компонента в розчині до загального об'єму розчину. Виражається в г/л (г/дм<sup>3</sup>), мг/л (мг/дм<sup>3</sup>), мг/мл.
- 2) **Молярна концентрація** чи молярність c(x) – відношення кількості речовини n(x) в молях у розчині до загального об'єму V розчину, тобто

$$c(x) = n(x) / V. \quad (1.1)$$

Виражається в моль/м<sup>3</sup>, моль/л, моль/дм<sup>3</sup>. Наприклад, c(HCl)=0,1 моль/л, c(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)=0,2 моль/л.

**Молярна концентрація** чи молярність b(x) – відношення кількості речовини n(x) в молях у розчині до маси розчинника m:

$$b(x) = n(x) / m. \quad (1.2)$$

Виражається в моль/кг, наприклад, (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O)=0,1 моль/кг.

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

$$c\left(\frac{1}{z}x\right) = m / \left[ M\left(\frac{1}{z}x\right) V \right], \quad (1.3)$$

звідки

$$c\left(\frac{1}{z}x\right) = zc(x), \quad (1.4)$$

де  $z$  – число чи фактор еквівалентності;

$1/z$  – частина часточки.

При  $z = 1$  еквівалент ідентичний самій часточці.

Одиницею молярної концентрації еквівалента є моль/м<sup>3</sup>, моль/л чи моль/дм<sup>3</sup>, наприклад  $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0,1$  моль/л,  $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 0,1$  моль/л.

У формулі (1.3) молярна маса еквіваленту  $M\left(\frac{1}{z}x\right)$  – є відношення молярної маси речовини  $M(x)$ , яка складається з частинок  $x$ , до числа еквівалентності  $z$

$$M\left(\frac{1}{z}x\right) = M(x)/z. \quad (1.5)$$

Одиницею виміру є кг/моль чи г/моль. Молярна маса еквівалента чисельно дорівнює грам-еквіваленту (г-екв).

Молярні маси елементів в г/моль наведені в додатку А. Під молем розуміють кількість речовини, маса якої виражена в грамах, чисельно дорівнює її молекулярній масі, вираженій в атомних одиницях маси (а.о.м.).

## 1.2 Приклади розрахунку концентрацій

### Приклад 1

**Завдання:** Обчислити молярну концентрацію розчину 5,85 г NaCl в 1 л води.

**Розв'язання:** За формулою (1.1) обчислюємо молярну концентрацію кам'яної солі

$$c(\text{NaCl}) = \frac{5,85}{58,5(\text{г/моль})1\text{л}} = 0,1 \text{ моль/л (моль/дм}^3\text{)}.$$

### Приклад 2

**Завдання:** Обчислити концентрацію розчину 15,8 г KMnO<sub>4</sub> в 1 л води, який використовується для окисно-відновного титрування.



**Розв'язання:** Використовуючи формулу (1.3) маємо:

$$c\left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4\right) = \frac{15,8}{\frac{1}{5} 158 (\text{г / моль}) 1 \text{ л}} = 0,02 \text{ моль / л (моль / дм}^3\text{)}.$$

### 1.3 Формула Курлова – як відображувач хімічного складу води

Формулу Курлова запропоновано для наочного зображення даних про хімічний склад природних вод.

Формула виражена у вигляді псевдодробу, у чисельнику якого зліва направо записують аніони у порядку зменшення їх кількості (в %) речовини, в знаменнику – таким же чином записуються катіони. Значення у відсотках щодо катіонів і аніонів округляються до цілих чисел. Зліва від дробу дається загальна мінералізація води. Поряд указують вміст газів і мікроелементів. Справа від дробу надається температура і дебіт води:

$$\text{рМ} \frac{\text{аніони(100\%)}}{\text{катіони(100\%)}} \text{Т, Д,} \quad (1.6)$$

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

М – мінералізація води, г/л;

Т – температура води, °С;

Д – дебіт (для свердловин та джерел), л/с чи м<sup>3</sup>/добу.

У формулі Курлова головні іони записують, починаючи з 20% для мінеральних вод, з 25% - для прісних вод.

### Запитання для самоперевірки

1. Як характеризують на практиці хімічний склад природних вод? Дайте визначення.
2. Способи вираження аналізу проб води.
3. Способи вираження концентрації розчинів.
4. Дайте визначення молярної маси і молярної концентрації еквівалента.
5. Структура формули Курлова.

### 1.4 Приклад складання формули Курлова

**Завдання:** За даними проб води у річках України [1] в період весняного водопілля (додаток Б) і в період літньо-осінньої межени (додаток

В) визначити хімічний склад річкової води шляхом складання формули Курлова. Нанести на карту України результати хімічного складу вод – головні іони і мінералізацію, виконати узагальнення зміни хімічного складу води по території України у різні періоди водності річок.

**Розв'язання:** Складання формули Курлова за даними аналізу проб води ведемо на прикладі р. Дніпро-м. Канів, наведених у табл. 1.1 (графіа 2).

Для переходу від масової до молярної концентрації еквівалентів слід числове значення маси поділити на числове значення молярної маси еквівалента за формулою (1.3), як показано у графі 3.

Наприклад, для  $\text{SO}_4^{2-}$  молярна концентрація еквіваленту

$$c(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{18,4}{48(\text{г/моль})1 \text{ л}} = 0,38 \text{ ммоль/л}, \quad (1.7)$$

де молярна маса еквіваленту

$$M(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{M(\text{SO}_4^{2-})}{2} = \frac{32,06 + 16 \cdot 4}{2} = 48 \text{ г/моль}. \quad (1.8)$$

Молярна маса ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) дорівнює 25 г/моль для прісних вод та 24 г/моль – для мінералізованих вод.

Для визначення відносного вмісту кількості речовини еквівалентів (КРЕ) від загальної суми іонів у воді використовують вираз:

$$\text{КРЕ}_a = i \cdot 100 / \sum a; \quad \text{КРЕ}_k = i \cdot 100 / \sum k; \quad (1.9)$$

де  $i$  – вміст іона у ммоль/л;

$\sum a$  і  $\sum k$  – суми аніонів і катіонів беруться за 100%.

Розрахунок КРЕ наведено у табл. 1.1 (графіа 4). Таким чином, хімічний склад води за даними проб на р. Дніпро у м. Канів виражений формулою Курлова має вигляд:

$$M_{0,26} \frac{\text{HCO}_3 \text{ 72 } \text{Cl}17 \text{ SO}_4 \text{ 11}}{\text{Ca} \text{ 56 } \text{Mg} \text{ 28 } (\text{Na} + \text{K}) \text{ 16}}. \quad (1.10)$$

Тобто за головними іонами вода гідрокарбонатна кальцієво-магнієва з мінералізацією 0.26 г/л (260 мг/л).

