

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт  
з навчальної дисципліни

**«ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ»**

**(модуль 2 «Підземні води»)**

*(для студентів 3 курсу 6 семестру денної та 4 курсу 7 семестру заочної форм  
навчання напрямку 6.040601 – Екологія, охорона навколишнього  
середовища та збалансоване природокористування)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2016**

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Екологічна геологія» (модуль 2 «Підземні води») (для студентів 3 курсу 6 семестру денної та 4 курсу 7 семестру заочної форм навчання напряму 6.040601 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Д. В. Дядін. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 24 с.

Укладач: Д. В. Дядін

Рецензент: д-р. техн. наук, проф. Ф. В. Стольберг

*Рекомендовано кафедрою міських та регіональних екосистем, протокол № 9 від 06.04.2015 р.*

## Зміст

<b>1. Природні умови залягання підземних вод .....</b>	<b>4</b>
Практична робота 1. Побудування гідрогеологічних розрізів .....	4
Практична робота 2. Обробка результатів лабораторного аналізу проб води.....	5
Практична робота 3. Розрахунки еквівалентного вмісту компонентів. Форми представлення хімічного складу підземних вод .....	7
Практична робота 4. Порівняльна характеристика якісного складу проби питної води з вимогами нормативних документів.....	8
Практична робота 5. Побудування карти гідроізогіпс і гідроізоп'єз ....	9
Практична робота 6. Гідрогеологічна будова Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну .....	10
<b>2. Техногенний вплив на підземні води .....</b>	<b>11</b>
Практична робота 7. Польові дослідження джерел на території міста	11
Практична робота 8. Якісна і кількісна оцінка природної захищеності підземних вод .....	12
Практична робота 9. Розрахунки параметрів забруднення підземних вод на ділянці накопичувачів стічних вод.....	15
Практична робота 10. Розрахунки часу вертикального проникнення забруднених вод до водоносного горизонту у різних гідрогеологічних умовах.....	18
Практична робота 11. Розрахунки притоку води до водозабірної свердловини .....	18
Практична робота 12. Розрахунки розмірів зони санітарної охорони підземного водозабору .....	20
<b>Додатки.....</b>	<b>24</b>

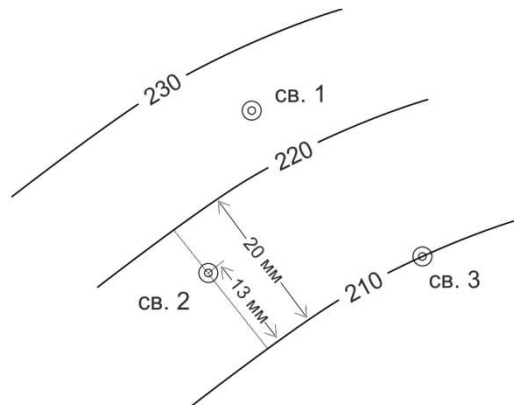
# 1. ПРИРОДНІ УМОВИ ЗАЛЯГАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД

## Практична робота 1. Побудування гідрогеологічних розрізів

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 методом інтерполяції визначити абсолютні відмітки їх усть, а також відстань між ними на місцевості, використовуючи масштаб карти. Приклад визначення абсолютних відміток усть свердловин по карті ізоліній рельєфу показані на рисунку 1.



Абс. відмітки усть свердловин

$$\text{св. 1} \quad (230-220) \text{ м} / 2 = 225,0 \text{ м}$$

$$\text{св. 2} \quad 13 \text{ мм} \cdot (220-210) \text{ м} / 20 \text{ мм} + 210 \text{ м} = 216,5 \text{ м}$$

$$\text{св. 3} \quad 210,0 \text{ м}$$

Рисунок 1 – Приклад визначення абсолютних відміток усть свердловин

Вирахувати відмітки вибоїв свердловин, віднявши глибину свердловини від відмітки устя. Скласти таблицю такого вигляду з отриманими даними:

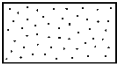
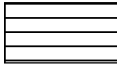
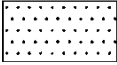


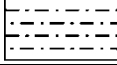
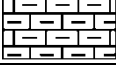
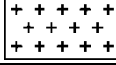
№ свердл.	Глибина до вибою, м	Абс. відм. устя, м	Абс. відм. вибою, м

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. Використовуючи дані розрізу кожної свердловини, відкласти відмітки покрівлі та підшви 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 підшви 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 таблиці 1.

