

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ПРИКЛАДНА ЛІТОЕКОЛОГІЯ»  
(модуль 4 «Підземні води урбанізованих територій  
та їх антропогенне забруднення»)  
*(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання  
за напрямом підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього  
середовища та збалансоване природокористування»)***

Харків  
ХНУМГ  
2013

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Прикладна літоєкологія» (модуль 4 «Підземні води урбанізованих територій та їх антропогенне забруднення») (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Д. В. Дядін. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – 14 с.

Укладач: Д. В. Дядін

Рецензент: д. т. н., проф. Ф. В. Стольберг

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст,  
протокол № 2 від 09.09.2011 р.

## Зміст

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Природні умови залягання підземних вод .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1 Побудування гідрогеологічного розрізу .....  | 4         |
| 1.2 Побудування карти гідроізогіпс і гідроізоп'єз.....   | 5         |
| 1.3 Опрацювання результатів лабораторного аналізу проб води .....  | 6         |
| 1.4 Форми представлення хімічного складу підземних вод .....   | 7         |
| 1.5 Польові вимірювання фізико-хімічних параметрів вод.....  | 8         |
| <b>2. Техногенний вплив на підземні води .....</b>   | <b>8</b>  |
| 2.1 Оцінка захищеності підземних вод .....   | 8         |
| 2.2 Прогнозні розрахунки параметрів забруднення підземних вод на ділянках зберігання рідких відходів ..... | 11        |
| <b>Перелік питань до самостійної підготовки .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>Список рекомендованих джерел .....</b>  | <b>14</b> |

# 1. Природні умови залягання підземних вод

## 1.1 Побудування гідрогеологічного розрізу

Гідрогеологічний розріз є двомірним зображенням ділянки надр, яке відображає умови залягання гірських порід, їхній літологічний склад, рівні безнапірних і напірних підземних вод, напрямки й характер руху підземних вод та ін. Побудування гідрогеологічного розрізу, так само, як і геологічного, здійснюється за даними буріння гірничих виробок – свердловин, шурфів. Лінію розрізу на карті зазвичай проводять у напрямку найбільшої мінливості гідрогеологічних умов, тобто вхрест (впоперек) простягання основних витягнутих геологічних або геоморфологічних структур – наприклад, річкових долин.

Хід побудування гідрогеологічного розрізу і завдання до практичної роботи викладені нижче.

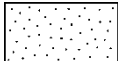
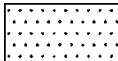
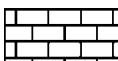

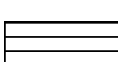

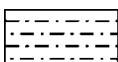
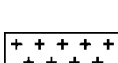
1. На карті розташування гідрогеологічних свердловин визначити абсолютні відмітки їх усть та відстань між ними на місцевості. Вирахувати відмітки вибоїв свердловин, віднявши глибину свердловини від відмітки устя. Скласти таблицю такого вигляду з отриманими даними:

| № свердл. | Глибина до вибою, м | Абс. відм. устя, м | Абс. відм. вибою, м |
|-----------|---------------------|--------------------|---------------------|
|           |                     |                    |                     |

Виходячи з максимальних і мінімальних значень відміток усть і вибоїв свердловин та розміру аркуша, на якому здійснюється креслення, обрати вертикальний масштаб гідрогеологічного розрізу. Горизонтальний масштаб визначити, виходячи з довжини лінії розрізу на карті.

2. В обраних масштабах позначити положення усть свердловин на розрізі та зобразити поверхню землі, з'єднавши їх плавною лінією.

Таблиця 1 – Умовні позначки для зображення гірських порід на розрізах

| Позначки  | Гірська порода  |
|---|---|
|  | Пісок   |
|  | Пісковик  |
|  | Вапняк  |
|  | Мергель   |
|  | Глина, аргіліт  |
|  | Суглинок  |
|  | Алеврит, алевроліт  |
|  | Кристалічні породи магматичного або метаморфічного походження |

Використовуючи дані розрізу кожної свердловини, відкласти відмітки покрівлі та подошви усіх розкритих шарів і з'єднати їх між свердловинами шляхом інтерполяції. У разі відсутності якого-небудь шару в розрізі свердловини, його виклинцювання, за правилом інтерполяції, має відбутися посередині між свердловинами, але положення покрівлі й подошви визначають з урахуванням відносного віку шарів, що зображуються.

