

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Геологорозвідувальний  
(факультет)

Кафедра гідрогеології та інженерної геології  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

кваліфікаційної роботи ступеню магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Башлик Катерини Євгенівни  
(ПІБ)

академічної групи 103М-18-2  
(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Геологія (Гідрогеологія)»  
(офіційна назва)

на тему: Прогноз гідродинамічного та гідрохімічного режимів підземних вод в  
умовах хвостосховища Іршанського ГЗК  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Садовенко І.О.			
розділів:				
Загальний	Садовенко І.О.			
Спеціальний	Садовенко І.О.			
<b>Рецензент</b>	Рузіна М.В.			
<b>Нормоконтролер</b>	Загриценко А.М.			

Дніпро  
2019

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології  
(повна назва)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рудаков Д.В.

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Башлик Катерині Євгенівні академічної групи 103м-18-2  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

за освітньо-професійною програмою «Геологія (Гідрогеологія)»

на тему Прогноз гідродинамічного та гідрохімічного режимів підземних вод в умовах хвостосховища Іршанського ГЗК

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 21.11.19 № 2147

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Аналіз сучасних уявлень щодо формування режиму підземних вод в умовах експлуатації хвостосховища, геолого-гідрогеологічна характеристика ділянки досліджень	14.10.19-21.10.19
Спеціальний	Моделювання гідродинамічних та міграційних процесів при експлуатації хвостосховища	22.10.19-25.11.19
	Прогнозна оцінка гідродинамічних та гідрохімічних змін	26.11.19-02.12.19
	Природоохоронні заходи з експлуатації гідродинамічних споруд	03.12.19-09.12.19

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Садовенко І.О.

(прізвище, ініціали)

**Дата видачі**

14.10.2019

**Дата подання до екзаменаційної комісії**

11.12.2019

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_

(підпис студента)

Башлик К.Є.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 99 с., 34 рис., 9 табл., 33 джерела.

*Об'єкт досліджень* – геофільтраційні та геоміграційні процеси в ґрунтовому масиві та огорожувальних спорудах на ділянці хвостосховища в умовах його експлуатації.

*Предмет досліджень* – параметри міграційних та фільтраційних процесів породного масиву в умовах техногенного навантаження.

*Метою роботи* є аналіз та прогноз змін гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів підземних вод в умовах експлуатації хвостосховища Іршанського ГЗК.

*Методи досліджень.* Для вирішення поставлених задач застосований комплексний підхід, який включає: наукове узагальнення, аналіз та систематизацію даних для встановлення змін гідродинамічних і гідрогеохімічних процесів; математичне моделювання геофільтрації та масопереносу.

*Наукова новизна* роботи полягає в обґрунтуванні чисельної моделі гідродинамічного режиму території хвостосховища та міграції відходів збагачення у часовій перспективі.

*Практична цінність* роботи полягає у розробленні прогнозу, який дозволяє попередити вплив хвостосховища на екологічну ситуацію ділянки та прилеглих до неї територій.

У вступі викладено проблему забруднення гідросфери обумовлене експлуатацією промислових об'єктів, описана мета роботи та основні задачі, вирішення яких представлено у роботі.

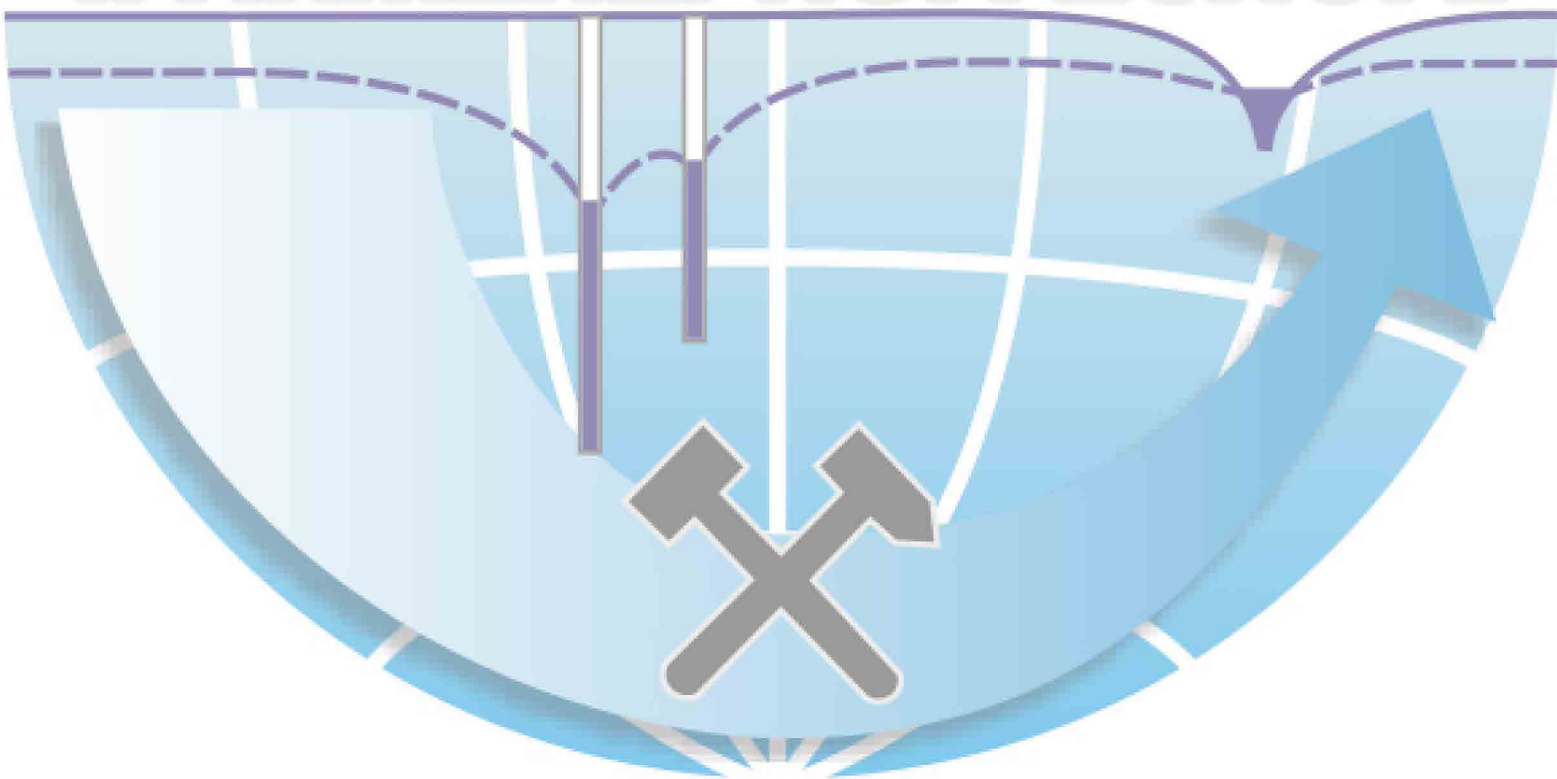
В загальній частині проаналізовані сучасний досвід застосування гідротехнічних споруд, зберігання промислових стоків, їх вплив на гідрогеологічних режим водних об'єктів, методи прогнозування, попередження та зменшення впливу на підземну та надземну гідросферу, охарактеризована геолого-гідрогеологічна будова району досліджень.

В спеціальній частині обґрунтована чисельна модель процесу

геофільтрації та геоміграції, розроблені загальні гідродинамічна та геоміграційна схеми досліджуваної території, обґрунтована структура розрахункової моделі, визначені початкові та граничні умови, проведена оцінка достовірності розрахункових параметрів та схеми моделювання, приведена прогнозна оцінка змін гідродинамічного та гідрохічного режиму підземних вод ділянки, приведені природоохоронні заходи щодо зменшення негативного впливу гідродинамічних споруд.

ХВОСТОСХОВИЩА, ПІДЗЕМНІ ВОДИ, ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ГІДРОГЕОХІМІЧНИЙ РЕЖИМ, ГІДРОГЕОЛОГІЧНИЙ ПРОГНОЗ, ЧИСЕЛЬНА МОДЕЛЬ, ПРИРОДООХОРОННІ ЗАХОДИ.

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## Зміст

	ВСТУП	6
1.	АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УЯВЛЕНЬ ЩОДО ФОРМУВАННЯ РЕЖИМУ ПІДЗЕМНИХ ВОД В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩА	8
1.1.	Аналіз досвіду експлуатації поверхневих гідроспоруд	8
1.2.	Методи прогнозування гідродинамічних та гідрохімічних змін в умовах техногенного навантаження	14
1.3.	Заходи щодо зменшення впливу хвостосховищ на гідрогеологічних режим прилеглих територій	19
2.	ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
2.1.	Фізико-географічні та геоморфологічні умови	32
2.2.	Інженерно-геологічні умови	34
2.3.	Гідрогеологічні умови	37
3.	МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ТА МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩА	40
3.1.	Математична основа комп'ютерного моделювання процесів геофільтрації та геоміграції	40
3.2.	Схематизація гідрогеологічних умов в плані та розрізі	50
3.3.	Ідентифікація моделі та об'єкту досліджень	61
4.	ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ТА ГІДРОХІМІЧНИХ ЗМІН	67
4.1.	Формування рівневої поверхні підземних вод при експлуатації хвостосховища	67
4.2.	Аналіз змін гідрохімічної ситуації навколо хвостосховища	76
5.	ПРИРОДООХОРОННІ ЗАХОДИ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІДРОДИНАМІЧНИХ СПОРУД	90
	ВИСНОВОК	93
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97
	ДОДАТОК 1 – Рецензія	100
	ДОДАТОК 2 – Відгук дипломного керівника	101

## ВСТУП

Експлуатація гірничих підприємств, як правило, призводить до значних порушень природного гідродинамічного режиму підземних вод. Видобуток корисних копалин супроводжується інтенсивним водовідливом вод різної мінералізації. Для локалізації промислових стоків споруджують гідротехнічні споруди типу хвостосховища. Фільтраційні втрати накопичених у хвостосховищах стоків та відходів формують локальні зони техногенної інфільтрації. Наслідком цього є підйом рівня підземних вод, зміна їх хімічного складу, зниження геомеханічної стійкості породного масиву, зміна умов живлення та розвантаження підземних вод.