Таблиця 1 – Умовні позначки для зображення гірських порід на розрізах

	Пісок		Глина, аргіліт
	Пісковик		Суглинок
	Вапняк		Алеврит, алевроліт
	Мергель		Кристалічні породи

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) градієнт (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.

## **Практична робота 2. Обробка 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:

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

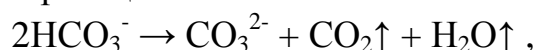
де А і К – суми еквівалентних концентрацій аніонів і катіонів відповідно.

Величина допустимої похибки іонного балансу зростає зі зменшенням мінералізації води. Для масових гідрохімічних аналізів допустима похибка має не перевищувати таких значень:

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

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  $(32+16 \cdot 4) / 2 = 48$ . 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 аналізу за сухим залишком заключається 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 відрізнятись 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

### **Практична робота 3. Розрахунки еквівалентного вмісту компонентів. Форми представлення хімічного складу підземних вод**

Результати лабораторного аналізу хімічного складу підземних вод зазвичай виражають у трьох формах: ваговій (мг/дм<sup>3</sup>, г/дм<sup>3</sup>); еквівалентній (мг-екв/дм<sup>3</sup>); процент-еквівалентній (%-екв).

Послідовність перерахунку вагових концентрацій (мг/дм<sup>3</sup>) в еквівалентні (мг-екв/дм<sup>3</sup>) вже показана у попередньому розділі даних вказівок.

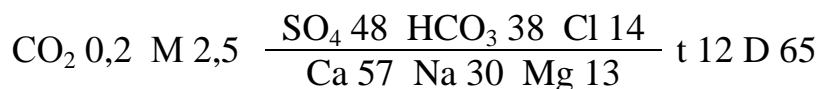
Процент-еквівалентна форма є найзручнішою для представлення складу підземних вод різної мінералізації, оскільки дозволяє коректно оцінювати відносну роль кожного іону в складі води. Як правило, відсоткове співвідношення іонів обчислюють для аніонів і катіонів окремо. Тобто, для розрахунку процент-еквівалентного 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 – циклограми), 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 Цельсія, 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:



Склад води гідрокарбонатно-сульфатний натрієво-кальцієвий.

Графічними способами представлення хімічного складу підземних вод у %-еквівалентному або мг-еквівалентному вигляді є використання кругових діаграм, трикутних діаграм, діаграми Стіфа (рис. 1).