Літологічний склад зображених гірських порід показати загальноприйнятими штриховими позначеннями, зробивши до них легенду нижче розрізу. Умовні позначки для розповсюджених гірських порід наведені у таблиця 1.

3. Встановити кількість водоносних горизонтів і склад порід, що містять підземні води, на розрізі побудувати поверхню «дзеркала» ґрунтових вод и п'езометричного рівня напірних вод.

4. Визначити параметри водоносних пластів для заданої ділянки:

а) товщину водоносних горизонтів – дійсну або розкриту свердловинами;  
 б) ухил п'езометричного рівня напірних вод і потоку ґрунтових вод шляхом обчислення співвідношення  $i = \Delta H / \Delta L$ , де  $\Delta H$  – перепад між відмітками рівня підземних вод між двома сусідніми свердловинами у розрізі, м;  $\Delta L$  – відстань між свердловинами по горизонталі, м.

5. Виявити ділянки можливого самовиливання напірних вод на поверхню землі, положення яких відповідає місцям розташування п'езометричного рівня вище поверхні землі.

## 1.2 Побудування карти гідроізогіпс і гідроізоп'ез

Рівневу поверхню безнапірних і напірних водоносних горизонтів зазвичай зображують за допомогою ліній з однаковими абсолютними відмітками рівня води. Ізолінії рівневої поверхні безнапірних горизонтів, наприклад «дзеркала» ґрунтових вод, називають гідроізогіпсами. Ізолінії п'езометричної поверхні напірних (артезіанських) горизонтів – гідроізоп'ези. Карти побудованої поверхні підземних вод використовують для визначення напрямків та інших параметрів фільтраційного потоку.

Вихідними даними для побудування карти гідроізогіпс (гідроізоп'ез) є топографічний план розташування усть свердловин і відмітки статичного рівня підземних вод у свердловинах. Створення карти здійснюють за такими етапами:

1. На топоплані визначають абсолютні відмітки усть свердловин методом інтерполяції між ізолініями рельєфу (горизонталями).

2. Обчислюють абсолютні відмітки статичного рівня підземних вод і складають таблицю з отриманими даними:

| № свердл. | Абс. відм. устя, м | Стат. рівень від поверхні, м | Абс. відм. стат. рівня, м | Характер водон. гор-ту |
|-----------|--------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|
|           |                    |                              |                           |                        |

Для міжпластових підземних вод в останньому стовпчику таблиці вказують умови їхнього залягання – напірні чи безнапірні, виходячи зі співвідношення відміток рівня підземних вод і подошви водотривкого шару, що перекриває водоносний горизонт.

3. На окремому аркуші роблять викопіювання схеми розташування свердловин і підписують вираховані абсолютні відмітки статичного рівня підземних вод біля устя кожної свердловини. За цими даними методом інтерполяції між всіма сусідніми свердловинами визначають точки з відмітками, кратними 1, 2 або 5 м (залежно від діапазону представлених даних). Інтерполяція передбачає вимірювання на плані довжини відрізка  $L$  між кожними двома сусідніми свердловинами, обчислення різниці між відмітками рівня в цих свердловинах ( $\Delta H = H_1 - H_2$ ), визначення положення проміжної шуканої відмітки ( $H_1 < H_i < H_2$ ) на даному відрізку за пропорцією. Знайдені точки з однаковими відмітками рівня підземних вод з'єднують плавними лініями, які підписують. На карті стрілками позначають напрямки потоку підземних вод, які розміщують перпендикулярно гідроізоп'езам від більших відміток у бік менших.