На території України знаходиться 344 накопичувача промислових відходів. Існуючі технології складування відходів збагачення, а також специфічні умови експлуатації хвостосховищ створюють реальну небезпеку забруднення гідросфери.

На етапі проектування хвостосховища Іршанського ГЗК, постала задача оцінки прогнозованих змін гідродинамічного режиму на ділянці розташування хвостосховища відповідно до прийнятої просторово-часової схеми складування відходів рудозбагачення. Задача ускладнена неглибоким заляганням рівня підземних вод, що спричиняє підтоплення території та безпосередню гідравлічну взаємодію підземних вод з техногенними відходами.

В зв'язку з цим в роботі вирішені наступні *задачі*:

1. Аналіз сучасних уявлень щодо формування режиму підземних вод в умовах експлуатації хвостосховища.
2. Геолого-гідрогелогічна характеристика ділянки досліджень.
3. Обґрунтування математичної основи комп'ютерного моделювання процесів геофільтрації та геоміграції.
4. Схематизація гідрогелогічних умов в плані та розрізі.
5. Аналіз формування рівневої поверхні підземних вод при експлуатації хвостосховища.

## 6. Аналіз змін гідрохімічної ситуації навколо хвостосховища.

*Об'єкт досліджень* – геофільтраційні та геоміграційні процеси в ґрунтовому масиві та огорожувальних спорудах на ділянці хвостосховища в умовах його експлуатації.

*Предмет досліджень* – параметри міграційних та фільтраційних процесів породного масиву в умовах техногенного навантаження.

*Метою роботи* є аналіз та прогноз змін гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів підземних вод в умовах експлуатації хвостосховища Іршанського ГЗК.

*Методи досліджень.* Для вирішення поставлених задач застосований комплексний підхід, який включає: наукове узагальнення, аналіз та систематизацію даних для встановлення змін гідродинамічних і гідрогеохімічних процесів; математичне моделювання геофільтрації та масопереносу.

*Наукова новизна* роботи полягає в обґрунтуванні чисельної моделі гідродинамічного режиму території хвостосховища та міграції відходів збагачення у часовій перспективі.

*Практична цінність* роботи полягає у розробленні прогнозу, який дозволяє попередити вплив хвостосховища на екологічну ситуацію ділянки та прилеглих до неї територій.

*Апробація роботи.* Основні теоретичні та практичні положення досліджень доповідалися на шостій всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ 2018». Молодь: наука та інновації – 2018: Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпро, 15-16 листопада 2018 року). – Д.: НТУ ДП, 2018. – 496 с.

**Посилання:** <http://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2018/%D0%9C%D0%9D%D0%86%20%D0%B7%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%8C%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%BB.pdf>

# 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УЯВЛЕНЬ ЩОДО ФОРМУВАННЯ РЕЖИМУ ПІДЗЕМНИХ ВОД В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩА

## 1.1 Аналіз досвіду експлуатації гідроспоруд

Раціональне використання водних ресурсів, потребує побудови гідротехнічних споруд з відповідним механічним устаткуванням.

За загальним визначенням, гідротехнічні споруди - це споруди, що підпадають під вплив водного середовища, призначені для використання та охорони водних ресурсів, а також для захисту від шкідливого впливу вод.

У роботі М.М.Гришина [1] виділяють три основних завдання гідротехніки та гідротехнічних споруд:

- зміна, перетворення природного режиму водних об'єктів (річок, озер, морів, підземних вод) з метою доцільного і економічного водогосподарського використання та захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу вод;
- створення штучних водних потоків та водойм, у разі нестачі або відсутності природних;
- створення установок або споруд для спеціальних потреб окремих видів водного господарства (гідроелектростанцій, насосних станцій, судноплавних шлюзів і тп.).

Гідротехнічні споруди різних галузей водного господарства, які зводять в найрізноманітніших кліматичних, гідрологічних і геологічних умовах, характеризуються великою різноманітністю типів і конструкцій. Залежно від місця розташування гідротехнічні споруди можуть бути морськими, річковими, озерними та підземними. За використанням у відповідних галузях водного господарства розрізняють гідротехнічні споруди: водноенергетичні, воднотранспортні, меліоративні лісоплавні, рибогосподарські, гідротехнічні споруди для водопостачання та водовідведення, для використання водних надр та ін.



Гідротехнічні споруди розділяються на загальні, тобто ті, що забезпечують потреби різних галузей водного господарства, і спеціальні, що створюються для однієї конкретної галузі.

Серед загальних можна виділити такі споруди:

- водопровідні – канали, гідротехнічні тунелі, трубопроводи;
- водопідпірні – греблі;
- регуляційні – буни, щити, стінки, повздожні та поперечні дамби, спрямлення, берегоукріплювальні споруди;
- водозабірні
- водоскидні споруди.

Серед спеціальних розрізняють: енергетичні - будівлі ГЕС, в яких розміщується гідромеханічне та електротехнічне устаткування; водного транспорту - судноплавні шлюзи, суднопідйомники, маяки та ін.; портові споруди - моли, хвилеломи, набережні, пірси, доки, елінги, сліпи та ін.; меліоративні споруди - магістральні та розподільні зрошувальні канали, шлюзи-регулятори на зрошувальних і осушувальних системах; рибопропускні споруди - рибоходи, рибопідйомники і т. д.

Світовий досвід залізорудної промисловості характеризується тим, що майже весь об'єм руди, що видобувається, потребує подальшої переробки.

Збільшення вмісту заліза у концентраті досягається спеціальними методами – промиванням, електромагнітним та гравітаційним збагаченням, а також флотацією. Згідно існуючих технологій переробки корисних копалин, від 30% до 70% вихідної сировини йде у відходи збагачення – хвости.

Хвости - дрібнозернисті відходи, що утворюються після вилучення за допомогою застосовуваних технологічних процесів, в яких вміст цінного компонента звичайно нижче, ніж у вихідній сировині, оскільки в них переважають часточки пустої породи. На заключному етапі процесу матеріал, який видаляється в якості відходів, являє собою мінеральні частинки, розміри яких коливаються в межах від 10 мкм до 1,0 мм.

При розробці відповідних технологій відходи збагачення можуть слугувати техногенними запасами корисних копалин. У зв'язку з цим доцільним є їх накопичення та зберігання.

Накопичувачем, який утримує хвости, освітлює та відводить води, слугує хвостосховище. Воно представляє собою природну або штучно створювану (за допомогою огорожувальної греблі або дамби) ємність у понижених ділянках земної поверхні.

Розміри хвостосховищ можуть бути різноманітними, в залежності від об'ємів відходів та наявності земельних ресурсів.

Для влаштування накопичувача хвостів можливе використання кар'єрів відкритих гірничих виробок, озер або підземних сховищ, а також методу штабелювання сухих хвостів.

Відходи збагачення зручніші для утилізації, ніж, наприклад, відвали гірських порід, оскільки вони, по-перше, більш однорідні, а по-друге, вже є подрібненими. Найбільш перспективні для використання в будівництві відходи, що утворюються при сухих способах збагачення - хвости сухої магнітної сепарації, сухої гравітації.

Автори [2] класифікують хвостосховища за характером рельєфу місцевості, за способом влаштування огорожувальних споруд та способом наповнення сховища.

Залежно від рельєфу місцевості хвостосховища розділяють на п'ять типів (рис.1.1).

За способом влаштування огорожуючих споруд і за способом заповнення хвостосховища поділяють на наливні та наливні. Принципова різниця між ними в тому, що в наливних хвостосховищ огорожуючу споруду будують одразу або у декілька етапів на проектну висоту, а у наливних - після влаштування первинної (піонерної) дамби проводять її ярусне нарощування дамбами обвалування в процесі експлуатації хвостосховища. Типова конструкція хвостосховища представлена на рис.1.2.