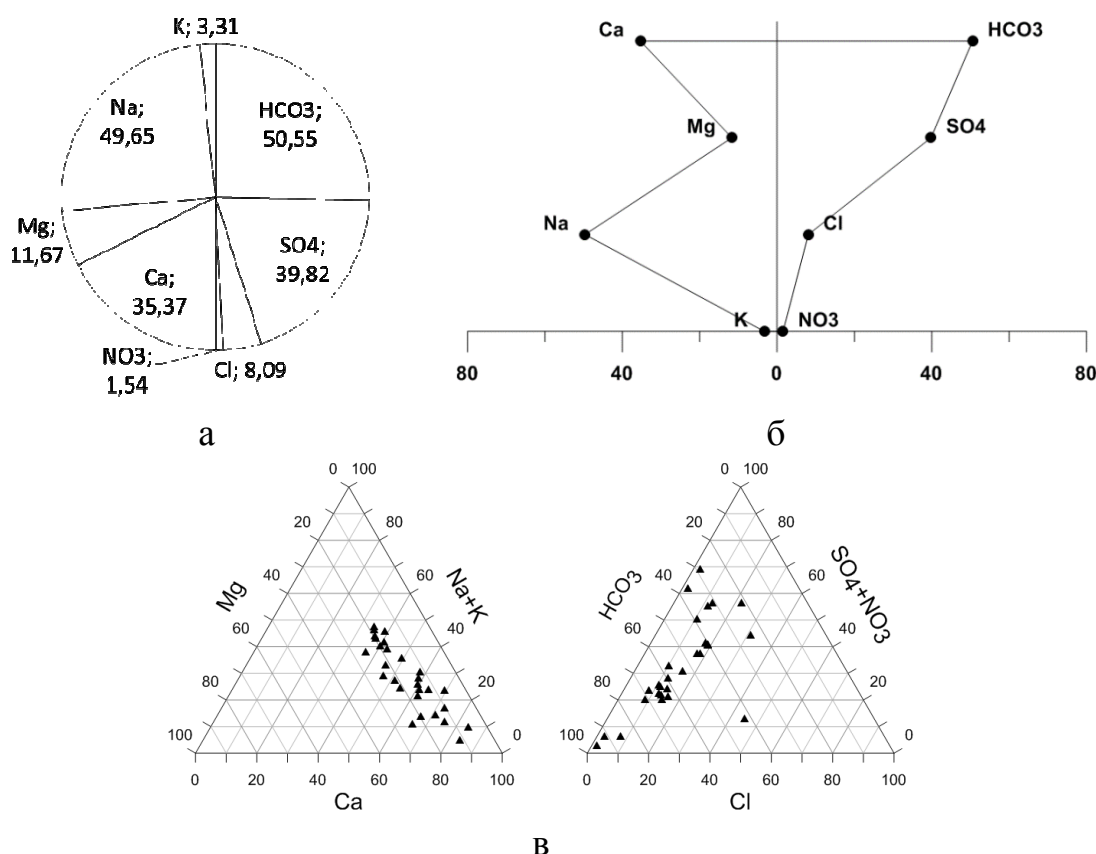


Рисунок 1 – Різні графічні форми представлення хімічного складу підземних вод (а – кругова діаграма; б – діаграма Стіфа; в – трикутні діаграми)

Представлені типи діаграм можна побудувати будь-якими програмними засобами для обробки числових даних – MS Excel, Grapher та ін.

#### Практична робота 4. Порівняльна характеристика якісного складу проби питної води з вимогами нормативних документів

Підземні води необхідно розглядати, перш за все, як джерело питного водопостачання в силу їхньої, як правило, високої природної якості та захищеності від забруднень. В Україні якість питних вод нормується Державними санітарними нормами і правилами (ДержСанПіН) 2.2.4.171-10 «Гігієнічні вимоги до



води питної, призначеної для споживання людиною» та ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання». Крім того, для оцінки придатності води до питних потреб, доцільно спиратися також на документи Європейського союзу та Всесвітньої організації охорони здоров'я, адже вони детально, суворо і, водночас, об'єктивно регулюють якість питних вод. До таких документів належать Директива Європейського союзу щодо якості води, призначеної для споживання людиною (COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption), та Настанови з якості питних вод Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, 2011).

У додатку 1 міститься зведена порівняльна таблиця з вимогами вказаних документів до якості питних вод.

Під час здійснення оцінки якості підземних вод згідно наведених вимог слід звернути увагу, що ДержСанПіН 2.2.4.171-10 у своїй структурі має окремі вимоги для водопровідної води (централізованого водопостачання) та колодязів і каптажів джерел (децентралізованого водопостачання). Крім того, у даному документі встановлені показники фізіологічної повноцінності води, до яких належать сухий залишок, кислотність (рН), лужність, фториди, загальна жорсткість, вміст калію, магнію, натрію та інші. Ці показники встановлюють рекомендовані діапазони величин, які слід витримувати для забезпечення корисного для здоров'я сольового та кислотно-лужного балансу води, що йде на питні потреби.

## **Практична робота 5. Побудування карти гідроізопіс 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 гідроізопісами. Ізолінії п'єзометричної 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 гідроізопіс (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  $F = B \cdot m$ ).

### **Практична робота 6. Гідрогеологічна будова Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну**

Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн розташований у межах Дніпровсько-Донецької западини і характеризується потужним осадовим чохлам, який містить значні запаси і ресурси підземних вод.

Басейн поділяють на три басейни другого порядку – Прип'ятський, Дніпровський та Донецько-Донський, які охоплюють відповідні орографічні області поверхневого і підземного стоку.

У розрізі басейну виділяють такі водоносні горизонти переважно з прісними та рідше солонуватими підземними водами:

- в алювіальних відкладах заплавл річок і днищ балок голоцену (aH);
- в алювіальних відкладах перших-третіх надзаплавних терас неоплейстоцену ( $a^{1+3} P_{II-III}$ );
- у льодовикових відкладах неоплейстоцену та елювіальних, еолово-делювіальних відкладах середнього та верхнього неоплейстоцену ( $f,lg,gP_{II+e},vdP_{II-III}$ );
- у відкладах полтавської серії ( $P_3+N_{Ipl}$ ), яку часто представляють у вигляді водоносного комплексу у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену;
- у межигірсько-обухівських відкладах ( $P_3mz + P_2ob$ );
- у відкладах київської світи еоцену ( $P_2kv$ );
- у бучацько-канівських відкладах ( $P_2kn+bc$ );
- водоносний горизонт сумської серії ( $P_1sm$ );
- у мергельно-крейдяній товщі верхньої крейди ( $K_2t+m$ );
- у сеноман-альбських або сеноман-нижньокрейдових відкладах ( $K_2s-K_1$ );
- у відкладах верхньої юри ( $J_3$ ).