Окремим завданням може бути визначення градієнту потоку (ухилу рівневої поверхні) і величини витрати підземних вод на певні ділянці карти. Для визначення градієнту потоку вимірюють відстань між двома сусідніми гідроізоп'езами у масштабі, на яку ділять різницю висот між ними ( $i = \Delta H / L$ ). Якщо відомі коефіцієнт фільтрації та товщина водоносного горизонту, обчислюють витрату потоку на обраній ділянці заданої ширини ( $Q = K \cdot F \cdot i$ , де  $i$  – градієнт потоку,  $F$  – площа перетину потоку  $F = B \cdot m$ ).

### 1.3 Опрацювання результатів лабораторного аналізу проб води

Результати лабораторних досліджень хімічного складу підземних вод, як правило, статистично опрацьовують і проводять контроль аналізу для виявлення різного роду похибок. Найчастіше використовують контроль іонного балансу та співвідношення мінералізації і величини сухого залишку.

Визначення похибки в іонному балансі, звичайно, можливе лише за умов прямого вимірювання концентрацій усіх компонентів у воді, насамперед макрокомпонентів –  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ . Розрахунок похибки проводять за такою формулою:

$$x = \frac{A - K}{A + K} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де  $A$  і  $K$  – суми еквівалентних концентрацій аніонів і катіонів відповідно.

Для масових гідрохімічних аналізів допустима похибка має не перевищувати таких значень:

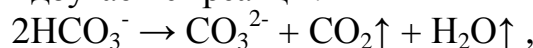
| Сума концентрацій аніонів, мг-екв/л | Допуст. похибка ( $y \pm$ віднозн. %) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| більше 15,0                         | 2                                     |
| 5,0 – 15,0                          | 3                                     |
| 3,0 – 4,9                           | 7                                     |
| 2,0 – 2,9                           | 10                                    |
| менше 2                             | не встановлена                        |

Як видно з таблиці, величина допустимої похибки зростає зі зменшенням мінералізації води.

Для розрахунку еквівалентного вмісту вагові концентрації іонів у воді ділять на іонну вагу, яка є співвідношенням сумарної атомної маси іону та величини його заряду. Наприклад, іонна вага сульфат-іону ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) становить

$(32+16\cdot4) / 2 = 48$ . Якщо вміст сульфату, виміряний у воді, складає  $155 \text{ мг/дм}^3$ , еквівалентна концентрація становитиме  $155 / 48 = 3,23 \text{ мг-екв/дм}^3$ .

Загальний контроль за сухим залишком можливий для повного і скороченого аналізу води. Сутність способу лежить у порівнянні величини сухого залишку з мінералізацією, тобто сумою всіх розчинених речовин у вигляді іонів і молекул (за виключенням газів). Величина експериментально визначеного сухого залишку може відрізнятися від мінералізації за рахунок витрат під час прожарювання летких компонентів, що утворюються при розкладанні  $\text{HCO}_3^-$ , а також органічних сполук. За відсутності експериментальних даних визначають розрахований сухий залишок, при розрахунку якого необхідно взяти лише половину визначеної кількості  $\text{HCO}_3^-$ , оскільки під час прожарювання відбувається реакція:



відповідно до стехіометрії якої, відношення  $\text{CO}_3^{2-} : 2\text{HCO}_3^- = 60 : 122 = 0,49$ .

Розрахунок перевищення сухого залишку над розрахованою мінералізацією можна провести за формулою:

$$x = \left( \frac{C_{\text{сух. залиш.}}}{M} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Допустима розбіжність між величинами експериментально визначеного сухого залишку і розрахованої мінералізації не має перевищувати:

| Розрахована мінералізація, мг/л | Допустиме перевищення сухого залишку над мінералізацією, % |
|---------------------------------|--|
| до 100                          | 30   |
| 100 – 500                       | 15   |
| 500 – 5000                      | 10   |
| 5000 – 10 000                   | 5  |
| > 10 000                        | 3  |

#### 1.4 Форми представлення хімічного складу підземних вод

Результати лабораторного аналізу хімічного складу підземних вод зазвичай виражають у трьох формах: ваговій ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{г/дм}^3$ ); еквівалентній ( $\text{мг-екв/дм}^3$ ); процент-еквівалентній (%-екв).

Послідовність перерахунку вагових концентрацій ( $\text{мг/дм}^3$ ) в еквівалентні ( $\text{мг-екв/дм}^3$ ) вже показана у попередньому розділі даних вказівок.