Таблиця 1.1 – Приклад опису даних щодо хімічного складу води річок в еквівалентній формі

Іони	Вміст, мг/л	Кількість речовини еквівалента	
		ммоль/л	%-екв.
1	2	3	4
Аніони			
Cl <sup>-</sup>	22,1	0,62	17
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18,4	0,38	11
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	156	2,56	72
Σа	196	3,56	100
Катіони			
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	13,6	0,55	16
Mg <sup>2+</sup>	12,3	1,01	28
Ca <sup>2+</sup>	40,2	2,0	56
Σк	78,9	3,56	100
Σіонів	263		

Подібним чином визначається хімічний склад води в інших річках України. На карті (додаток Г) відзначаються головні іони і її мінералізація відповідно створів річок, де здійснений забір проб води і дається характеристика зміни хімічного складу води у різних річках нашої країни.

### Література до завдання №1

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

## **Практичне завдання №2.**

### **2. Розрахунок розбавлення стічних вод у річках, озерах і водосховищах**

**Мета роботи:** Вивчити основні поняття і визначення, що характеризують стан водного об'єкту при його забрудненні стічними водами, одержати теоретичні знання і практичні навички при розрахунку розбавлення промислових і інших вод у річках, озерах і водосховищах, використовуючи різні методи розрахунку.

#### **Основні положення.**

Одним з важливих факторів, що визначають інтенсивність самоочищення природних вод є змішання стічних вод з водою річки чи водойми. У певних умовах змішання може цілком визначити самоочищення.

Для кількісної оцінки процесу розбавлення стічних вод в природних водах розроблені методи розрахунку [2,3,4], багато з яких отримані на основі великого вихідного матеріалу польових і лабораторних досліджень. Ці методи можуть бути використані при проектуванні скидань стічних вод у річки і водойми, при оцінці і контролі санітарно-гігієнічного стану поверхневих вод.

#### **2.1 Поняття про самоочищення природних вод**

Природні водні потоки і водойми, у які відбувається скидання стічних вод, мають турбулентний режим течії, тому домішки, що потрапили в річковий потік у деякій його частині, захоплюються течією і під впливом турбулентного перемішування поширюються в суміжні струмені потоку. При цьому відбувається процес розбавлення домішок, і на більш-менш значній відстані від місця забруднення концентрація шкідливих речовин поступово знижується і за певних умов може стати практично непомітною.

Процес турбулентної дифузії супроводжується і фізико-хімічними процесами знешкодження, які можуть бути пов'язані з кінематичними умовами потоку. Розбавлення домішок супроводжується окисненням при споживанні кисню з води. Поповнення його запасу відбувається через вільну поверхню за рахунок аерації, а також завдяки діяльності водоростей. Турбулентний перенос кисню відбувається з менш забруднених об'ємів води в більш забруднені, де він витрачається на окиснення.

Процеси розбавлення, аерації, біохімічні і фізичні процеси сприяють очищенню водних потоків від забруднення чи їхньому самоочищенню.

Таким чином, самоочищення водних мас – це сукупність гідродинамічних, біохімічних, хімічних і фізичних процесів, які призводять до зниження у воді концентрації шкідливих домішок (забруднюючих речовин).

Гідродинамічний процес розбавлення, в основі якого лежить турбулентна дифузія, є найважливішою, а іноді вирішальною частиною самоочищення. У певних умовах самоочищення може бути майже повним. В інших випадках воно значно утруднено, якщо витрата потоку недостатня, щоб розбавити забруднення чи домішки, що потрапили в потік і містять помітну кількість стійких токсичних речовин.

При цьому гідравлічне рішення задачі про самоочищення припускає встановлення характеру поширення і степеню розбавлення стійких хімічних домішок.

## 2.2 Припустимі норми вмісту забруднюючих речовин у воді

У забруднених водах, які випускаються в річки і водойми, можуть знаходитися різні речовини (як токсичні, так і нетоксичні). Вміст цих речовин у воді допускається у визначених кількостях, не перевищуючих заданих норм, що встановлюються по спеціальній довідковій літературі з урахуванням видів і умов водоспоживання. В усіх випадках при розрахунку припустимих концентрацій забруднюючих речовин необхідно ураховувати відсоток розведення, тому що водокористувачі можуть знаходитись на різних відстанях від випуску.

## 2.3 Визначення зони забруднення і зони впливу забруднюючих речовин

Частина потоку чи водойми, де водні маси виявилися підданими впливу забруднюючого скидання стічних вод, у залежності від характеру й інтенсивності такого впливу може бути названа зоною забруднення чи зоною впливу забруднення (для стислості «зона впливу»). Дуже часто на ділянці скидання стічних вод існують одночасно зона забруднення і зона впливу (що звичайно обмежує першу).

Зона забруднення – це зона, де в зв'язку з надходженням забруднюючих речовин порушуються природні біохімічні процеси і де концентрація забруднюючих речовин по санітарних чи інших показниках перевищує норми.

Формування зони забруднення відбувається поступово з моменту уведення в дію скидних споруджень – на початку (іноді місяці, роки) вона поширюється, а потім набуває більш-менш стабільного характеру. У залежності від режиму потоку і режиму скидань сформована зона

забруднення може змінювати свої форму і розміри: у певні періоди часу (наприклад, у паводки) вона може виявитися практично непомітною, а потім появитися знову.

У зв'язку з цим розрізняють зони забруднення, що формуються і стабілізувалися, а також стійкі і нестійкі зони забруднення.

Стойкі зони забруднення на річках, звичайно, утворюються нижче постійних спусків стічних вод, в умовах внутрішніх водойм і морів – при скиданнях стічних вод у бухти і затоки, у прибережні мілководдя зі слабкою течією.

Нестійкі зони забруднення формуються в умовах глибоководдя, на відкритих ділянках акваторії та ін.

Зона впливу забруднення – це область потоку чи водойми, у яку попадають стічні води з зони забруднення, але при цьому зберігається природний характер біохімічних процесів, а концентрації забруднюючих речовин в середньому у часі не перевищують норми. Однак, у зоні впливу можуть знаходитися окремі плями (хмари) з великою концентрацією забруднюючих речовин, що відокремлюються від зони забруднення і переміщуються вниз за течією до периферії зони впливу.