Водоносні горизонти, що розташовані глибше – у тріасових відкладах, кам'яновугільних, девонських – мають високу мінералізацію (більше 5 г/дм<sup>3</sup>) і відповідно не належать до ресурсів питної якості.

## 2. ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ

### Практична робота 7. Польові дослідження джерел на території міста

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 еле-

ктропровідності 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>.

## Практична робота 8. Якісна і кількісна оцінка природної 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:

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

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

с – 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		
	а	б	с
$m_0 \leq 2$	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

Товщина слабопроникних шарів, м	Бали		
	а	б	с
$12 < m_0 \leq 14$	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

Товщина слабо-проникних шарів, м	Бали		
	a	b	c
$8 < m_0 \leq 10$	5	7	10
$10 < m_0 \leq 12$	6	9	12

Товщина слабо-проникних шарів, м	Бали		
	a	b	c
$m_0 > 20$	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 міжпластових 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 ста-

новитиме 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
$t_{\text{верт.}}, \text{ діб}$	<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. Величи-

ну 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 покрівлю 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 покрівлю відсутній.

### **Практична робота 9. Розрахунки параметрів забруднення підземних вод на ділянці накопичувачів стічних вод**

Для оцінки параметрів забруднення підземних вод на ділянці накопичувачів стічних вод або рідких відходів вирішують такі задачі:

- 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):

$$x = V_g \cdot t$$

$$V_g = \frac{q_\phi}{2mn} + \frac{V_e}{n} \quad (12)$$

$$V_e = K_\phi \cdot i$$

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	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
$\beta$	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.

## **Практична робота 10. Розрахунки часу вертикального проникнення забруднених вод до водоносного горизонту у різних гідрогеологічних умовах**

Час вертикального проникнення (інфільтрації) забруднених вод, до водоносних горизонтів є однією з ключових величин, що використовують в оцінці забруднення підземних вод.

Для ґрунтових вод визначають час вертикального проникнення забруднених вод із поверхні землі до рівня ґрунтових вод через зону аерації. В умовах однорідної будови зони аерації величину часу розраховують за формулою (4), а для двохшарової будови (або за наявності непроникного ізолюючого екрану під джерелом витоків) – за формулою (5), які розглядалися у практичній роботі 8 у ході кількісної оцінки захищеності підземних вод.

Для міжпластових вод, як правило, розраховують час інфільтрації забруднених підземних вод із одного водоносного горизонту до іншого, відокремлених водотривкою товщею, за формулою (6).

Час перебування води у підземному просторі може впливати на ступінь забрудненості води деякими нестійкими забрудниками, наприклад патогенними мікроорганізмами (бактеріями), які мають обмежений час виживання. Для об'єктивності оцінки в розрахунках доцільно представляти час перебування води у підземному просторі ( $t_{\text{заг.}}$ ) як суму часу вертикальної інфільтрації ( $t_{\text{верт.}}$ ) та часу пересування у водоносному горизонті за його потоком ( $t_{\text{гориз.}}$ ):

$$t_{\text{заг.}} = t_{\text{верт.}} + t_{\text{гориз.}} \quad (14)$$

Час виживання патогенних мікроорганізмів у підземних водах може становити від 100 до 400 діб у залежності від умов залягання водоносного горизонту (наявність напору, глибина залягання) та кліматичних характеристик території. Тому, в гідрогеологічних розрахунках, особливо для незахищених ґрунтових і безнапірних міжпластових вод, необхідно враховувати цю величину.

Як правило, час вертикального проникнення враховують під час розрахунків розмірів зони санітарної охорони водозабірних споруд (свердловин або каптажів джерел). Результати розрахунків  $t_{\text{верт.}}$  можуть суттєво вплинути на розмір зони, що встановлюється, та санітарний режим, що у ній призначається.