Процент-еквівалентна форма є найзручнішою для представлення складу підземних вод різної мінералізації, оскільки дозволяє коректно оцінювати відносну роль кожного іону в складі води. Як правило, відсоткове співвідношення іонів обчислюють для аніонів і катіонів окремо. Тобто, для розрахунку процент-еквівалентного вмісту кожного аніону за 100 %-екв приймають суму еквівалентних концентрацій усіх аніонів. Таким же чином відсотковий вміст кожного катіону визначають із суми еквівалентних концентрацій катіонів.

За результатами обчислення процент-еквівалентного вмісту іонів будують діаграми хімічного складу води (переважно кругові з секторами – циклограмми), а також складають формулу сольового складу або формулу Курлова.

Формула сольового складу представляє собою псевдодріб, у числівнику якого вказують аніони з їхнім процент-еквівалентним вмістом за порядком зменшення, у знаменнику – катіони у такому ж порядку. До формули підставляють зазвичай ті іони, вміст яких перевищує 1, 5 або 10 %-екв. Величини %-екв округлюються до цілих значень.

Ліворуч від дробу скорочено показують величину мінералізації (М) і вміст специфічних компонентів (розчинені гази, радіоактивні речовини) у г/дм<sup>3</sup>. Праворуч від дробу вказують температуру води у градусах Цельсію, величину дебіту води у м<sup>3</sup>/добу, а також фізико-хімічні показники води (рН, Eh тощо).

За складеною формулою воді надають назву, до якої включають іони, вміст яких становить не менше 25 %-екв. Як правило, назву складають від іонів з меншою концентрацією до іонів з більшою концентрацією. Наприклад:

$$\text{CO}_2 0,2 \quad \text{M} 2,5 \quad \frac{\text{SO}_4 48 \quad \text{HCO}_3 38 \quad \text{Cl} 14}{\text{Ca} 57 \quad \text{Na} 30 \quad \text{Mg} 13} \quad \text{t} 12 \quad \text{D} 65$$

Склад води гідрокарбонатно-сульфатний натрієво-кальцієвий.

### **1.5 Польові вимірювання фізико-хімічних параметрів вод**

Польові вимірювання параметрів підземних вод є дуже важливим етапом як спостережень епізодичного характеру, так і постійно діючої системи моніторингу підземних вод. Польові дослідження, як правило, включають вимірювання температури води, водневого показника (рН), електропровідності, окислювально-відновного потенціалу (Eh), вмісту певних компонентів у воді, які з часом змінюються і, тому, потребують невідкладного вимірювання, наприклад заліза двох- і трьохвалентного та ін.

Для вимірювання більшості зі вказаних фізико-хімічних параметрів води використовують портативні прилади, які часто є комбінованими й дозволяють вимірювати декілька параметрів одночасно, зберігати показання й фіксувати місце опробування за допомогою вбудованого GPS-навігатора.

За визначеними показниками складають початкову уяву про якісний стан підземних вод, виявляють перші ознаки їх забруднення. Так, за величиною електропровідності можна встановлювати очікувану мінералізацію води, між якими існує пряма залежність – електропровідність зростає з мінералізацією. Для прісних вод переважно гідрокарбонатного кальцієвого складу величина електропровідності у мкС/см приблизно відповідає вдвічі меншому значенню мінералізації у мг/дм<sup>3</sup>.

## **2. Техногенний вплив на підземні води**

### **2.1 Оцінка захищеності підземних вод**

#### ***Методика якісної оцінки захищеності підземних вод***

Якісна оцінка захищеності підземних вод, як правило, враховує природні фактори і здійснюється шляхом присвоєння водоносному горизонтові певної кількості умовних балів або індексу, критерії визначення яких дослідник встановлює сам. Зазвичай, в основі оцінки лежить урахування таких найважливіших факторів, як товщина й літологічний склад порід зони аерації (для ґрунтових вод) і перекриваючих водотривких шарів (для міжпластових вод).