Визначення межі зони забруднення і зони впливу може бути виконане за даними натурних вимірів і на підставі розрахунку. Одержавши поле концентрації забруднюючої речовини для деяких середніх гідрологічних умов чи для умов розрахункового режиму (наприклад, витрати води в річці 95% забезпеченості), виділяють зону, у якій концентрація перевершує припустиму – це є зона забруднення.

Зовнішня межа зони впливу може бути встановлена на підставі порівняння концентрацій, забруднюючої речовини з природними коливаннями гідрохімічного фону по цій речовині.

## 2.4 Типи водних об'єктів за умовами розбавлення у них стічних вод

Від особливостей водних об'єктів, що приймають стічні води, залежать умови їхнього розбавлення і поширення. Вирішальну роль при цьому відіграє не тільки водний режим і гідравліка водних об'єктів, але й морфометрія їх русел.

Водні об'єкти поділяються на водотоки з **нормальним режимом стоку** (річки і струмки) і **водоймища** (озера і водосховища), що характеризуються уповільненим стоком. За умовами турбулентного перемішування виділяють типи річок: *гірські* і *рівнинні*, що мають різні швидкості течії. Кожен тип річок поділяється на групи по водоносності – *великі*, *середні* і *малі* річки і струмки, причому критерієм поділу служить площа водозбору і довжина річок.

Процесу розбавлення стічних вод сприяють поперечні течії, особливо на заокругленнях потоків. Тому ступінь звивистості річки дозволяє типізувати їх на *порівняно прямолінійні* ( $\xi=1-1.2$ ), *помірно звивисті* ( $\xi=1.2-1.4$ ) і *сильно звивисті* ( $\xi>1.4$ ).

Одним з важливих гідравлічних параметрів водотоків є коефіцієнт Шезі  $C$ , причому меншим значенням його відповідає більш інтенсивне перемішування, при великих  $C$  – перемішування більш слабе.

Типізація водоймищ за інтенсивністю розбавлення в них стічних вод ураховує *зовнішній* і *внутрішній* водообмін. Зовнішній водообмін характеризується проточністю водойми, внутрішній – її розмірами (площею дзеркала, глибиною). При великій глибині об'єми водних мас вступають у взаємодію зі стічними водами, полегшується приплив чистих вод до зони забруднення і зростає коефіцієнт турбулентного перемішування.

Розбавлення залежить також і від розчленованості берегової лінії, яка обумовлює наявність чи відсутність застійних зон, де можуть накопичуватися забруднення і розведення відбувається повільно. Виділяють водойми з *простою* і *складною* конфігурацією берегової лінії.

## 2.5 Вибір методу розрахунку розбавлення для річок і водойм при різних способах скидання стічних вод

Вибір методу розрахунку розбавлення визначається в першу чергу тим, куди здійснюється скидання стічних вод: у водотоки чи водойми.

За описаною вище типізацією водних об'єктів визначається тип даної річки чи водойми і з'ясовується, якої інтенсивності перемішування можна чекати в умовах даного водного об'єкту. Після цього визначається характер надходження забруднень у потік: сталий чи несталий процес надходження забруднень.

**Сталий процес** характеризується сталістю витрати і концентрації забрудника і сталістю витрати води в річці. При одноразовому випуску забруднень (**несталий процес**) у потоці утворюється хмара забруднення, яка переміщується в напрямку течії, збільшуючись за площею, концентрація ж забрудника в ньому зменшується за рахунок змішування з водами річки.

У залежності від гідрологічної обстановки і характеру випуску (одноразовий чи постійний) можливі різні варіанти і способи розрахунку накопичення і розбавлення стічних вод.

Теоретичні основи і деякі методи розрахунку розбавлення забруднень у природних водах наводяться нижче.

## 2.6 Теоретичні основи методики розрахунку розбавлення забруднень у річках і водоймах

При проектуванні скидань стічних вод у річки, озера і водоймища застосовуються різні методи розрахунку розбавлення стічних вод у водотоках, розроблені авторами [1,2,3,4]. Розрахунки розбавлення дозволяють найбільш обґрунтовано зробити вибір місця скидання стічних вод і виявити вимоги до степеня і характеру їхнього очищення.

Розрахунки перемішування і розбавлення забруднюючих речовин при тривалому їхньому надходженні в річковий потік засновані **на рівнянні балансу речовини**, яке для випадку сталого процесу розбавлення має вигляд

$$S_e Q + S_{cm} Q_{cm} = S_n (Q + Q_{cm}) , \quad (2.1)$$

де  $Q$  – витрата води в річці;

$Q_{cm}$  – витрата забруднених вод;

$S_{cm}$  – концентрація забруднюючої речовини в стічних водах перед їхнім випуском у річку;

$S_e$  – природна концентрація тієї ж речовини в річковій воді;

$S_n$  – концентрація речовини в потоці нижче місця випуску стічних вод у створі достатнього перемішування.

**Створ достатнього перемішування** – місце, де завдяки перемішуванню, розподіл розглянутої речовини в поперечному перерізі потоку практично рівномірний.

Значення  $S_n$  визначається з рівняння (2.1)

$$S_n = \frac{S_e Q + S_{cm} Q_{cm}}{Q + Q_{cm}} . \quad (2.2)$$

Одним з важливих є питання про визначення відстані від створу випуску забруднення до створу достатнього перемішування. Вирішення цієї задачі ґрунтується на розрахунках турбулентної дифузії розчинених і зважених речовин у річкових потоках, яка, у свою чергу, може бути виражена диференціальним рівнянням турбулентної дифузії, отриманим В.М.Маккавєєвим [4]. Вирішення цього рівняння в кінцевих різницях для розрахунку сталого процесу розбавлення стічних вод виконане А.В.Караушевим [3].



## Питання для самоперевірки

1. Які причини викликають забруднення природних вод?
2. Що розуміють під терміном «самоочищення водних мас»?
3. У яких випадках водойма чи водоток вважається забрудненим?
4. Дати визначення понять «зона забруднення» і «зона впливу забруднення». Які бувають види зон забруднення?
5. Як визначити границю зони забруднення і зони впливу забруднення?
6. Які розрізняють типи водних об'єктів за умовами розведення в них стічних вод?
7. Які фактори необхідно враховувати при виборі методу вирішення задачі про розбавлення стічних вод у річках і водоймах?
8. На чому ґрунтуються розрахунки перемішування і розбавлення забруднюючих вод у річках?