## **Практична робота 11. Розрахунки притоку води до водозабірної свердловини**

Водозабірні свердловини і колодязі використовують для водопостачання підприємств і населення. При цьому можуть використовуватися як горизонти безнапірних вод, що залягають у безпосередній близькості від поверхні землі,

так і горизонти напірних артезіанських вод, що залягають на певній глибині. Колодязь чи свердловину, вибоєм яких розкрито водотривкий горизонт, що підстилає водоносний горизонт, називають досконалыми. Якщо колодязь або свердловина не розкрили водоносний горизонт на повну його потужність, їх називають недосконалыми. Від цієї характеристики конструкції залежать гідрогеологічні розрахунки, що проводять у зв'язку з експлуатацією водозабору.

Під час тривалого відкачування води з досконалого ґрунтового колодязя навколо нього утворюється депресійна воронка, тобто пониження рівня підземних вод, із певним радіусом впливу. Потік ґрунтових вод до колодязя повторює форму воронки, що радіально сходиться до центру.

Розрахунок припливу води ( $Q$ ) до досконалого колодязя можна виконати за формулою Дюпюї, яка у найпростішому виді має такий вигляд:

$$Q = \frac{1,36K(2m-S)S}{\lg R - \lg r} \quad (15)$$

де  $K$  – коефіцієнт фільтрації;  $m$  – потужність водоносного горизонту, м;  $S$  – пониження, досягнуте в результаті відкачування, м;  $R$  – радіус впливу колодязя (свердловини), м;  $r$  – радіус колодязя (свердловини), м.

Радіус впливу колодязя (свердловини) визначається зазвичай в польових умовах за допомогою спостережних свердловин, пробурених навколо експлуатаційної свердловини за системою радіальних променів. Можна визначити радіус впливу і наближено за формулою І. П. Кусакіна:

$$R = 2S\sqrt{mK} \quad (16)$$

Формула розрахунку припливу води до досконалого ґрунтового колодязя (15), як показують досліди, може застосовуватися лише за умов, коли зниження рівня води не перевищує половини потужності водоносного горизонту.

Напірні води мають п'єзометричну поверхню, тобто поверхню, на рівні якої встановлюється рівень у свердловині. Якщо п'єзометрична поверхня має відмітки, що перевищують поверхню землі, то напірні води виливаються на поверхню.

Найпростішим вираженням формули, за якою можна розрахувати приплив води до досконалого артезіанського колодязя (свердловини), має такий вигляд:

$$Q = \frac{2,73KmS}{\lg R - \lg r} \quad (17)$$

де  $m$  – потужність напірного пласта;  $R$  – радіус впливу, обчислений за формулою (16), в якій замість  $m$  підставляють значення напору артезіанських

вод, яке дорівнює найкоротшій відстані від подошви верхнього водотрива до п'езометричного рівня.

## **Практична робота 12. Розрахунки розмірів зони санітарної охорони підземного водозабору**

Зона санітарної охорони водозабору складається з 3 поясів. Перший – пояс суворого режиму, він встановлюється на відстані не менше 30 м від водозабірної споруди при використанні напірних (захищених від забруднення) водоносних горизонтів і не менше 50 м при експлуатації ґрунтових (незахищених). Другий і третій – пояси обмежень, призначені для захисту водоносних горизонтів від бактеріального (другий пояс) і хімічного (третій пояс) забруднення. Їхні розміри визначають гідрогеологічними розрахунками.

Розмірі другого поясу визначають, виходячи з умов, що якщо за його межами через зону аерації або безпосередньо до водоносного горизонту поступає мікробне забруднення, воно не досягає водозабірної споруди. Ця умова виконується в таких випадках, коли час руху води від межі другого поясу до водозабірної споруди буде перевищувати час виживання патогенних мікроорганізмів (табл. 2).

Таблиця 2 – Терміни виживання патогенних мікроорганізмів залежно від гідрогеологічних і кліматичних умов

Гідрогеологічні умови	t, діб	
	У межах I, II клімат. районів*	В межах III, IV клімат. районів*
1. Ґрунтові води:		
а) за наявності гідравлічного зв'язку з водоймою	400	400
б) за відсутності цього зв'язку	400	200
2. Міжпластові води:		
а) за наявності гідравлічного зв'язку з водоймою	200	200
б) за відсутності цього зв'язку	200	100

\* кліматичні райони згідно СНиП 23-01-99 розрізняють за величинами середньомісячних температур січня і липня: I – у січні від -14 до -28°C, у липні від 0 до +21°C; II – у січні від -3 до -20°C, у липні від +8 до +21°C; III – у січні від -5 до -20°C, у липні від +21 до +27°C; IV – у січні від -12 до +6°C, у липні від +21 до +31°C.