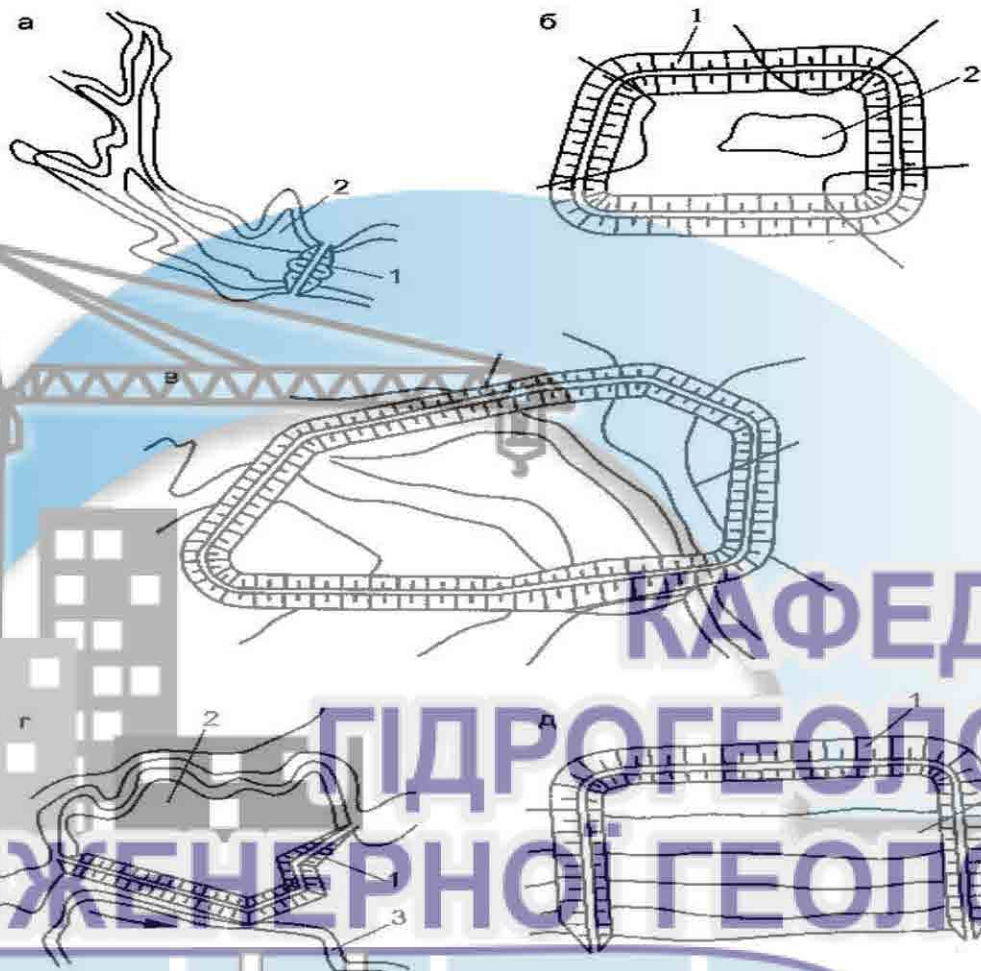


Рис.1.1.Схематичне зображення типів хвостосховищ: 1 – дамба; 2 – ложе хвостосховища; 3 – ріка; ярове (а); рівнинне(б); ярово-рівнинне(в); заплавне(г); косогірне(д).

Враховуючи, що під хвостосховища часто відводяться родючі сільськогосподарські землі, слід більш раціонально використовувати площі, відведені під складування хвостів. Найбільше відповідає цій вимозі спосіб складування, при якому огорожуючі споруди (дамби обвалування) споруджуються із хвостів у процесі експлуатації гідровідвалу.

Тому, якщо у хвостах міститься достатня кількість крупних фракцій (клас  $+0,050 \geq 60\%$ ), то проєктують хвостосховище наливного типу. Якщо крупність часток хвостів збагачення, а також їх вихід недостатні - для складування хвостів використовують наливний тип хвостосховищ. При цьому дамби споруджуються одразу на всю висоту або у 2-3 етапи.



Рис.1. 2. Схема хвостового господарства гірничо-збагачувального комбінату:

- |  |  |
|--|--|
| 1-самопливна подача пульпи;              | 13-трубопроводи оборотної води;                  |
| 2-пульпонасосна станція;                 | 14-дренаж;                                       |
| 3-магістральні пульпопроводи;            | 15-протифільтраційна завіса;                     |
| 4-аварійна ємкість;                      | 16-дренажна насосна станція;                     |
| 5-розподільні пульпопроводи з випусками; | 17-напірна подача дренажної води;                |
| 6-дамба обвалування;                     | 18-нагірна канава;                               |
| 7-карта намивання;                       | 19-відсік повторного використання хвостів;       |
| 8-внутрішня дамба;                       | 20-відсічка дамба;                               |
| 9-розділююча дамба;                      | 21-акумуюча ємкість поверхневих і дренажних вод. |
| 10-відстійний ставок;                    |  |
| 11-водозабірна споруда;                  |  |
| 12-насосна станція оборотної води;       |  |

На території України знаходиться 344 накопичувача промислових відходів. Більшість таких об'єктів розташовані на території Донецької, Луганської, Дніпропетровської, Запорізької та Львівської областей.

Як приклад, серед хвостосховищ Криворізьського басейну масштабним є хвостосховище Північного гірничо-збагачувального комбінату. Експлуатується сховище з 1963 року та має загальну площу - 1750 га, з абсолютною відміткою рівня води - 137,9 м. Об'єм шламів, що накопичуються становить 394,0 млн. м<sup>3</sup>. Мінеральний склад шламів становить (у відсотках): магнетит - 11,7; гематит - 4,32; кварц - 47,34; карбонати - 3,70; слюди і хлорит - 6,52; амфібол і піроксен - 18,96; інші - 3,88. Вміст пиловидних глинистих часток - 3,08 %.

До хвостосховища, крім надходження шламової пульпи, здійснюється скид кар'єрних вод (приблизно 2,5 млн. м<sup>3</sup>/рік), мінералізованих шахтних вод (5,5 млн. м<sup>3</sup>/рік), господарчо-побутових умовно очищених стоків (13,0 млн. м<sup>3</sup>/рік), стоків очисних споруд ПівніГЗК (36,15 тис. м<sup>3</sup>/добу), а для поповнення втрат в системі оборотного водопостачання до 1985 р. подавалась вода з р. Саксагань. Крім названих вод до шламосховища потрапляють атмосферні опади і поверхневі фільтраційні води із споруджених навколо дренажних споруд.

Також, показовим є хвостосховище ЦГЗК розміщене у середній частині б. Велика Лозуватка і в паралельно їй розташованій б. Мала Лозуватка, яке експлуатується з 1961 р. Гребля хвостосховища знаходиться у 4,5 км вище гирла балки, що впадає у Карачунівське водосховище питної води на р. Інгулець. Довжина хвостосховища понад 7 км, середня ширина 2,5 км, загальна площа - 1706 га.

До хвостосховища крім надходження пульпи скидають кар'єрні води (1,66 млн. м<sup>3</sup>/рік), поверхневі фільтраційні води (3,5 млн. м<sup>3</sup>/рік), що надходять з дренажних систем, побутові стоки смт. Петрове, для поповнення втрат у системі оборотного водопостачання закачується вода з р. Саксагань (1,5 млн. м<sup>3</sup>/рік).

Хвостосховище Держинське розташоване у центрі Криворізького залізорудного басейну, у Саксаганському районі міста, у басейні р. Саксагань, експлуатується з 1953 р., його призначення - накопичення вод поверхневого стоку, та одночасно, воно слугує проміжним сховищем для трансформації шахтних вод. Хвостосховище є відсічною частиною Держинського водосховища р. Саксагань, останнє є напірним басейном для скидання води у р. Інгулець через Саксаганський тунель. Площа водозабору водосховища 199,8 км<sup>2</sup>, середньорічний стік становить 61,8 млн. м<sup>3</sup>.

Існуючі технології складування відходів збагачення, а також специфічні умови експлуатації хвостосховищ створюють реальну небезпеку забруднення не тільки гідросфери, а і атмосфери. Відкриті поверхні сухих «пляжів» під впливом вітрових потоків виділяють велику кількість пилу, що забруднює атмосферне повітря і осаджується на значних площах сільськогосподарських угідь.

За даними вимірів у м. Кривий Ріг встановлено, що в окремих випадках на відстані 3,5 км від хвостосховища концентрація пилу в 5 разів перевищує ГДК. При швидкості вітру 4-9 м/с, на дамбі обвалування концентрація пилу коливається від 32 до 600 мг/м<sup>3</sup>. На відстані 500 м від хвостосховища концентрація пилу досягає від 0,4 до 22,9 мг/м<sup>3</sup>.

## 1.2. Методи прогнозування гідродинамічних та гідрохімічних змін в умовах техногенного навантаження

Методи прогнозу режиму підземних вод можна розділити на чотири групи: балансові методи, методи аналогій, аналітичні методи та методи чисельного моделювання.

Балансові методи прогнозів режиму підземних вод ґрунтуються на рішенні рівняння загального водного балансу будь-якої території або балансового рівняння підземних вод. Дослідженням даного методу на першому етапі його розвитку займалися О.М. Костяков (1933), М.М. Крилов

(1930), О.В. Лебедєв (1951) та ін. На другому етапі - Г.М. Каменський (1943), О.В. Лебедєв (1957) та ін. Представниками третього етапу є В.С. Ковалевський (1983), Ю.О. Норватов (1988), В.О. Мироненко (1989) та ін.

Прогнозний баланс складають, аналізуючи умови зміни гідрогеологічного стану об'єктів через визначення складових частин балансу. Цими розрахунками можна встановити потребу в захисному дренажу і величину дренажного модуля.

Прогноз виконується для окремих районів, що виділяються за основними показниками, які формують характер балансу, водно-фізичні властивості порід зони аерації, умови відтоку ґрунтових вод. Інколи баланс диференціюють для характерних періодів вегетаційного і невегетаційного, сезонів року або навіть окремих місяців.

Результати розрахунку прогнозного водного балансу виражають у вигляді сумарної зміни запасів ґрунтової вологи зони аерації або у вигляді середнього для балансової території рівня ґрунтових вод. Якщо баланс додатній, то вважають, що вода надходить на заповнення вільної ємкості, ґрунтів зони аерації, тобто на підвищення рівня ґрунтових вод; якщо баланс від'ємний, то рівень ґрунтових вод знижується внаслідок витрат їх запасів [3].

У тих випадках, коли з яких-небудь причин виключена можливість складання прогнозів режиму підземних вод на підставі порівняно точних методів, прогнози можуть будуватися на основі гідрогеологічної аналогії. Подібні прогнози ґрунтуються на загальних гідрогеологічних закономірності і можуть проводитися двома способами: складанням прогнозів у часі і просторі. Метод аналогій має перевагу у тому, що не потребує масових визначень величин інфільтраційного живлення підземних вод та інших параметрів.

Під час вибору об'єктів-аналогів враховують: подібність природних умов, які визначають ступінь природної дренаваності; конструктивні

особливості інженерних систем; положення гідрогеологічних меж і формування інфільтраційного живлення підземних вод на одиницю площі.

До методу аналогій входять також метод, що заснований на аналізі графіків коливань рівня, який полягає в тому, щоб встановити математичну залежність між коливаннями рівня ґрунтових вод і ритмічними змінами їх джерела живлення, за стабільного впливу інших режимоутворюючих факторів; та метод, заснований на встановленні кореляційних зв'язків режиму з визначаючими його одним або декількома факторами.