### 2.7 Практичні способи розрахунку розбавлення стічних вод у річках

#### 2.7.1 Експрес-метод розрахунку розбавлення стічних вод

У випадку сталого процесу надходження забруднюючих вод і при повільній зміні витрат води в річці може бути застосований наближений експрес-метод розрахунку розбавлення стічних вод у річках [1,2].

За характеристику концентрації забруднення в будь-якому заданому перетині приймається величина  $\eta$ , яка називається показником забруднення і визначається по формулі

$$\eta = \frac{\tilde{S}_{\max} - \tilde{S}_n}{\tilde{S}_{cm}}, \quad (2.3)$$

де

$$\tilde{S}_{\max} = \frac{S_{\max}}{S_n}; \quad \tilde{S}_{cm} = \frac{S_{cm}}{S_n}; \quad \tilde{S}_n = \frac{S_n}{S_n} = 1, \quad (2.4)$$

$S_{\max}$ ,  $S_{cm}$  – максимальна концентрація забруднюючого інгредієнту в перетині потоку і початкова концентрація цього ж інгредієнту в стічній воді. Середня концентрація речовини в створі достатнього перемішування  $S_n$  визначається з рівняння нерозривності по (2.2).

Підставляючи значення відносних концентрацій  $\tilde{S}_{\max}$ ,  $\tilde{S}_{\text{cm}}$ , и  $\tilde{S}_n$  у формулу (2.3), одержуємо

$$\eta = \left( \frac{S_{\max}}{S_{\text{cm}}} - \frac{S_n}{S_{\text{cm}}} \right). \quad (2.5)$$

Показник розбавлення  $\eta$  може бути використаний при будь-якому режимі стоку в річці. На основі наявної залежності між інтенсивністю зниження показника розведення  $\eta$  уздовж потоку і гідравлічних характеристик водотоку отримана формула

$$x = \frac{nQ_{\text{cm}}B\xi^2}{\eta Q}. \quad (2.6)$$

Формула (2.6) дозволяє розраховувати відстань ( $x$ ) від місця випуску стічних вод до створу, на якому буде мати місце задане значення  $\eta$  (чи, що те ж саме, задане значення  $S_{\max}$ ).

Величина коефіцієнту  $n$  у формулі (2.6) залежить від ширини річки  $B$  и визначається з наступного виразу

$$n = 1,6 + 0,03B. \quad (2.7)$$

Рівняння (2.6) дозволяє визначати значення  $S_{\max}$  чи  $x$ , якщо відома початкова концентрація забруднюючої речовини ( $S_{\text{cm}}$ ), природна концентрація цієї речовини в річкової воді ( $S_e$ ), звивистість річки ( $\xi$ ), ширина річки ( $B$ ) і відношення витрат, які змішуються ( $Q/Q_{\text{cm}}$ ).

Коефіцієнт звивистості  $\xi$  знаходиться по формулі

$$\xi = \frac{l_{\text{фарв}}}{l_n}, \quad (2.8)$$

де  $l_{\text{фарв}}$  - довжина ділянки річки, виміряна по фарватеру;

$l_n$  - довжина цієї ділянки, виміряна по прямій.

Порядок виконання розрахунків представлений нижче, а вихідні дані наведені у додатках Д і Е.

### **Порядок виконання роботи**

#### **Вихідні дані.**

У річку з витратою  $Q = 100 \text{ м}^3/\text{с}$  скидаються стічні води з витратою  $Q_{\text{cm}} = 10 \text{ м}^3/\text{с}$ . Ширина річки  $B = 20 \text{ м}$ , коефіцієнт звивистості  $\xi = 1.2$ ,

початкова концентрація забруднюючої речовини  $S_{cm}=100$  мг/л, природна концентрація цієї ж речовини у воді  $S_e=0$ .

**Завдання:** розрахувати відстань ( $x$ , м), на якій максимальна концентрація забруднюючих речовин ( $S_{max}$ ) складе 10 мг/л, тобто визначити положення створу достатнього перемішування.

**Порядок розрахунку.**

За умови нерозривності (2.1) визначаємо середню концентрацію речовини в створі достатнього перемішування за формулою (2.2).

$$S_n = \frac{S_e Q + S_{cm} Q_{cm}}{Q + Q_{cm}} = \frac{100 \cdot 10}{100 + 10} = 9.09.$$

Використовуючи формулу (2.5) знаходимо величину показника розбавлення

$$\eta = \left( \frac{S_{max}}{S_{cm}} - \frac{S_n}{S_{cm}} \right) = \left( \frac{10}{100} - \frac{9.09}{100} \right) = 0.01.$$

Обчислюємо величину коефіцієнта  $n$  по виразу (2.7)

$$n = 1.6 + 0.03B = 1.6 + 0.03 \cdot 20 = 2.2.$$

Відстань від місця випуску стічних вод до створу з заданим ступенем перемішування  $S_{max}=10$  мг/л визначаємо по формулі (2.6)

$$x = \frac{n Q_{cm} B \xi^2}{\eta Q} = \frac{2.2 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 1.44}{0.01 \cdot 100} = 634 \text{ м.}$$

Таким чином, максимальна концентрація забруднюючих речовин  $S_{max}$ , на рівні 10 мг/л, буде спостерігатися на відстані 634 м від створу скиду стічних вод.

### **2.7.2 Визначення створу достатнього перемішування по методу Фролова-Родзиллера**

Для визначення створу достатнього перемішування чи створу з заданим ступенем перемішування стічних вод у річці запропонована [4] залежність, яка записується у вигляді

$$x_p = \left[ \frac{2.3}{\alpha} \lg \frac{Q}{\left( \frac{100}{p} - 1 \right) Q_{cm}} \right]^3, \quad (2.9)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, який ураховує гідравлічні умови в потоці, причому

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt{\frac{\psi \frac{g}{\gamma} A}{Q_{cm}}}. \quad (2.10)$$

Тут  $\xi$  - коефіцієнт звивистості річки;  
 $\varphi$  - коефіцієнт, який ураховує положення місця випуску стічних вод (при випуску в середині потоку  $\varphi=1.5$ , при випуску у берега  $\varphi=1.0$ );  
 $g$  – прискорення сили тяжіння ( $g=9.8 \text{ м/с}^2$ );  
 $\psi$  - коефіцієнт, що залежить від співвідношення швидкостей стічних вод і потоку

$$\psi = \frac{v_{ст}}{v_{cp}}. \quad (2.11)$$

Степінь перемішування  $P$  в зоні забруднення визначається по наступному виразу

$$P = \frac{S_n}{S_{max}} \cdot 100\%. \quad (2.12)$$

Коефіцієнт турбулентного обміну у формулі (2.10), який є основним параметром при розрахунку перемішування в потоках, обчислюється по формулі

$$A = \frac{\gamma h_{cp} v_{cp}}{MC} k_{л}, \quad (2.13)$$

де  $A$  – коефіцієнт турбулентного обміну,  $\frac{\text{т}^* \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$  (тут  $\text{т}^*$  - тонна, як одиниця сили (тяжіння));