Під час розрахунку другого поясу ЗСО для слабозахищених водоносних горизонтів необхідно додатково враховувати час вертикальної інфільтрації забруднених вод до поверхні підземних вод. Для ґрунтових вод розраховують час вертикального проникнення забруднених вод з поверхні землі через зону аерації. Для міжпластових водоносних горизонтів враховують час міграції через шар слабопроникних порід, що перекиває водоносний горизонт зверху.

Таким чином, до розрахунку розміру другого поясу включають час виживання бактерій, віднявши від нього час, що витратиться на вертикальну інфільтрацію. Проте, якщо перекриваючі водотривкі горизонти характеризуються переривистістю або мінливістю фільтраційних властивостей за площею, або на прилеглий до водозабору території можуть розташовуватися інші свердловини невідомого технічного стану, до розрахунків доцільно брати повний час виживання бактерій. Якщо час вертикального проникнення забруднених вод значно більший, ніж час виживання патогенних мікроорганізмів, другий пояс окремо не розраховують і встановлюють в межах першого.

Межу третього поясу визначають, виходячи з таких умов: якщо у водоносний пласт надійдуть речовини-забрудники – вони або не досягнуть водозабірної споруди, або досягнуть її не раніше розрахункового часу, який має дорівнювати або перевищувати термін експлуатації водозабору (зазвичай у розрахунках приймають 25 років або  $\approx 10^4$  діб, якщо не задано інший).

Припустимо, що природний потік підземних вод у пласті відсутній, пласт надійно ізольований водотривкими шарами у покрівлі та з підшви, має постійну товщину та необмежений у горизонтальному напрямку. У такому випадку область захвату підземних вод навколо свердловинного водозабору набуває форми циліндру, а в плані – пояси ЗСО матимуть форму кола (рис. 2).

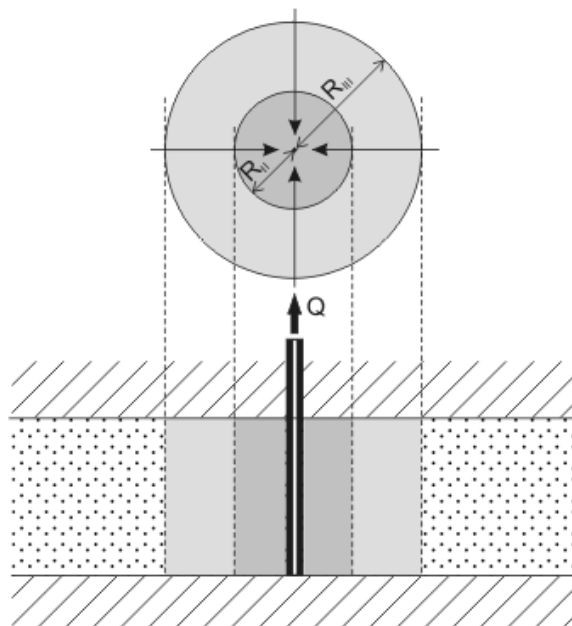


Рисунок 2 – Область захвату свердловинного водозабору без урахування природного потоку підземних вод

Радіус кола можна визначити, виходячи з умов, що у відповідному циліндричному елементі пласта має міститись повний об'єм води, яку витягують зі свердловини за розрахунковий період часу  $t$ :

$$V = Q \cdot t \quad (18)$$

Із геометричних позицій об'єм циліндричного елемента становить:

$$V = \pi R^2 \cdot m, \quad (19)$$

де  $m$  – товщина водоносного горизонту.

Оскільки водоносний горизонт є пористим середовищем, вода займає лише об'єм пор (пустот) у цьому об'ємі пласта, і це необхідно врахувати:

$$V = \pi R^2 \cdot m \cdot n, \quad (20)$$

де  $n$  – активна пористість водовмісних порід.

Очевидно, що дійсний об'єм, який займає вода у пустотах, менше величини загального об'єму водовмісної породи на величину об'єму мінерального скелету.

Відповідно, радіус зони захвату становить:

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot n \cdot m}} \quad (21)$$

де  $Q$  – продуктивність свердловини, м<sup>3</sup>/добу;

$t$  – час захвату води, необхідний для обґрунтування меж поясу, діб;

$n$  – активна пористість порід водоносного горизонту, частки од;

$m$  – товщина водоносного горизонту, м.