Методи чисельного моделювання, на сьогоднішній день, є найбільш універсальним підходом до вирішення прогностичних завдань в гідрогеології. Вони дозволяють враховувати різні гідрогеологічні параметри і режимоутворюючі фактори в прогностичних розрахунках, складні контури зовнішніх та внутрішніх границь водоносного горизонту, неоднорідність фільтраційних властивостей порід та коливання їх потужності, різноманітність умов живлення та розвантаження підземних вод, з забезпеченням достатньої точності виконання інженерних розрахунків.

Побудова моделі складається з таких етапів:

- 1) вибір типу, якості й структури моделі;
- 2) аналіз і апроксимація початкової інформації;
- 3) ідентифікація моделі;
- 4) використання і адаптація моделі.

Структуру моделі (просторові межі, шаруватість, ступінь дискретизації) вибирають, виходячи зі схематизованих гідрогеологічних умов технічних засобів, мети і потрібної точності вирішення інженерної задачі.

Найбільшого поширення в гідрогеології отримали два методи вирішення основних диференціальних рівнянь фільтрації: метод кінцевих різниць і метод кінцевих елементів. Перший ґрунтується на дробленні досліджуваної території на кінцеве число блоків (осередків), другий метод ділить всю область на кінцеву величину елементів. Обидва методи мають ряд



переваг і недоліків. Статистичні методи дозволяють враховувати при розрахунках лише головні режимоутворюючі фактори. В основу даних прогнозів зазвичай кладуться парні і множинні кореляційні зв'язки рівнів або витрат підземних вод з основними метеорологічними чинниками. Розрахунки найчастіше ведуться по лінійним рівнянням парної або множинної кореляції (Ковалевський, 1983).

Прогнозні розрахунки виконуються за допомогою відповідних обчислювальних програм. Якщо точність прогнозу не задовольняє, то виконують додаткові польові дослідження для уточнення параметрів і їх розподілу з метою зменшення похибки їх апроксимації. Особливо це стосується параметрів, які найбільш сильно впливають на результати розрахунків. Після отримання додаткової інформації модель корегується і прогнозні розрахунки повторюються.

Теоретичною основою прогнозу якості підземних вод є теорія масопереносу в фільтрує середовищі, а стосовно гідрологічних завдань - теорія міграції речовин в гірських породах і в підземних водах, в якій в схематизованому вигляді враховуються деякі гідрологічні та фізико-хімічні чинники. Застосування різних моделей масопереносу до завдань прогнозу якості води в водозаборах підземних вод в даний час обмежений недостатньою вивченістю відповідності тих чи інших моделей реальним умовам поширення речовин у підземній сфері і недоліком відомостей про параметри масопереносу, які специфічні для різних речовин і порід і умов їх взаємодії.

Для визначення параметрів масообміну необхідні спеціальні польові експерименти, методика проведення яких і інтерпретація результатів розроблені також ще недостатньо. Зазвичай при прогнозах якості води у водозаборах використовується найбільш проста модель конвективного переносу, в якій враховується тільки основний фактор міграції - перенесення речовин з частинками води при їх однаковій усередненої швидкості руху. У цій схемі нескладно врахувати дисперсію і окремий випадок сорбції -

рівноважну сорбцію. Прогноз складається в два етапи. Спочатку тим чи іншим методом проводять розрахунок планової фільтрації (як правило, можна обмежитися розглядом стаціонарного режиму) з побудовою гідродинамічно сітки руху підземних вод. При цьому виділяють область харчування водозабору, яка представляє інтерес окремі лінії і лінії току, наприклад зв'язують водозабір з контурами поширення некондиційних підземних вод, з ділянками розташування джерел забруднення та тп.

Потім по виділених смугах току проводять розрахунки міграції речовини в одновимірному потоці з урахуванням тільки горизонтальної швидкості фільтрації. У деяких випадках (значна роль інфільтрації забруднених вод у водоносний горизонт з поверхні, вертикальна система фільтрації неоднорідність, підвищена щільність інфільтруються вод та ін.) Для виділених смуг току доцільно вивчати міграцію в профільно-двовірному потоці з урахуванням різниці горизонтальних і вертикальних складових швидкості фільтрації; методика цих розрахунків розглянута в роботах В.М. Шестакова і Л. С. Рибникова. Для прогнозу масопереносу в підземних водах застосовують різні методи розрахунку - аналітичні (для простих схем фільтрації і міграції), графоаналітичні, а також аналогове і чисельне моделювання.

Розрахунок режиму рівнів (динаміки) ґрунтових вод за допомогою аналогових чи чисельних методів не завжди можливий, що пояснюється насамперед складністю ведення розрахунків і нечіткою явністю кінцевих і граничних умов. Тому розроблено багато аналітичних методів, які характеризують різні умови розрахунку.

Методика аналітичних розрахунків, що дозволяють для деяких схематизованих умов і розрахункових схем визначити на основі моделі конвективного перенесення час і дальність просування кордону розділу чистих і забруднених вод при роботі водозабору, викладена в роботах [4-7].

Прогноз забруднення ґрунтових вод, ґрунтів і підтоплення територій розробляють на підставі результатів комплексних інженерно-геологічних вишукувань і досліджень.

При очікуваному слабкому впливі накопичувача на сформовану екологічну обстановку, а також на стадії ТЕО прогнозні гідрогеологічні задачі можуть вирішуватися аналітичними методами або на профільних моделях характерних перетинів.

У складних умовах функціонування накопичувача повинно проводитися моделювання планової фільтрації з використанням ЕОМ. При цьому можливе проведення спеціальних досліджень фільтрації забруднених вод з урахуванням явищ сорбції, десорбції, конвективної дифузії, змішування вод різного складу, мінералізації, температурного режиму тощо.

### 1.3. Заходи щодо зменшення впливу хвостосховищ на гідрогеологічний режим прилеглих територій

Забруднення земель в районах знаходження хвостосховищ відбувається внаслідок відкритого скидання в тій чи іншій мірі очищених стічних вод з хвостосховища, а також фільтраційними водами, які надходять з його тіла в ґрунтовий потік навколишньої території. Досвід експлуатації ряду гірничо-збагачувальних комбінатів показав, що із загального обсягу втрат води в технологічному процесі збагачення руд 75-80% становлять втрати на фільтрацію з хвостосховища.

Проблеми безпеки накопичувачів промстоків описують Аксьонов С.Г. та Жабовский В.П. [8], де основними видами можливого впливу хвостових та шламових господарств на стан навколишнього середовища вважають:

- вилучення сільськогосподарських угідь, вирубання лісів та проведення будівництва на території, яка використовується для розміщення споруд, загальні зміни ландшафту, та, як наслідок, зміна умов господарської діяльності;

- порушення структури ґрунтів;

- зміни гідродинамічного та гідрохімічного режиму підземних вод;
- затоплення та підтоплення земель, з їх подальшим засоленням та заболоченням;
- забруднення водопріймачів надлишковими стічними водами;
- забруднення повітря за рахунок виділення пилу;
- зміни умов життя населення, в тому числі при запобіганні виникненню надзвичайних аварійних ситуацій;
- забруднення повітря за рахунок роботи спецтехніки при експлуатації хвостосховища або шламонакопичувача;
- радіоактивне забруднення, внаслідок накопичення відходів з радіаційними властивостями з підприємств гірничодобувної, хімічної та вугільної промисловості. Зокрема, хвостові господарства підприємств уранодобувної і переробної промисловості є екологічно найбільш небезпечними через наявність у них радію-226, торію-230 та залишкового урану.

Гідросферні забруднення, які відбуваються при неналежній експлуатації хвостосховищ, як приклад, аварійне надходження промислових вод і пульпи в поверхневі водойми, скидання стічних вод, змив атмосферними опадами забруднюючих речовин з укосів дамб і гребель, міграція забруднюючих речовин в підземні водоносні горизонти створюють проблеми у водокористуванні прилеглих територій.

Питання комплексного системного підходу, встановлення причинно-наслідкових зв'язків технологічних прийомів експлуатації об'єктів і стану навколишнього природного середовища, систематизації техногенних впливів і їх наслідків, розробки методів екологічного картографування, інженерно-екологічного районування, організації інженерного захисту та розробки природоохоронних технологій розглядаються в роботах В.А. Богословського, Б.В. Виноградова, А.Є. Воробйова, М.А. Глазовської, Г.А. Голодковської, Т.Я. Ємельянової, О.Д. Жигалина, Б.О. Іванова, М.С. Касимова, А.О. Касьяненко, В.О. Корольова, Ф.В. Котлова, Н.С. Красиловой, М.Б. Курінова,

А.Б. Лолаева, Г.Г. Мірзаєва, В.І. Осипова, В.Т. Трофимова, А.Л. Чеховського та інших.

Забезпеченню фільтраційної стійкості споруд, влаштуванню протифільтраційних екранів і екологічної безпеки свої роботи присвятили А.М. Гальперін, Є.М. Добров, С.М. Долгих, І.В. Дудлер, С.М. Ємельянов, О.Ф. Зоценко, Р.Г. Кочетков, В.В. Мосейкин, В.П. Ягін та ряд зарубіжних авторів.

Хвостосховища збагачувальних фабрик акумулюють не тільки відходи збагачення корисних копалин, але й технічні води. Водозабірними спорудами безперервно відкачується освітлений злив, в якому під дією сили тяжіння вже осіла тверда фаза. Такі води використовуються у якості оборотної води або, частково, вони можуть скидатися до природних водойм, з умовою їх очищення до ГДК шкідливих речовин.

Процеси фільтрації техногенних вод із хвостосховищ у деяких випадках призводять до забруднення водного басейну, підтоплення або заболочення прилеглих територій. Як приклад, більшість гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу мають фільтраційні втрати з хвостосховищ у розмірі 500-2500 м<sup>3</sup>/год.