$\gamma$  - питома вага води ( $\gamma = 1 \frac{\text{т}^*}{\text{м}^3}$ );

$h_{cp}$  – середня глибина потоку, м;

$v_{cp}$  – середня швидкість течії, м/с;

$C$  – коефіцієнт Шезі,  $m^{0.5}/c$ , при наявності обмірюваних ухилів  $I$  обчислюється за формулою Шезі

$$C = \frac{v_{cp}}{\sqrt{h_{cp} I}} ; \quad (2.14)$$

$M$  – параметр, знаходиться зі співвідношень:

при  $10 \leq C \leq 60$   $M = 0.7C + 6$ ;

при  $C > 60$   $M = \text{const} = 48$ ;

$k_{д}$  – поправочний коефіцієнт, який урахує нерівномірність розподілу глибин на ділянці, для якої здійснюється розрахунок розбавлення. Для середніх і великих річок рекомендується приймати  $k_{д} = 2$ .

### Порядок виконання роботи

**Вихідні дані:** У річку зі сталим режимом потоку відбувся береговий випуск стічних вод.

Середня швидкість течії  $v_{cp} = 0.38$  м/с;

середня глибина потоку  $h_{cp} = 0.14$  м;

коефіцієнт Шезі  $C = 14.6$   $m^{0.5}/c$ ;

коефіцієнт турбулентного обміну  $A = 2.3 \cdot 10^{-4} \frac{T^* \cdot c}{M^2}$ ;

витрата стічних вод  $Q_{ст} = 0.013$   $m^3/c$ ;

витрата води в річці  $Q = 0.080$   $m^3/c$ ;

коефіцієнт звивистості  $\xi = 1.2$ ;

коефіцієнт відношення швидкостей  $\psi = 1$ .

**Розрахувати** відстань до створу достатнього перемішування зі ступенем розбавлення 80%.

**Порядок розрахунку.**

Використовуючи формулу (2.10), розраховується коефіцієнт, що урахує гідравлічні умови в потоці

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt{\frac{\psi \frac{g}{\gamma} A}{Q_{cm}}} = 1.2 \sqrt{\frac{9.8 \cdot 2.3 \cdot 10^{-4}}{0.013}} = 0.50.$$

Відстань від місця викиду стічних вод, де степінь перемішування складає 80%, обчислюється за формулою (2.9)

$$x_{80\%} = \left[ \frac{2.3}{0.50} \lg \frac{0.08}{\left(\frac{100}{80} - 1\right) 0.013} \right]^3 = 262 \text{ м.}$$

### 2.7.3 Наближений метод розрахунку розпластування хмари забруднення в річковому потоці

При одноразовому випуску забруднень у річковий потік може утворитися хмара забруднення, яка поширюється по всій ширині потоку  $B$  и переміщується в напрямку течії. При цьому довжина хмари буде зростати, а середня концентрація забрудника в ньому зменшуватися за рахунок змішання з водами річки в результаті процесів: турбулентної дифузії і розтягування хмари за рахунок неоднаковості швидкостей у поперечному перерізі потоку.

Виконуючи наближене рішення задачі про розпластування хмари забруднення, приймаються деякі спрощення. Вважаючи, що вся ширина річки охоплена забрудненням, можна написати

$$V_0 = h_{cp} B \ell_0, \quad (2.15)$$

де  $V_0$  – початковий об'єм забруднених вод,  $\text{м}^3$ ;

$B$  і  $h_{cp}$  – відповідно ширина і середня глибина річки на розглядуваній ділянці річки,  $\text{м}$ ;

$\ell_0$  - довжина початкової зони забруднення,  $\text{м}$  (фактична чи задана).

За час  $t$  у секундах (від моменту одноразового забруднення) об'єм забрудненої частини потоку ( $V$ ,  $\text{м}^3$ ) збільшиться і виразиться співвідношенням

$$V = h_{cp} B (\ell_0 + Z v_{cp} t), \quad (2.16)$$

де  $v_{cp}$  – середня швидкість течії,  $\text{м/с}$ ;

$Z$  - коефіцієнт, який залежить від коефіцієнту Шезі  $C$  (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнту Z

C	Z	C	Z
15	0.838	50	0.419
20	0.688	60	0.380
25	0.598	70	0.358
30	0.540	80	0.313
40	0.468	90	0.270

Довжина області забруднення  $\ell$ , м для моменту часу  $t$  знаходиться по формулі

$$\ell = \ell_0 + Zv_{cp}t. \quad (2.17)$$

Позначивши через  $L$ (м) довжину шляху, пройденого центром хмари забруднення за час  $t$  (с), можна записати

$$L = v_{cp}t. \quad (2.18)$$

Тоді розрахункова формула прийме вигляд

$$\ell = \ell_0 + ZL. \quad (2.19)$$

Середня для всього об'єму забрудненої частини потоку ( $V$ ) концентрація забруднюючої речовини ( $S_{cp}$ ) знаходиться за умови нерозривності

$$VS_{cp} = V_0S_0, \quad (2.20)$$

де  $S_0$  – початкова концентрація в області забруднення.

Для  $S_{cp}$  маємо формулу

$$S_{cp} = \frac{\ell_0 S_0}{\ell_0 + Zv_{cp}t}, \quad (2.21)$$

чи

$$S_{cp} = \frac{\ell_0}{\ell} S_0. \quad (2.22)$$

Величина  $L$  виміряється від середини області забруднення в момент часу  $t_0=0$  до середини області в момент  $t_1$ .

Приклад розрахунку розпластування хмари забруднення в річковому потоці приведений нижче, а варіанти вихідних даних – у додатках Д і Ж.

## Порядок виконання роботи

**Вихідні дані.** У річку відбувся одноразовий випуск великого об'єму забруднюючих речовин і хмара забруднення, яка утворилася, поширилася по всій ширині річкового потоку  $B$  на ділянці довжиною  $\ell_0$ . Вихідні дані приведені в табл.2.2.