Для оцінки захищеності ґрунтових вод скористаємося методикою Гольдберга. Вона передбачає визначення суми балів, яка складається з балу за товщину всієї зони аерації та балів за кожний слабопроникний шар у будові зони аерації. Першу складову суми балів визначають за таблицею:

| Загальна товщина зони аерації, м | Бали |
|----------------------------------|------|
| $h \leq 10$                      | 1    |
| $10 < h \leq 20$                 | 2    |
| $20 < h \leq 30$                 | 3    |
| $30 < h \leq 40$                 | 4    |
| $h > 40$                         | 5    |

Далі, у складі зони аерації виділяють слабопроникні шари (з  $K_{\phi} < 0,1$  м/добу), які відносять до однієї з трьох літологічних груп:

a – супіски, легкі суглинки ( $K = 0,1 - 0,01$  м/добу)

b – суглинки ( $K = 0,01 - 0,001$  м/добу)

c – важкі суглинки, глини ( $K < 0,001$  м/добу)

Кожному слабопроникному шарові призначають певний бал, виходячи з його товщини та приналежності до однієї з груп:

| Товщина слабопроникних шарів, м | Бали |    |    |
|---------------------------------|------|----|----|
|                                 | a    | b  | c  |
| $m_0 \leq 2$                    | 1    | 1  | 2  |
| $2 < m_0 \leq 4$                | 2    | 3  | 4  |
| $4 < m_0 \leq 6$                | 3    | 4  | 6  |
| $6 < m_0 \leq 8$                | 4    | 6  | 8  |
| $8 < m_0 \leq 10$               | 5    | 7  | 10 |
| $10 < m_0 \leq 12$              | 6    | 9  | 12 |
| $12 < m_0 \leq 14$              | 7    | 10 | 14 |
| $14 < m_0 \leq 16$              | 8    | 12 | 16 |
| $16 < m_0 \leq 18$              | 9    | 13 | 18 |
| $18 < m_0 \leq 20$              | 10   | 15 | 20 |
| $m_0 > 20$                      | 12   | 18 | 25 |

У результаті всі отримані бали підсумовують і за сумою визначають категорію захищеності:

| Категорія | I     | II     | III     | IV      | V       | VI   |
|-----------|-------|--------|---------|---------|---------|------|
| Σ балів   | 1 – 5 | 6 – 10 | 11 – 15 | 16 – 20 | 21 – 25 | > 25 |

Якісну оцінку захищеності міжпластового горизонту можна виконати за такими умовними категоріями:

| Категорія захищеності | Товщина перекриваючого водотривкого шару (глин), м |
|-----------------------|--|
| 1. Захищені           | > 10   |
| 2. Умовно захищені    | 3 – 10   |
| 3. Незахищені         | < 3  |

### **Методика кількісної оцінки захищеності підземних вод**

Кількісним методом оцінки захищеності може виступати розрахунок часу вертикального проникнення забруднених вод до водоносного горизонту, що підлягає оцінці. Для першого від поверхні водоносного горизонту (грунтових вод) відбувається розрахунок часу інфільтрації через зону аерації. Для міжплас-тових вод зазвичай передбачається, що водоносний горизонт вище за розрізом вже забруднений, і розраховується час проникнення забруднених вод через водотривкий шар, що їх розділяє.

Час інфільтрації стічних вод, що витікають із накопичувача рідких відходів, через однорідну за будовою зону аерації до дзеркала ґрунтових вод розраховують за формулою Цункера:

$$t = \frac{n \cdot H_0}{K} \left( \frac{m}{H_0} - \ln \left( 1 + \frac{m}{H_0} \right) \right) \quad (3)$$

де  $t$  – час вертикального проникнення через зону аерації, діб;

$n$  – активна пористість порід зони аерації;

$K$  – коефіцієнт фільтрації порід зони аерації, м/добу;

$m$  – товщина зони аерації, м;

$H_0$  – висота стовпу стічних вод у накопичувачі, м.