### **Приклад розрахунку**

*Завдання.* Для водозабірної свердловини з продуктивністю насоса 17,6 л/сек потрібно призначити зону санітарної охорони. Свердловина розрахована на термін роботи орієнтовно 27 років (для розрахунків можна прийняти 10 000 діб). Експлуатований водоносний горизонт представлений міжпластовими водами, які не контактують із зоною аерації. Водоносний горизонт складений пісковиками потужністю 25 м із активною пористістю 0,1.

#### *Хід розрахунку*

Для початку переведемо продуктивність свердловини в метричні одиниці вимірювання:

$$Q = 17,6 \text{ л/сек} = \frac{17,6 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24}{1000} = 1520,64 \text{ м}^3/\text{добу}$$

За умови розрахунку без урахування природного потоку підземних вод пояси мають форму кола і, відповідно, нам необхідно розрахувати їхні радіуси. Для розрахунку другого поясу візьмемо значення часу виживання бактерій

200 діб, оскільки водоносний горизонт міжпластовий. Тоді, радіус другого поясу дорівнює:

$$R_{II} = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot n \cdot m}} = \sqrt{\frac{1520,64 \cdot 200}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 25}} = 196,8 \approx 200 \text{ м}$$

Радіус третього поясу розраховується, виходячи з усього запланованого терміну експлуатації водозабору – 10 000 діб:

$$R_{III} = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot n \cdot m}} = \sqrt{\frac{1520,64 \cdot 10000}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 25}} = 1391,8 \approx 1400 \text{ м}$$

Перший пояс для захищених підземних вод приймається розміром 50 м.

## ДОДАТКИ

Додаток 1 – Гранично допустимі концентрації та величини, встановлені для питних вод

Компонент, одиниці вимірювання	ДержСанПіН 2.2.4-171-10		СанПіН 4630-88	ДСТУ 4808:2007	Council Directive 98/83/EC	WHO Guidelines for drinking-water quality
	Водопровідна вода	Вода з колодязів та каптажів джерел				
Водневий показник рН, од.	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–9,5	не встановлено
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	1000 (1500)	1500	1000	1000 (1500)	–	не встановлено
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	250 (350)	350	350	250 (350)	250	не встановлено
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	250 (500)	500	500	250 (500)	250	не встановлено
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	50	50	45	45	50	50
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	3,5	не визначається	3,5	3,5	–	–
Жорсткість заг., мг-екв/дм <sup>3</sup>	7 (10)	10	–	7 (10)	–	не встановлено
Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	200	не визначається	200	200	200	не встановлено
Калій, мг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	20	–	не встановлено
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	0,2 (1,0)	1,0	0,3	0,2	0,2	не встановлено
Нікель, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	не визначається	0,1	0,02	0,02	0,07
Кадмій, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	не визначається	0,001	0,001	0,005	0,003
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,05 (0,5)	0,5	0,1	0,05	0,05	0,4
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	1,0	не визначається	1,0	1,0	2,0	2,0
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1,0	не визначається	1,0	1,0	–	не встановлено
Миш'як, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	не визначається	0,05	0,01	0,01	0,01
Амоній, мг/дм <sup>3</sup>	0,5 (2,6)	2,6	–	0,5 (1,5)	0,5	не встановлено
Ртуть, мг/дм <sup>3</sup>	0,0005	не визначається	0,0005	0,0005	0,001	0,006
Свинець, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	не визначається	0,03	0,01	0,01	0,01
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	не визначається	0,3	0,05	–	не встановлено

Примітки: норматив у дужках означає величину, яку можна встановити за узгодженням із санепідслужбою в окремих випадках;  
прочерк у таблиці позначає відсутність даного компоненту в переліку нормативів у документі.



*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт  
з навчальної дисципліни

**ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ**  
(модуль 2 «Підземні води»)

*(для студентів 3 курсу 6 семестру денної та 4 курсу 7 семестру заочної форм  
навчання напряму 6.040601 – Екологія, охорона навколишнього  
середовища та збалансоване природокористування)*

Укладач: **ДЯДІН** Дмитро Володимирович

Відповідальний за випуск *А. М. Буткевич*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2014, поз. 69М

---

Підп. до друку 07.05.2015 р.

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 1,4

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

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

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.