Методи захисту підземних вод від забруднення розглядаються Рудаковим Д.В. у посібнику «Математичні методи в охороні підземних вод» [9] та включають такі заходи:

- пасивні – засновані на використанні природних бар'єрів;
- профілактичні – передбачають створення певних штучних бар'єрів на шляху міграції;
- активні – спрямовані на вилучення токсичних речовин з водоносного горизонту або їхню нейтралізацію.

*Пасивні заходи* передбачають використання природних бар'єрів, але їх застосування доцільне у разі невеликого за обсягом джерела забруднення підземних вод. Такими бар'єрами на шляху міграції токсичних речовин є геологічні структури, в яких відбувається зменшення концентрації токсичних

речовин. Основою функціонування таких перешкод міграції забруднюючих речовин є наступні процеси:

- сорбція розчинних речовин гірськими породами;
- розсіювання речовин унаслідок гідродинамічної дисперсії;
- хімічна нейтралізація, радіоактивний розпад та біодеградація.

Застосування природних бар'єрів потребує вивчення геоморфології ділянки, її геологічної та гідрогеологічної будови. Також необхідно мати повноцінне уявлення про забруднюючі речовини та характер їх поширення.

Бар'єри такого роду, як правило, використовують у випадку слаботоксичних речовин або об'єктів з малим ризиком за умови незначних фільтраційних градієнтів, низької інтенсивності водообміну та невеликої проникності водоносних порід. Слід також враховувати, що іноді продукти розпаду забруднювальних речовин виявляються більш токсичними, ніж початкові речовини.

Профілактичними заходами захисту підземних вод вважають влаштування штучних бар'єрів, таких як захисні екрани або поверхневі покриття (наприклад, капілярні бар'єри).

Запобігання забрудненню навколишнього середовища агресивними водами хвостосховищ можливо за рахунок створення протифільтраційного захисту в основі наливної споруди, в природних ґрунтах або шарі укладених хвостів за рахунок використання прийомів кольматації ґрунтів (на початковій стадії експлуатації хвостосховищ).

Для забезпечення протифільтраційних заходів на хвостосховищах найбільш ефективна і економічна їх реалізація ще на стадіях проектування і будівництва.

У випадку, коли проблеми фільтраційних втрат виникають в процесі експлуатації хвостосховища, боротьба з ними ведеться шляхом наміву або відсіпання ґрунту з низькою водопроникністю, вмиванням найдрібніших глинистих або мулистих частинок в пори і тріщини в ґрунтах, також

використовують спосіб хімічної кольматації ґрунтів (переважно піщаних і супіщаних) шляхом обробки поверхневого шару спеціальними речовинами.

Для протифільтраційного захисту територій, прилеглих до хвостосховищ і шламонакопичувачів, використовують стінки, екрани, діафрагми, завіси в поєднанні з дренажем або без нього (на основі техніко-економічного порівняння варіантів).

Для запобігання фільтрації хімічно забруднених стоків через основу накопичувача у незахищені водоносні горизонти у чаші накопичувача влаштовують протифільтраційний екран.

Конструкція та матеріали протифільтраційного екрану обираються на основі моделювання, фільтраційних розрахунків, а також техніко-економічного порівняння варіантів.

Найбільш поширеним методом на даний час є застосування глинистих екранів. Проте протифільтраційні екрани з глинистого матеріалу не запобігають дифузії електролітів та органічних речовин, які також можуть слугувати причинами забруднення навколишнього середовища.

Під впливом кліматичних факторів виникають такі недоліки ґрунтових екранів як розмив екрану, утворення тріщин і т. д. Для усунення таких недоліків застосовуються фізичні (ущільнення ґрунтів механічним шляхом, замочування водою, термічний вплив), хімічні (силікатизація, смолізація) та електричні методи (електрохімічне закріплення).

При відсутності у місці будівництва глинистих ґрунтів, доцільним є використання плівкових екранів, які мають високий екрануючий ефект та продуктивність.

Розповсюдженим методом екранування є укладання геомембрани (рис.1.3, 1.5). Комбінований екран включає підстиляючий шар ґрунту, геомембрану (робочий шар) і захисний шар ґрунту (рис.1.4).

В якості додаткового робочого шару можуть застосовуватися жирна глина, бентонітові мати (рис.1.6). В якості додаткового захисного шару можуть застосовуватися бетонні, залізобетонні, асфальтобетонні покриття.

Наочним прикладом використання геомембран є Центральний ГЗК м.Кривий Ріг (рис.1.3.3.)



Рис.1.3. Схема укладання екрану з геомембрани



Рис.1.4. Схема укладання екрану з геомембрани та захисного шару з пригрузкою

Перспективним засобом створення протифільтраційного екрану зарекомендувало спорудження екрану з тонкодисперсних відкладів ставкових зон, які укладаються на екрановану поверхню механічним шляхом. У ставковій зоні хвостосховища осаджуються дисперсні частинки діаметром менше 0.05 мм. Коефіцієнт фільтрації відкладів цієї зони нижче ефективного коефіцієнта плівкових екранів та коефіцієнтів фільтрації глинистих ґрунтів з подібним гранулометричним складом.





Рис.1.5. Улаштування протифільтраційного екрану шламосховища

Рис.1.6. Екранування дамби шламосховища бентонітовими матами

*Активними заходами* відновлення якості підземних вод, описаними Мироненко [10] та Ситніковим [11], вважають гідродинамічну локалізацію, фізико-хімічну нейтралізацію, очистку забруднених підземних вод та ґрунтів

за допомогою хімічних реагентів та фільтрів, бактерій та шляхом термічного впливу.

Гідродинамічна локалізація забруднення здійснюється шляхом спрямованої зміни фільтраційного потоку, наприклад створенням гідрозавіс.

Гідрозавіси передбачають створення гідродинамічного бар'єру на шляху міграції забруднення. Для цього передбачується спорудження ряду нагнітаючих свердловин вниз по потоку забруднених вод та подальшою безперервною закачкою у них чистої води з незалежного зовнішнього джерела. Відмітки п'езометричних рівней по контуру гідрозавіси мають забезпечувати створення штучного вододілу підземних вод на шляху міграції забруднених вод, який стримуватиме їх подальше розповсюдження по пласту.

В умовах потоку забруднених вод обмеженої ширини та інтенсивності можливе розміщення нагнітаючих та відкачувальних свердловин нижче по потоку від ореолу забруднення.

Завдяки створенню штучного вододілу в умовах сталого руху підземних вод між лініями відкачуючих та нагнітаючих свердловин, ореол забруднення утримується в певних межах, а не забруднені підземні води обтікають його.

Фізико-хімічна нейтралізація, наприклад ділянок кислотного забруднення після підземного вилуговування руд металів, може здійснюватися шляхом закачування вапняних розчинів з подальшим змінням рН підземних вод.

Поширеним методом очистки підземних вод є влаштування системи відкачування вод на поверхню, їх подальшого очищення та закачування до чистих ділянок водоносного горизонту.

Біологічна очистка підземних вод та ґрунтів досягається шляхом внесення до зони забруднення спеціальних бактерій, які ростуть і живляться речовиною, яка вилучається або нейтралізується.

Термічна очистка проводиться за допомогою нагрівальних елементів, які збільшують температуру забрудненого ґрунту й органічні речовини переходять у газоподібний стан. Одночасно повітря, що містить леткі речовини, видаляється з ґрунту вакуумними насосами і подається на очисний фільтр. Доцільне використання цього методу для зони аерації.

Одне з хвостосховищ Криворізького басейну - хвостосховище «Об'єднане» (ПГЗК), побудоване за необхідністю створення нових ємностей для складування хвостів збагачення, в зв'язку з досягненням існуючими хвостосховищами межі технічної і економічної доцільності їх нарощування. Сховище розміщене на вододілі (район б.б. Грушеватой і Вовчище) та має загальну площу - 713 га.

Згідно даних звітів з оцінки впливу на довкілля [12] мінеральний склад накопичуваних шламів у відсотках становить: магнетит - 1,8; магнетит + гематит - 1,0; карбонати - 17,0; силікати - 6,0; гідроксиди Fe - 5,3; кварц - 64,4; кальцит - 4,2; апатит - 0,3.

Рівень води у сховищі відповідає абсолютній відмітці 119,92 м при відмітці гребеня греблі +125 м. Об'єми висвітленої досягає 3,2 млн м<sup>3</sup>. Середня мінералізація вод становить 21,6 г/л. Для збору відфільтрованої води по периметру хвостосховища прокладено дренажний лоток з перфорованими стінками. Води скидаються по 16 водовипускам у дренажний канал навколо сховища. Об'єм перехвачуваних дренажних вод у 1990 році становив 12,480 млн. м<sup>3</sup>.

Ємність хвостосховища «Об'єднане. Друга карта», які примикає до південної огорожувальної дамби хвостосховища «Об'єднане. Перша карта» побудоване з екрануванням чаші полімерною мембраною товщиною 1 мм, що практично виключає вплив хвостосховища на гідродинамічний і гідрохімічний режими підземних вод району.

Для недопущення підтоплення і забруднення території виконувалось екранування чаші хвостосховища – геомембраною. Геомембрана представляє собою ізолююче полімерне рулонне полотно, яке виготовляється на основі

поліетилену високої щільності (низького тиску) - ПНТ (HDPE) з коефіцієнтом фільтрації  $K_{\phi} = 1 \cdot 10^{-9}$  м/добу. За прогнозом максимальні втрати в лесовидні суглинки складуть не більше 20 м<sup>3</sup>/добу, що не приведе до розширення площі четвертинного водоносного горизонту.

Для забезпечення консолідації хвостів, покладених в чаші первісної ємності хвостосховища, передбачений стрічковий дренаж. Стрічковий дренаж укладений по всій чаші хвостосховища поверх захисного шару екрану. Крок стрічкового дренажу 40 м. Дренажна стрічка представляє собою тришаровий зворотний фільтр, що складається з наступних шарів:

- центральний провідний шар - щебінь фракцією 20-40 мм;
- другий шар - щебінь фракцією 5-10 мм,  $h = 0,3$  м;
- третій шар - крупнозернистий пісок  $h = 0,3$  м.