У випадку наявності в основі сховища рідких відходів слабопроникного екрану час вертикальної фільтрації  $t$  стічних вод до дзеркала ґрунтових вод становитиме суму з двох величин  $t_1$  і  $t_2$ , де  $t_1$  – час проникнення через екран, який розраховується за формулою (3), а  $t_2$  обчислюють за формулою Верігіна:

$$t_2 = \frac{n_2 H_0}{K_2} \left\{ \frac{m_2}{H_0} \left[ 1 - \frac{m_1}{H_0} \left( \frac{K_2}{K_1} - 1 \right) \right] \ln \left( 1 + \frac{m_2}{H_0 + m_1} \right) \right\} \quad (4)$$

де  $K_1$  і  $m_1$  – коефіцієнт фільтрації і товщина слабопроникного екрану;

$K_2$ ,  $n_2$  і  $m_2$  – коефіцієнт фільтрації, активна пористість і товщина зони аерації;

$H_0$  – висота стовпу стічних вод у накопичувачі, м.

Такий же підхід до розрахунку можна використовувати у випадку природної неоднорідної будови зони аерації, наприклад двошарової – з верхнім слабопроникним та нижнім високопроникним шарами. У більшості випадків  $t_2 \ll t_1$ , тому для визначення часу проникнення через двошарову товщу можна обмежитися розрахунком часу  $t_1$ .

Якщо надходження забруднених вод відбувається з поверхні землі з постійною витратою і компенсується фільтрацією, тобто стовп рідини не накопичується на поверхні, то розрахувати час інфільтрації забруднених вод можна за формулою:

$$t = \frac{m \cdot n}{\sqrt[3]{q^2 K}} \quad (5)$$

де  $q$  – питома витрата води, що фільтрується, яка дорівнює відношенню величині витрати до площі ділянки ( $q=Q/F$ ), м/добу;

$m$ ,  $n$ ,  $K$  – товщина, активна пористість і коефіцієнт фільтрації порід зони аерації.

Формула (5) справедлива для ситуації, коли величина  $q < K$  – за такого співвідношення всі стічні води, що потрапляють на поверхню землі, повністю фільтруються вниз. Якщо  $q > K$  – вода буде накопичуватися, створюватиметься

стовп води на поверхні, і розрахунки необхідно вести за попередніми формулами (3), (4). Розрахунок за формулою (5) ведуть, наприклад, для оцінки проникнення фільтрату на ділянках складування твердих відходів, що утворюється від промивання відходів атмосферними опадами.

Розрахований час вертикального проникнення є підставою для визначення категорії захищеності даного водоносного горизонту:

| Категорія                | I   | II      | III      | IV        | V         | VI    |
|--------------------------|-----|---------|----------|-----------|-----------|-------|
| $t_{\text{верт.}}$ , діб | <10 | 10 – 50 | 50 – 100 | 100 – 200 | 200 – 400 | > 400 |

Кількісна оцінка захищеності міжпластових вод зводиться до розрахунку часу вертикального проникнення забруднених підземних вод з верхнього за розрізом горизонту, до нижнього через водотривкий шар, що їх розділяє. Величину цього часу визначають, в основному, фільтраційні параметри водотривкого шару, який зазвичай представлено дуже слабопроникними або непроникними породами – глинами, аргілітами, щільною крейдою тощо. Але додатковим чинником при цьому виступає наявність напору над покрівлею в міжпластовому горизонті і співвідношення рівнів водоносних горизонтів, які відображають різницю в пластових тисках. Формула для розрахунку часу вертикального проникнення через перекриваючий водотривкий шар має такий вигляд:

$$t = \frac{m^2 \cdot n}{K \cdot \Delta H} \quad (6)$$

де  $m$ ,  $n$  і  $K$  – товщина, активна пористість і коефіцієнт фільтрації водотривкого шару;

$\Delta H$  – різниця між відмітками рівнів верхнього і нижнього водоносних горизонтів, м.

У випадку розрахунку для другого від поверхні міжпластового горизонту, який носить безнапірний характер, в якості  $\Delta H$  береться різниця між рівнем ґрунтових вод, що залягають вище, і відміткою покрівлі міжпластового горизонту, оскільки напір над покрівлею відсутній.