**Розрахувати:** довжину хмари забруднення і середню концентрацію забруднюючої речовини в ній при проходженні шляху  $L$  за час  $t$ .

**Порядок розрахунку.** Етапи розрахунку розпластування хмари забруднення в річковому потоці при заданих значеннях початкової довжини хмари забруднення  $\ell_0$  і при проходженні за час  $t$  шляху  $L$  (2000, 10000, 15000м) представлені в табл.2.2. Розрахунок довжини хмари забруднення  $\ell$  виконується за формулою (2.19), середній концентрації забрудників у ній  $S_{\text{ср}}$  – за формулою (2.21). Значення  $Z$  визначається за табл.2.1.

Таблиця 2.2 Приклад розрахунку розпластування хмари забруднення в річковому потоці

Q, м <sup>3</sup> /с	V <sub>ср</sub> , м/с	h <sub>ср</sub> , м	B, м	C, м <sup>0.5</sup> /с	S <sub>0</sub> , мг/л	ℓ <sub>0</sub> , м	Z	L=2000			
								ZL	ℓ, м	$\frac{\ell_0}{\ell}$	S <sub>ср</sub> , мг/л
152	2.42	2.37	26.5	29	100	300 1000	0.55	1100	1400 2100	0.21 0.48	21 48
L=10000				L=15000							
ZL	ℓ, м	$\frac{\ell_0}{\ell}$	S <sub>ср</sub> , мг/л	ZL	ℓ, м	$\frac{\ell_0}{\ell}$	S <sub>ср</sub> , мг/л				
5500	5800 6500	0.05 0.15	5 15	8250	8550 9250	0.04 0.11	4 11				

### Література до завдання №2

1. Бесценная М.А. Натурное изучение разбавления сточных вод в реках и проверка методов расчета // Труды ГГИ, вып.156, 1968.
2. Бесценная М.А., Фаустова Л.И. Приближенный учет поперечной циркуляции и изменчивости глубин при расчете смешения вод в реках.// Труды ГГИ, вып 175, 1969.
3. Караушев А.В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 415 с.
4. Практические рекомендации по расчету разбавления сточных вод в реках, озерах и водохранилищах, Изд-во ГГИ, Л., 1970. – 89 с.



## Додаток А

### ВІДНОСНІ АТОМНІ МАСИ ЕЛЕМЕНТІВ

Символ елемента	Назва елемента		Порядковий номер	Атомна маса
	українська	Латинська		
Ac*	Актиній	Actinium	89	227
Ag	Срібло	Argentum	47	107,87
Al	Алюміній	Aluminium	13	26,98
Am*	Америцій	Americium	95	243
Ar	Аргон	Argon	18	39,948
As	Арсен	Arsenium	33	74,922
At*	Астат	Astatine	85	210
Au	Золото	Aurum	79	196,967
B	Бор	Borum	5	10,811
Ba	Барій	Barium	56	137,34
Be	Берилій	Beryllium	4	9,012
Bi	Бісмут	Bismuthum	83	208,98
Bk*	Берклій	Berkelium	97	247
Br	Бром	Bromu	35	79,909
C	Вуглець	Carboneum	6	12,011
Ca	Кальцій	Calcium	20	40,08
Cd	Кадмій	Cadmium	48	112,4
Ce	Церій	Cerium	58	140,12
Cf*	Каліфорній	Californium	98	252
Cl	Хлор	Chlorum	17	35,453
Cm*	Кюрій	Curium	96	247
Co	Кобальт	Cobaltum	27	58,933
Cr	Хром	Chromium	24	51,996
Cs	Цезій	Cesium	55	132,905
Cu	Мідь	Cuprum	29	63,54
Dy	Диспрозій	Dysprosium	66	162,5
Er	Ербій	Erbium	68	167,27
Es*	Ейштейній	Einsteinium	99	254
Eu	Європій	Europium	63	151,96
F	Фтор	Ftuorum	9	18,998
Fe	Залізо	Ferrum	26	55,847
Fm*	Фермій	Fermium	100	257

Продовження додатку А

Символ елемента	Назва елемента		Порядковий номер	Атомна маса
	українська	латинська		
Fr <sup>*</sup>	Францій	Francium	87	223
<b>Ga</b>	Галій	Gallium	31	69,72
Gd	Гадоліній	Gadolinium	64	157,25
<b>Ge</b>	Германій	Germanium	32	72,59
<b>H</b>	Водень	Hydrogenium	1	1,008
He	Гелій	Helium	2	4,003
Hf	Гафній	Hafnium	72	178,49
Hg	Ртуть	Hydrargyrum	80	200,59
Ho	Гольмій	Holmium	67	164,93
<b>I</b>	Йод	Iodum	53	126,904
In	Індій	Indium	49	114,82
Ir	Іридій	Iridium	77	192,2
K	Калій	Kalium	19	39,107
Kr	Криптон	Krypton	36	83,8
Ku <sup>*</sup>	Курчатовій	Kurchatovium	104	260
La	Лантан	Lanthanum	57	138,91
Ki	Літій	Lithium	3	6,939
Lr <sup>*</sup>	Лоуренсій	Lowrencium	103	256
<b>Lu</b>	Лютецій	Lutetium	71	174,97
Md <sup>*</sup>	Менделевій	Mendelevium	101	257
Mg	Магній	Magnesium	12	24,312
Mn	Марганець	Manganum	25	54,938
Mo	Молібден	Molybdaenum	42	95,94
N	Азот	Nitrogenium	7	14,007
Na	Натрій	Natrium	11	22,990
Nb	Ніобій	Niobium	41	92,906
Nd	Неодим	<b>Neodymium</b>	60	144,24
<b>Ne</b>	Неон	Neon	10	20,183
Ni	Нікель	Niccolum	28	58,71
No	Нобелій	Nobelium	102	255
Np <sup>*</sup>	Нептуній	Neptunium	93	237
Ns <sup>*</sup>	Нільсборій	Nielsbohrium	105	262
O	Кисень	Oxygenium	8	15,999
Os	Осмій	Osmium	76	190,2
P	Фосфор	Phosphorus	15	30,974