Для захисту ґрунтів, прилеглих до хвостосховищ територій від забруднення фільтраційними водами та підтоплення, а також захисту поверхневих та підземних вод від забруднення фільтраційними водами на етапах будівництва та експлуатації цього хвостосховища застосовувалися спеціальні заходи:

- на етапі будівництва:
  - 1) будівництво огорожуючих споруд із суворим дотриманням проектних рішень;
  - 2) реконструкція існуючої системи дренажу;
  - 3) екранування чаші хвостосховища - геомембраною (ізолюючим полімерним рулонним полотном, яке виготовляється на основі поліетилену високої щільності (низького тиску) - ПНТ (HDPE)).
- на етапі експлуатації об'єкту:
  - 1) дотримання проектної технології наміву хвостів;
  - 2) контроль рівня води в ставку зворотних вод;
  - 3) контроль технічного стану дренажної та водозбірної мережі;
  - 4) контроль режиму роботи дренажних та фільтраційних насосних станцій;

- 5) попередження аварійних ситуацій на пульпопроводах;
- 6) своєчасний огляд, технічне обслуговування та ремонт системи гідротранспорту хвостів, мереж кар'єрних водоводів;

7) проведення моніторингових досліджень та інструментальних вимірів:

- моніторинг гідродинамічного режиму основних водоносних горизонтів навколо території планованої діяльності;
- інструментальні виміри рівня води в хвостосховищі;
- моніторинг стану забруднення ґрунтів навколо хвостосховища (моніторинг місця видалення відходів – хвостів збагачення);
- моніторинг якісного та кількісного складу забруднюючих речовин зворотних вод;
- контроль якісного стану підземних горизонтів через локальні мережі спостережувальних свердловин;
- моніторинг якісного та кількісного складу забруднюючих речовин в р.

Інгулець;

- проведення фільтраційних спостережень (контроль контуру ставка в чаші хвостосховища; вимірювання витрат фільтраційних вод дренажної системи; контроль місць виклинювання фільтраційних вод на відкосі та біля підшви дамби).

Додаткові заходи, направлені на попередження забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод:

- на етапі будівництва:
  - створення додаткових спеціально облаштованих майданчиків, для заправки транспортних засобів та технічного обслуговування спецтехніки, за для попередження забруднення ґрунтів прилеглої території, поверхневих та підземних вод нафтопродуктами;
  - зняття родючого шару ґрунту до початку будівельних робіт.
- на етапі експлуатації об'єкту:

- проведення заправки транспортних засобів та технічного обслуговування спецтехніки на спеціально облаштованих майданчиках із бетонованим покриттям;

- недопущення до виконання будівельних робіт транспортних засобів із витокami нафтопродуктів з гідравлічних та паливних систем;

- контроль місць та об'ємів утворення відходів, своєчасна передача відходів на утилізацію або для видалення іншим власникам, які мають ліцензію або дозвіл на поводження з відходами.

Згідно державних будівельних норм, моніторинг потенційно небезпечних явищ необхідно вести, розпочинаючи з передпроектних робіт, та продовжувати весь термін проектування, будівництва і експлуатації, а також консервації хвостового (шламового) господарства підприємства.

Важливе значення має виконання такого завдання з охорони підземних вод від забруднення, як встановлення зон санітарної охорони навколо хвостосховища.

Санітарно-захисна зона накопичувача являє собою сукупність підзон охорони різних природних середовищ (вод, повітря, ґрунтів). Розміри і розташування кожної з підзон на стадії проектування визначається розрахунками з урахуванням проведення природоохоронних інженерних заходів.


Перелік природоохоронних заходів, здійснюваних в кожній з підзон, визначається виходячи з виду і інтенсивності негативного впливу накопичувача.

Після введення накопичувача в експлуатацію проект захисної зони коригується як за розмірами, так і по номенклатурі проведених захисних заходів.

При наявності специфічних умов, що сприяють міграції забруднень далеко за межі розрахункових захисних зон, в проекті слід передбачати заходи, що виключають або значно знижують таку міграцію.

Заходи з охорони навколишнього середовища необхідно передбачати на самому накопичувачі і в межах його охоронних зон [13, 14].

Об'єктом дослідження стало проектуване хвостосховище Іршанського гірничо-збагачувального комбінату. Вплив на гідродинамічний та гідрохімічний режим ділянки хвостосховища, а також прилеглої території потребує детального вивчення та прогнозування для оцінки екологічної безпеки.



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

## 2.ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Фізико-географічні та геоморфологічні умови

У фізико-географічному відношенні територія розташована в межах південного-заходу Східноєвропейської рівнини та розташована в зоні мішаних лісів. Ділянка вишукувань приурочена до Поліського краю, та знаходиться в межах Іршансько-Малинського району, області Житомирського Полісся.

В адміністративному відношенні ділянка досліджень знаходиться в центральній частині Житомирської області в межах Хорошівського району, між селищами Забрание та Буки (рис. 2.1).



Рис.2.1. Положення хвостосховища Іршанського ГЗК на топооснові



За структурно-геоморфологічним районуванням район досліджень знаходиться в межах Придніпровсько-приазовської області пластово-денудаційних цокольних височин та низовин, приурочений до Житомирської аккумулятивно-денудаційної рівнини на докембрійських і кайнозойських відкладах.

Район характеризується хвилястою формою рельєфу з загальним зниженням на північних схід. Рівнинність рельєфу порушується тільки річковими долинами з їх терасами, заболоченими низинами та невеликими горбами. Горбистість обумовлена виходами кристалічних порід, а також аккумулятивними процесами (еолового та моренного походження).

Згідно з геоморфологічною картою України, ділянка розміщення хвостосховища за структурно-генетичним типом відноситься до денудаційно-аккумулятивного типу рельєфу та приурочена до моренно-зандрової рівнини.

Територія приурочена до межиріччя річок Рихта, Добринка та Тростяниця. Найближчий великий гідрологічний об'єкт, річка Добринка, знаходиться на відстані 2.0 км у південно-східному напрямку з положенням рівня води на відмітці 168 м над рівнем моря. Місцевий базис ерозії складає 139 м та відповідає положенню рівня поверхневих вод в Малинському водосховищі.

Наявність закритих безстічних понижених частин рельєфу сприяють утворенню локальних обводнених ділянок за рахунок атмосферних опадів та танення снігового покриву.

Рельєф ділянки вишукувань хвилястий, не забудований. Територія вишукувань вкрита рослинністю та характеризується наявністю заболочених ділянок. Абсолютні позначки поверхні землі коливаються в межах 177.38 – 182.88 м в Балтійській системі висот.

Клімат району помірно-континентальний, з теплим вологим літом та м'якою хмарною зимою. Середньорічна температура повітря складає 7,2°C.

Найхолодніший місяць січень має середню місячну температуру  $-5,1^{\circ}\text{C}$ . Абсолютна мінімальна температура  $-29,0^{\circ}\text{C}$ . Самий спекотний місяць липень має середньомісячну температуру  $+18,5^{\circ}\text{C}$ . Абсолютна максимальна температура  $+27,0^{\circ}\text{C}$ .

Тривалість безморозного періоду 150...170 днів. Заморозки ночами починаються з другої декади вересня і закінчуються у першій декаді травня. У січні переважають вітри західного напрямку зі середньою швидкістю 4,5 м/с, а в липні – північно-західного з середньою швидкістю 3,73 м/с. Повторюваність штилю у січні складає 3,7%, у липні – 10,4%. Середня швидкість вітру – 4.6 м/с, переважає північно-західний та західний напрямок вітру.

Середньорічна вологість становить 79%. Середньорічна кількість опадів – 613 мм, з них 80 мм випадають у вигляді мокрого снігу. Сніговий покрив рівномірний (10...30 см) і триває 95...110 днів.

## 2.2. Інженерно-геологічні умови

У геоструктурному відношенні територія досліджень розташована в північно-західній частині Українського щита, в межах Волинського мегаблоку. В геологічній будові району беруть участь відклади мезозойської і кайнозойської ератем та утворення протерозойської і архейської акротем [15].

Відклади мезозойської та кайнозойської ератем складають осадовий чохол, який практично на всіх ділянках аркуша перекриває утворення кристалічного фундаменту.

Протерозойські та архейські утворення кристалічного фундаменту належать до трьох структурних ярусів, складнодислокованих та еродованих. Нижній ярус складений інтенсивно дислокованими утвореннями архею, представленими ортопіроксеновими кристалосланцями. Середній ярус складений дислокованими переважно метаморфічними та ультраметаморфічними породами нижнього протерозою, представленими

гнейсами біотитовими, гранат-біотитовими, амфіболітами та кальцифірами. Верхній ярус складений слабо метаморфізованими відкладами, представленими пісковиками кварцитоподібними, кварцитами, сланцями квац-хлорит-серицитовими, метаалевролітами.

Нестратифіковані утворення характеризуються значним поширенням і представлені ультраметаморфічними, інтрузивними і метасоматичними породами раннього та середнього протерозою. Більша частина району досліджень охоплена інтрузивними утвореннями коростенського комплексу, представленими габроанортозитами, габро та габроноритами.

Утворення мезозойської ератеми представлені нижнім та верхнім відділами крейдової системи. Нижній відділ представлений іршанською світою аптського ярусу, верхній – мощно-руднянською світою туронського ярусу.

Відклади іршанської світи виповнюють давні поховані долини, та представлені світло-сірими до темно-сірих, різнозернистими кварцовими пісками, пісковиками та вуглистими глинами, алевритами і вторинними каолінами, які у вигляді прошарків різної потужності прешаровуються між собою.

Характерною ознакою літологічного складу відкладів іршанської світи є погана сортованість піщаного матеріалу, високий вміст ільменіту та часта зміна в розрізах глинисто-каолінистого матеріалу піщаним і навпаки.