## 2.2 Прогнозні розрахунки параметрів забруднення підземних вод на ділянках зберігання рідких відходів

Оцінка і прогноз забруднення підземних вод включає вирішення таких задач:

- оцінка часу інфільтрації стічних вод до поверхні водоносного горизонту;
- визначення витрати стічних вод, що потрапляють зі сховища відходів до водоносного горизонту;
- визначення розмірів розповсюдження зони забруднення у пласті;
- визначення концентрацій речовин-забрудників у підземних водах.

Розрахунок часі інфільтрації стічних вод зі сховища рідких відходів через одношарову зону аерації до рівня ґрунтових вод (першого від поверхні водоносного горизонту) здійснюють за формулою (3), а у разі двошарової будови зони аерації або наявності слабопроникного екрану в основі накопичувача використовують формулу (4), за якими оцінюють захищеність ґрунтових вод.

При оцінці витрати стічних вод, що витікають з накопичувача, його основу приводять до лінійної або круглої форми. Якщо  $\frac{L}{B} < 5$ , де  $L$  – довжина, а  $B$  – ширина, основу приводять до круглої форми і визначають приведений радіус  $r$ :

$$r = \beta \frac{L+B}{2} \quad (7)$$

Безрозмірний коефіцієнт  $\beta$  визначають за співвідношенням  $L/B$ :

|         |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|
| $L/B$   | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1... |
| $\beta$ | 1,12 | 1,16 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |

Витрату стічних вод, що надходять до водоносного горизонту зі сховища круглої форми, визначають за формулою:

$$Q_{\phi} = \frac{K \cdot m \cdot H_0}{0,366 \cdot \lg \frac{R}{r}}, \quad (8)$$

де  $Q_{\phi}$  – витрата фільтрації стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;  $H_0$  – висота стовпу стічних вод у сховищі, м;  $R$  – відстань від центру сховища до контуру живлення водоносного горизонту (ріки), м;  $r$  – приведений радіус або радіус сховища ( $R_k$ ), м;  $K, m$  – коефіцієнт фільтрації та товщина зони аерації, що підстилає сховище (у разі її однорідної будови).

Витрату стічних вод, що надходять до водоносного горизонту зі сховища лінійної форми на одиницю його довжини, визначають за формулою:

$$Q_{\phi} = q_{\phi} \cdot L \quad (9)$$

де  $Q_{\phi}$  – витрата фільтрації стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;  $q_{\phi}$  – питома витрата стічних вод на одиницю довжини, м<sup>2</sup>/добу;  $L$  – довжина сховища відходів, м.

Питома витрата стічних вод на одиницю довжини  $q_{\phi}$  розраховується за залежностями:

$$q_{\phi} = \frac{K \cdot m \cdot H_0}{\Delta L} \quad (10)$$

$$\Delta L = B - \frac{1}{\pi} \left( 2m \cdot \ln \left( \sinh \frac{\pi B}{2m} \right) \right) \quad (11)$$

де:  $K, m$  – коефіцієнт фільтрації і товщина зони аерації, що підстилає сховище (для однорідного її будови);  $H_0$  – висота стовпу стічних вод у сховищі, м;  $B$  – напівширина сховища, м;  $\sinh(x)$  – синус гіперболічний,  $\sinh(x) = (e^x - e^{-x})/2$ .

Просування фронту забруднення у водоносному горизонті описують формулами (для сховища лінійної форми):

$$\begin{aligned} x &= V_g \cdot t \\ V_g &= \frac{q_{\phi}}{2mn} + \frac{V_e}{n} \\ V_e &= K_{\phi} \cdot i \end{aligned} \quad (12)$$

де  $q_{\phi}$  – фільтраційні витрати на одиницю довжини, м<sup>2</sup>/добу;  $m, n, K_{\phi}$  – середні товщина, активна пористість і коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту;  $V_e$  – швидкість фільтрації, м/добу;  $i$  – ухил потоку;  $V_g$  – шукана швидкість фільтрації (горизонтального руху потоку), м/добу;  $x$  – відстань, на яку просунеться фронт забруднення у пласті за час  $t$ , м.

Якщо речовина-забрудник добре сорбується породами, то:

$$x = V_g \cdot t \cdot \frac{\beta}{1+\beta}$$

де  $\beta$  – коефіцієнт сорбції.