Продовження додатку А

Символ елемента	Назва елемента		Порядковий номер	Атомна маса
	українська	латинська		
Pa <sup>*</sup>	Протактиній	Protactinium	91	231
<b>Pb</b>	Свинець	Plumbum	82	207,19
Pd	Паладій	Palladium	46	106,4
Pm	Прометій	Promethium	61	147
<b>Po<sup>*</sup></b>	Полоній	Polonium	84	210
Pr	Празеодим	Praseodymium	59	140,907
Pt	Платина	Platinum	78	195,09
Pu <sup>*</sup>	Плутоній	Plutonium	94	244
Ra <sup>*</sup>	Радій	Radium	88	226
<b>Rb</b>	Рубідій	Rubidium	37	85,47
Re	Реній	Rhenium	75	186,2
Rh	Родій	Rhodium	45	102,905
Rn <sup>*</sup>	Радон	Radon	86	222
Ru	Рутеній	Ruthenium	44	101,07
S	Сірка	Sulfur	16	32,064
Sb	Стибій	Stibium	51	121,75
Sc	Скандій	Scandium	21	44,956
Se	Селен	Selenium	34	78,96
<b>Si</b>	Сицілій	Silicium	14	28,086
Sm	Самарій	Samarium	62	150,35
Sn	Олово	Stannum	50	118,69
Sr	Стронцій	Strontium	38	87,62
Ta	Тантал	Tantalum	73	180,948
Tb	Тербій	Terbium	65	158,924
Tc	Технецій	Tachnetium	43	97
Te	Телур	Tellurium	52	127,6
Th <sup>*</sup>	Торій	Thorium	90	232,038
Ti	Титан	<b>Titanium</b>	22	47,9
<b>Tl</b>	Талій	Thallium	81	204,37
Tm	Тулій	Thullium	69	168,934
U <sup>*</sup>	Уран	Uranium	92	238,03
<b>V</b>	Ванадій	Vanadium	23	50,942
W	Вольфрам	Wolfram	74	183,85
Xc	Ксенон	Xenon	54	131,3
Y	Ітрій	Yttrium	39	88,905

Продовження додатку А

Символ елемента	Назва елемента		Порядковий номер	Атомна маса
	українська	латинська		
Yb	Ітербій	Ytterbium	70	173,04
<b>Zn</b>	Цинк	Zincum	30	65,37
Zr	Цирконій	Zirconium	40	91,22

\*<sup>1</sup>) Атомні маси радіоактивних елементів наведено лише для торію та урану. Для решти радіоактивних елементів наведено масові числа нуклідів з найтривалішим періодом напіврозпаду (масове число – загальне число протонів і нейтронів в атомному ядрі). Для ізотопів зберігаються назви та символи елементів і вказується їхнє масове число. Винятком є нукліди водню: Н – протій, Н(D) – дейтерій, Н(T) – тритій.

## Додаток Б

Середні багаторічні концентрації основних іонів і мінералізація води річок України  
в період весняного водопілля, мг/л

Річка-пункт	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ <sub>i</sub>
Басейн Дунаю							
Тиса - м. Рахів	27,6	8	6,3	90,3	16,9	8	186,5
Ріка- смт Міжгір'я	28,2	5,7	12,7	91,9	18,7	18,6	181,5
Ріка – м. Хуст	24,9	6,7	19,6	80,2	27,6	10,8	174,8
Латориця – м. Мукачеве	24,6	6,1	5,7	76,9	23,4	11,8	174,9
Уж – м. Ужгород	22,1	7,2	5,9	59,4	28,5	11,0	165,3
<b>Прут – м. Яремча</b>	26,2	6,7	10,7	77,4	19,6	10,8	156,9
Прут- м. Чернівці	45,2	7,2	21,3	149,6	48,6	28,6	293,3
Басейн Дністра							
Стрий – с. Н.Кропивник	31,6	7,6	9,5	102,3	25,7	11,1	210,7
Дністер – м. Галич	31,9	8,1	11,3	88,6	39,9	20,9	200,4
Дністер- м. Могилів- Подільський	59,9	17,1	22,3	196,1	69,7	55,6	427,5
Басейн Південного Бугу							
Інгул – с. Новогорожено	87,5	31,5	73	271,8	130,0	85,9	666,2
Півд. Буг- с. Сабаров	74	16,6	10,7	284,7	14,7	14,2	433,1
Півд. Буг – с. Олександрівка	74,6	17,2	35,4	274,2	42,2	43,2	496,1
Басейн Дніпра							
Стир – м. Луцьк	68,7	11,5	12,1	224,4	32,2	22,5	373,6
Случ- м. Сарни	52,3	8,9	13,1	170,2	19,2	17,7	321,3
Тетерів – м. Житомир	56,5	10,1	36,4	182,5	37,5	36,9	315,9

Продовження додатку Б

Річка-пункт	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ <sub>i</sub>
Десна – с. Разльоти	44,8	7,5	11,3	146,9	19,3	12,6	262,6
Десна – м. Чернігів	46,9	9,1	11,1	165,9	20,8	16,2	271,1
Сула – м. Лубни	80,2	26,5	28,3	337,5	38,7	20,9	536,5
Псел – с. Запсілля	51,9	38,8	33,2	249,9	77	49,9	508,2
Ворскла –с. Чорнеччина	63,9	15,9	26,5	237	63,8	20,1	433,4
<b>Інгулець – м. Кривий Ріг</b>	205,7	145,5	1124,5	225,8	477,3	1943,2	4126,1
Деіпро – м. Київ	45,1	8,1	10,4	138,9	22,9	17,7	240,2
Річки Криму							
Кача – с. Баштанівка	60,9	12,8	16,3	193,9	79,2	8,8	307,1
Дерекойка – м. Ялта	58,4	11,9	11,1	206,6	39,8	14,0	345,2
Річки Приазов'я							
Молочна – м. Токмак	326,5	154,7	323,8	313,8	1373,4	307,9	2796,3
Кальчик – м. Маріуполь	288,4	81,8	467,8	211,8	1187,4	476,4	2647,2
Басейн Сіверського Дінця							
Сів. Донець – с. Огурцово	93	20,7	25,9	324,6	90,3	39,2	622,9
Сів. Донець – с. Кружилівка	187,7	37,6	170,2	262,5	251,1	370,4	1219,3

Додаток В  
Середні багаторічні концентрації лсглвтхї іонів і мінералізація води річок України  
в період літньо-осінньої межені, мг/л