Глини в розрізі іршанської світи займають підлегле положення і приурочені до її нижньої частини. Глини сірі, інколи чорні із зеленуватим відтінком, різною мірою вуглисті, часто каолінисті, піщані.

Вторинні каоліни займають різне положення в розрізі відкладів світи, однак найчастіше зустрічаються в нижній його частині.

Відклади мощно-руднянської світи зустрічаються у вигляді «острівків». Тут вони виповнюють глибокі ділянки врізу древніх долин, що збереглися від подальшого розмиву. Відклади мощно-руднянської світи є мілководними прибрежно-морськими утвореннями. Представлені вони

крем'яним горизонтом з окремими потужними прошарками і лінзами кремневого пісковика і кремнілих вапняків, а також глауконіт-кварцовими пісками, які виповнюють пустоти серед крем'яних стягнень і утворюють невеликі прошарки.

Перекриваються відклади мошно-руднянської світи відкладами четвертинної системи.

Утворення кайнозойської ератеми представлені четвертинними відкладами, які мають широке, але не судильне поширення через денудаційні останці, які являють собою природні виходи корінних порід у межах окремих вододільних ділянок та схилів долин річок (рис. 2.2).

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

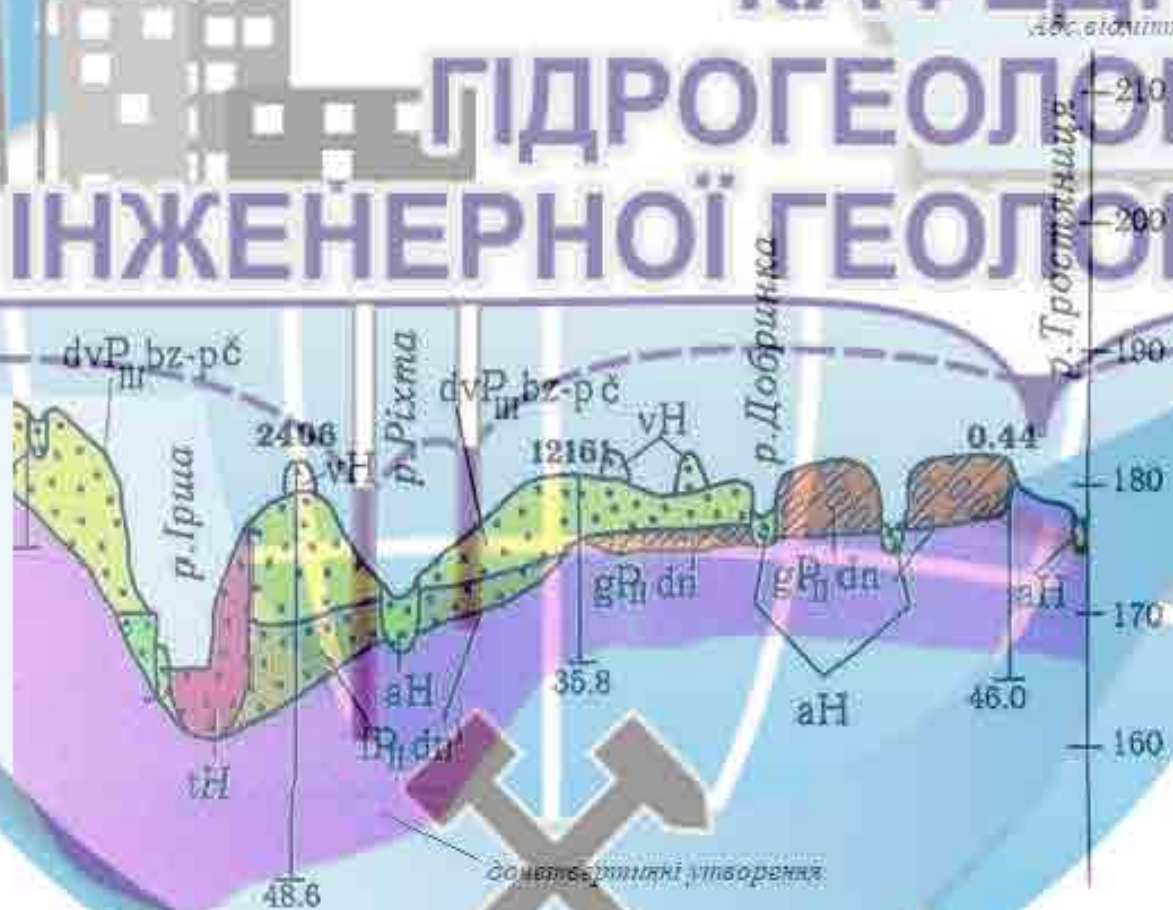


Рис. 2.2. Схематична будова четвертинних відкладів району досліджень

Будова четвертинного покриву по площі дуже неоднорідна, що зумовлено значною диференціацією території за морфоструктурними особливостями і наявністю великої кількості дрібних і локальних ділянок рельєфу льодовикового, денудаційного, еолового та флювіального

походження. Четвертинні відклади представлені в основному стратонами неоплейстоцену та голоцену.

До глибини 18.0 м в геологічній будові ділянки хвостосховища беруть участь інтрузивні кристалічні породи протерозою, осадові породи крейдової системи, представлені алювіально-делювіальними відкладами іршанської свити та морськими відкладами мощно-руднянської свити (не виражені в розрізах, проте поширені на ділянці у вигляді окремих стяжінь і тонких прошарків кременю), осадові породи четвертинної системи, представлені флювіогляціальними відкладами середнього неоплейстоцену, еолово-делювіальними відкладами верхнього неоплейстоцену, та алювіальними відкладами голоцену. Літологічний розріз ділянки складений супіском піщанистим, товщею піску мілкого та середньої крупності, легким піщанистим суглинком, вторинними каолінами (глина легка, піщаниста з прошарками важкої глини), первинними каолінами (суглинок легкий, пилуватий з прошарками важкого суглинку), корою вивітрювання (супісок піщанистий з прошарками важкої глини), а також габро-лабродоритом крупнозернистим. З поверхні вони перекриті чохлам сучасних утворень — ґрунтово-рослинним шаром.

### 2.3. Гідрогеологічні умови

За гідрогеологічним районуванням ділянка розташована в межах гідрогеологічної області тріщинних вод Українського кристалічного масиву.

Усі осадові та кристалічні породи, які беруть участь у геологічній будові території досліджень, значною мірою обводнені, що зумовлено численними факторами, головними серед яких є надмірність атмосферних опадів і низька їх випаровуваність, перевага інфільтрації атмосферних опадів над поверхневим стоком, відсутність витриманих і потужних водоупорів, що сприяє тісному гідравлічному зв'язку водоносних горизонтів і комплексів.

Горизонти підземних вод в районі досліджень приурочені до тріщинуватої зони кристалічних порід, і меншою мірою – до відкладів крейдової і четвертинної систем.

В межах досліджуваної території розповсюджений водоносний комплекс, приурочений до еолово-делювіальних відкладів верхнього неоплейстоцену та флювіолгляціальних відкладів середнього неоплейстоцену  $dvP_{III} + f.lgP_{II}$ , а також водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід та кори вивітрювання PR+ek(Mz-Kz), що гідравлічно пов'язаний з водоносним комплексом четвертинних відкладів. Глибина залягання рівня ґрунтових вод становить 0.8 – 3.2 м, що відповідає абсолютним відміткам 176.44 – 179.77 м.

ґрунтові води сульфатні кальцієві, безнапірні, не захищені. Водовмісними породами слугують піски мілкі та середньої крупності, супіски, суглинки та тріщинуваті кристалічні породи. Умовним локальним водотривом, що розділяє вищезазначений водоносний комплекс та водоносний горизонт, являються глини та суглинки крейдового віку (K1).

Живлення водоносного комплексу змішане та здійснюється за рахунок підпору поверхневих вод в період паводків зі сторони поверхневих водоймищ та водотоків, а також за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та втрат із водонесучих підземних комунікацій. Режим ґрунтових вод не постійний, залежить від пори року і кількості опадів та напряду пов'язаний з гідрологічним режимом поверхневих водоймищ.

Згідно з гідрологічним режимом в районі вишукувань максимальний рівень ґрунтових вод припадає на квітень та травень, мінімальний — на серпень та вересень. Коливання рівня ґрунтових вод, в залежності від природніх чинників (річні коливання рівня води в водотоках) та техногенного впливу (втрати з водонесучих комунікацій), без урахування катастрофічних техногенних та природніх явищ, може досягати 0.5 – 1.0 м.

Досліджувана територія згідно ДБН В.1.1-24-2009 "Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення" відноситься до підтоплених.

Фільтраційні властивості ґрунтів ділянки вишукувань, встановлені згідно з даними фондових матеріалів та нормативної літератури, наведено в табл.2.1.