Значення коефіцієнта сорбції для деяких речовин становлять:

| Речовина | $\text{NH}_4^+$ | $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ |
|----------|-----------------|-----------------------------------|--------------------|
| $\beta$  | 0,05 – 0,03     | 5 – 6                             | 10 – 12            |

Відстань просування фронту забруднення у водоносному горизонті для сховища круглої форми розраховують за формулою:

$$x = \sqrt{r^2 + \frac{Q \cdot t}{\pi \cdot m \cdot K} + \frac{V_e \cdot t}{n}} - r \quad (13)$$

де  $m$ ,  $n$ ,  $K_\phi$  – середні товщина, активна пористість і коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту;  $V_e$  – швидкість фільтрації, м/добу;  $x$  – відстань, на яку просунеться фронт забруднення у пласті за час  $t$ , м.  $Q_\phi$  – витрата фільтрації стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;  $r$  – приведений радіус або радіус сховища, м.

### **Перелік питань до самостійної підготовки**

1. Методика відбирання проб підземних вод із спостережних свердловин, колодязів, каптажів джерел
2. Санітарно-гігієнічні вимоги до якісного складу підземних вод, призначених для питних потреб
3. Регіональні проблеми забруднення ґрунтових і міжпластових вод на Україні
4. Джерела забруднення підземних вод у Харківському регіоні
5. Технічний стан каптажів джерел у м. Харків та санітарний стан прилеглої території
6. Характеристика питних водоносних горизонтів Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну
7. Артезіанські водоносні горизонти (реліктові підземні води) як альтернативне джерело водопостачання у містах
8. Методики й підходи до оцінювання захищеності підземних вод від забруднення
9. Принципи та засоби моделювання процесів забруднення підземних вод
10. Формування ореолів забруднення у водоносному горизонті
11. Принципи розрахунків зон санітарної охорони водозаборів підземних вод
12. Режим зони санітарної охорони водозаборів
13. Процеси самоочищення забруднених підземних вод
14. Причини й наслідки підтоплення територій
15. Інженерні споруди захисту підземних вод від забруднення – протифільтраційні екрани, завіси

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1979. – 254 с.
2. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в естественных условиях / Шестоपालов В. М. и др.; Ин-т геол. наук. – Киев: Наук. думка, 1989. – 288 с.
3. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях / Шестоपालов В. М. и др.; Ин-т геол. наук. – Киев: Наук. думка, 1991. – 528 с.
4. Всеволожский В. А. Основы гидрогеологии: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 448 с.
5. Гігієнічні вимоги до якості води питної, призначеної до споживання людиною [Електронний ресурс] : Державні санітарні норми і правила № 2.2.4–171–10. – Офіц. вид. – К. : МОЗ України, 2010. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
6. ГОСТ 2.857–75. Обозначения условные полезных ископаемых, горных пород и условий их залегания / утвержд. постанов. Госкомстандарта от 24.01.79 № 185.
7. ДСТУ ISO 5667–11:2005 Якість води. Відбирання проб. Частина 11. Наставни щодо відбирання проб підземних вод
8. ДСТУ ISO 5667–18:2007 Якість води. Відбирання проб. Частина 18. Наставни щодо відбирання проб підземних вод із забруднених місць
9. Орадовская А. Е., Лапшин Н. Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. – М.: Недра, 1987. – 167 с.
10. Экологическая гидрогеология: Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академ-книга», 2007. – 397 с.

Навчальне видання

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи  
з навчальної дисципліни «Прикладна літоєкологія»  
(модуль 4 «Підземні води урбанізованих територій  
та їх антропогенне забруднення»)

(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання  
за напрямом підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього  
середовища та збалансоване природокористування»)

Укладач: **Дядін** Дмитро Володимирович

Відповідальний за випуск *к. т. н., доц. Ладигенський В. М.*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2011, поз. 97М

---

Підп. до друку  
Друк на ризографі.  
Зам. №

Формат 60×84 1/16  
Ум. друк. арк. 0,8  
Тираж пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011