Річка-пункт	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ <sub>i</sub>
Басейн Дунаю							
Тиса - м. Рахів	32,7	6,9	9,1	125	26,3	7,4	201,3
Ріка- смт Міжгір'я	36,7	12,8	46,8	135,9	29,5	21,9	231,9
Ріка – м. Хуст	29,4	8,7	7,2	102,9	19,2	13,4	191,3
Латориця – м. Мукачеве	36,6	10,8	7,2	128,2	38,4	15,6	234,5
Уж – м. Ужгород	32,2	8,9	7,7	113,7	29,4	17,2	209,9
<b>Прут – м. Яремча</b>	30,2	7,4	9,2	117,9	41,4	10,7	179,2
Прут- м. Чернівці	54,3	10,6	18,7	201,2	36,8	26,3	305,2
Басейн Дністра							
Стрий – с. Н.Кропивник	38,4	11	9,7	145,7	31,6	10,7	275,2
Дністер – м. Галич	41,5	16,2	29,7	110,4	76,4	64,3	371,9
Дністер- м. Могилів- Подільський	58,7	15,2	23,6	172,1	42,7	43,1	373,8
Басейн Південного Бугу							
Інгул – с. Новогорожено	100,3	37,3	124,1	312,9	224,1	135,7	935,4
Півд. Буг- с. Сабаров	70	15,7	22,6	253,2	32,4	25,6	429,2
Півд. Буг – с. Олександрівка	59,5	23,3	30	270,6	41,9	36	486
Басейн Дніпра							
Стир – м. Луцьк	71,2	14,7	13,6	252,8	29,9	20,9	414,6
Случ- м. Сарни	52,4	11,4	12,1	182,5	25,7	19,2	313
Тетерів – м. Житомир	61,6	18	29,3	241,6	41,9	49,5	458,7

Продовження додатку В

Річка-пункт	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ <sub>i</sub>
Десна – с. Разльоти	58,7	10,3	8,5	169,7	15,5	14,9	330,5
Десна – м. Чернігів	61,6	12	16,1	224,2	24,4	18,5	351
Сула – м. Лубни	72	31,8	37,2	380	44,6	28,6	648,5
Псел – с. Запсілля	92,8	22,9	36,7	345,4	83,7	35,2	657,6
Ворскла –с. Чорнеччина	70,2	23,6	61,3	362,9	71,9	25,6	674,5
<b>Інгулець – м. Кривий Ріг</b>	129,6	110,1	933,1	229,1	453,5	1132,6	3991,3
Деіпро – м. Київ	47,5	15,4	13,5	169,5	23,4	16,3	280,2
Річки Криму							
Кача – с. Баштанівка	79,9	13,6	17,5	256,3	58,4	26,3	480,6
Дерекойка – м. Ялта	74,8	16,1	23	243,9	59,6	27,5	441,9
Річки Приазов'я							
Молочна – м. Токмак	301,1	146,1	307,5	267,7	1213,5	321,4	2340,9
Кальчик – м. Маріуполь	271,8	80,7	494,6	199	1243,6	567,4	2881,8
Басейн Сіверського Дінця							
Сів. Донець – с. Огурцово	112,1	25,4	46,8	377,9	99,5	40,3	722,1
Сів. Донець – с. Кружилівка	173,3	40	219,1	258	330,5	368,6	1606,3



**Додаток Е**  
**Варіанти задач при визначенні створу достатнього**  
**перемішування стічних вод**

Варіант I.

У річку з постійною витратою води регулярно надходять промислові води (при випуску у берега), створюючи стійкі зони забруднення. На якій відстані від місця скидання стічних вод: а) максимальна концентрація забруднюючих речовин складе 15 одиниць; б) ступінь розбавлення стічних вод складе 90%?

Варіант II.

У результаті роботи очисних споруджень у середину річки постійно скидаються стічні води. Витрати води в річці рівнинного типу мало змінюються у часі. Визначити положення створу достатнього перемішування, де: а) максимальна концентрація забруднюючої речовини дорівнює 20 одиниць; б) задана степінь перемішування складає 85%.

Варіант III.

Робота нафтопереробного заводу призводить до регулярного скидання забруднених речовин у річковий потік, що порушує екологічну рівновагу навколишнього середовища (скидання відбувається в середині річки). Знайти відстань від місця випуску стічних вод до створу, на якому: а) показник розбавлення забруднених вод дорівнює 0.03; б) ступінь перемішування складає 75%.

Варіант IV.

У результаті будівлі птахоферми в річку у берега в стійкий період межені постійно надходять забруднені води. Так як водоспоживачі можуть знаходитися на різних відстанях від місця випуску, необхідно визначити положення створу, де концентрація забруднюючих речовин не перевищує припустимих норм: а) при максимальній концентрації речовини у воді 10 одиниць; б) де відсоток розведення дорівнює 80-ти.

Варіант V.

У річку впадає притока із сильно забрудненою водою. Витрати води в головній річці і притоці мало змінюються. Знайти положення створу, де відбувається самоочищення потоку від забруднення при: а) концентрації речовини в створі достатнього перемішування не більш 15 мг/л; б) ступені розбавлення забруднених вод 90%.

**Додаток Ж**  
**Варіанти задач при розрахунку розпластування хмари забруднення**  
**у річковому потоці**

Варіант I

При визначеному режимі очисних споруджень зроблений одноразовий (залповий) випуск забруднюючих вод у річку. Хмара забруднення, яка утворилася, поширилася на всю ширину потоку на ділянці річки  $\ell_0$  довжиною =1000м. При переміщенні хмари забруднення вниз за течією необхідно розрахувати її довжину і середню концентрацію забруднюючих інгредієнтів у різні моменти часу  $t$  (0.5 год., 1 год., 1.5 год.).

Варіант II

У результаті аварії відбулося надходження великого об'єму забруднень у річковий потік. Простежити збільшення довжини хмари забруднення і зміни концентрації забруднюючої речовини при переміщенні вниз за течією, якщо задана довжина початкової зони забруднення:  $\ell_0$  дорівнює 500м і 1000м.

Варіант III

У річку відбулося короткочасне скидання стічних вод у результаті змиву значної частини добрив із сільськогосподарських полів у період випадання дощу. Це привело до утворення зони забруднення на ділянці довжиною  $\ell_0=1500$ м. Як зміниться максимальна концентрація  $S_{\max}$  у хмарі забруднення і її довжина  $\ell$  при переміщенні вниз за течією річки?

Збірник методичних вказівок  
до практичних занять з дисципліни  
“Гідрохімія України”

Укладачі: д.г.н., проф. Гопченко Є.Д.  
к.г.н., доц. Шакірзанова Ж.Р.

Підп. до друку	Формат	Папір друк.
Умовн. друк. арк.	Тираж	Зам №

---

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

Надруковано з готового оригінал - макета