Значення коефіцієнтів фільтрації піщано-глинистих ґрунтів, визначені лабораторними методами при оптимальній вологості та максимальній щільності, представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Фільтраційні властивості ґрунтів ділянки будівництва

ІґЕ	Найменування ґрунтів	Коефіцієнт фільтрації, м/добу
3	Пісок середньої крупності	1,78...11,0
4а; 4б	Пісок мілкий	0,1...1,4
5а; 5б	Супісок піщанистий	0,26...1,0
6	Суглинок піщанистий	0,05...0,08
7	Каолін вторинний (глина)	0,001
8	Каолін первинний (суглинок)	0,02
9	Каолінізована кора вивітрювання (супісок)	0,057
10	Верхня тріщинувата зона кристалічного фундаменту	1,5...2,5

Таблиця 2.2 – Фільтраційні властивості ґрунтів ділянки будівництва

ІґЕ	Найменування ґрунтів	Значення коефіцієнту фільтрації, м/добу	
		за результатами визначень	розрахунковий
4а; 4б	Пісок мілкий	1,62... 19,9	10,44
6	Суглинок піщанистий	0,007... 0,279	0,13
7	Каолін вторинний (глина)	0,015	0,015
8	Каолін первинний (суглинок)	0,09... 0,02	0,01

### 3. МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ТА МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩА

#### 3.1. Математична основа комп'ютерного моделювання процесів геофільтрації та геоміграції

Для дослідження геофільтраційних та геоміграційних процесів території хвостосховища Іршанського ГЗК та територій, які знаходяться у його зоні впливу, застосовується чисельна модель геофільтрації. Створення геофільтраційних моделей розглядалося Є.О.Ломакіним, В.О. Мироненко, Шестаковим В.М. у роботі [16]. Модель представляє собою тривимірний потік підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується частковим диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (3.1)$$

де  $k_{xx}$ ,  $k_{yy}$  і  $k_{zz}$  – гідрравлічні провідності у напрямку координатних осей  $X$ ,  $Y$  і  $Z$ ;  $(L/T)$ ;  $h$  – шукана функція напору ( $L$ );  $W$  – одинична витрата потоку ( $T^{-1}$ ), яка для вхідного потоку  $W > 0$ , для вихідного потоку –  $W < 0$ ;  $S_s$  – питома ємність пористого середовища ( $L^{-1}$ );  $t$  – час ( $T$ ).

Рівняння (3.1) разом з граничними і початковими умовами описує тривимірний нестационарний потік підземних вод в гетерогенному і анізотропному середовищі за умови, що основні напрямки гідрравлічних провідностей співпадають з напрямками координатних осей [16,17,18].

Для вирішення рівняння (3.1) в чисельній моделі використовується метод кінцевих різностей, згідно з яким виконується дискретизація області фільтрації прямокутною сіткою на окремі розрахункові блоки. В межах кожного блоку існує лише одна центральна точка, яка називається вузловою, і для якої розраховується значення напору (див.рис.3.1).



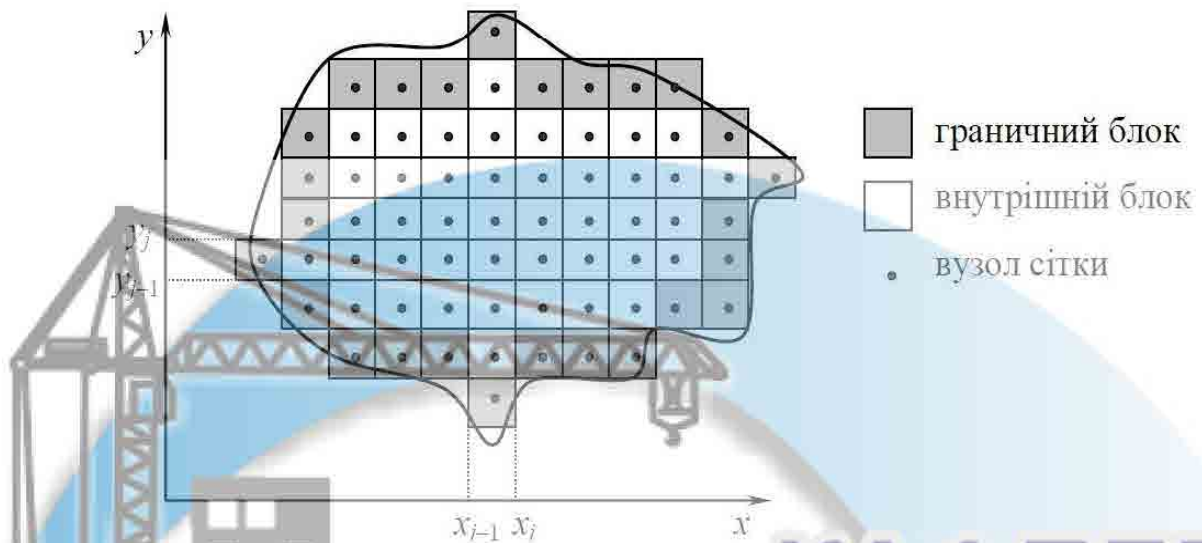
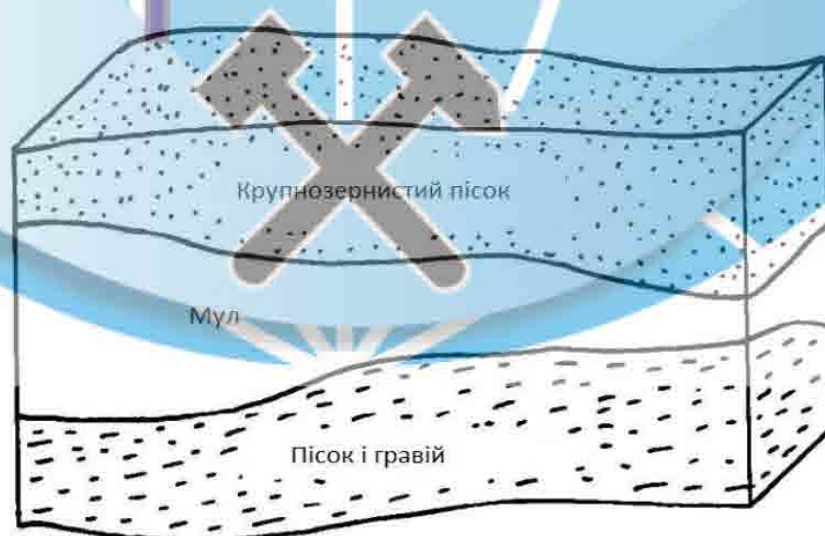


Рис.3.1. Схема скінченнорізницевої апроксимації області

Незважаючи на таке спрощення, модель дозволяє відтворювати складну структуру та форму області, змінюючи параметри у різних вузлах сітки, а також розміри блоків (рис.3.2).

Параметри сітки визначаються розмірами окремих блоків  $DEL R$  і  $DEL C$ . Колонки блоків нумеруються в плановому представленні, починаючи з лівої сторони, а рядки пронумеровані починаючи з верхнього краю сітки.  $DEL R_j$  – ширина блоків в колонці  $j$ . Точно також  $DEL C_j$  – ширина блоків в межах кожного з рядів сітки  $NROW$ .

Розрахункові шари, які приймаються у моделі, нумеруються зверху донизу у вертикальному розрізі.



(a)



Рис.3.2. Схеми вертикальної дискретизації: а - поперечний переріз водоносного горизонту (крупнозернистий пісок, мул, пісок і гравій); б - поперечний переріз водоносного шару з накладеною прямолінійною сіткою (охоплює декілька розрахункових шарів, всі грані прямокутної форми); в - поперечний переріз водоносного шару з накладеною деформованою сіткою (охоплює тільки один розрахунковий шар, всі грані не прямокутної форми)

Рівняння в кінцевих різницях для розрахункових блоків області фільтрації матиме вигляд:

$$CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) +$$

$$\begin{aligned}
& + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
& + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
& + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot THICK_{i,j,k}) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}, \quad (3.2)
\end{aligned}$$

де  $h_{i,j,k}^m$  – напір в блоці  $i, j, k$  на часовому кроці  $m(L)$ ;  $CV$ ,  $CR$  и  $CC$  – гідравлічні провідності, або провідності в інтервалі між вузлом  $i, j, k$  і сусіднім вузлом ( $L^2/T$ );  $P_{i,j,k}$  – сума коефіцієнтів при напорі, які визначають витрати притоку-відтоку в блоці ( $L^2/T$ );  $Q_{i,j,k}$  – сумарні значення витрат притоку-відтоку ( $L^3/T$ ):  $Q_{i,j,k} > 0,0$  – приток,  $Q_{i,j,k} < 0,0$  – відтік;  $SS_{i,j,k}$  – питома ємність ( $L^{-1}$ );  $DEL R_j$  – ширина блоку  $j$ -ої колонки у всіх рядах ( $L$ );  $DEL C_i$  – ширина блоку  $i$ -го ряду у всіх колонках ( $L$ );  $THICK_{i,j,k}$  – вертикальна товщина блоку  $i, j, k$  ( $L$ );  $t^m$  – час на часовому кроці  $m(T)$ .

Для визначення гідравлічної провідності між вузлами, на відміну від гідравлічної провідності в межах розрахункового блоку, використовується нижній індекс "1/2". Наприклад,  $CR_{i,j+\frac{1}{2},k}$  представляє провідність між вузлами  $i, j, k$  і  $i, j+1, k$ .

Оскільки в умовах стаціонарного потоку ємність постійна, права частина рівняння (3.2) прирівнюється до нуля.

Система рівнянь, яка утворюється при застосуванні рівняння (3.2) для всіх без виключення блоків модельованої області, визначає напір у вузловій точці кожного розрахункового блоку.

Для чисельного рішення рівняння (3.2) приведено до вигляду:

$$\begin{aligned}
& CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1} + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k} + \\
& + (-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k} ) h_{i,j,k+} \\
& + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k} + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k} + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k} \quad (3.3)
\end{aligned}$$

Рівняння враховує часовий крок  $m$ , але для спрощення наведеного виразу параметр часу опущений.

В рівнянні (3.3)  $HCOF_{i,j,k}$  містить суму коефіцієнтів при напорі, які визначають витрати притоку-відтоку в блоці ( $P_{i,j,k}$ ) і складову ємності, яка визначається напором на поточному часовому кроці (від'ємний знак з'являється через переніс доданка в ліву частину рівняння).  $RHS_{i,j,k}$  містить витрату потоку  $Q$  (від'ємний знак з'являється через переніс доданка в праву частину рівняння), і частину питомої ємності, яка помножена на значення напору на часовому кроці  $m^{-1}$ .

Параметри  $CV$ ,  $CR$ ,  $CC$  та пов'язані зі складовою ємності параметри  $HCOF$  і  $RHS$  розраховуються в одному пакеті, який називається внутрішнім пакетом потоку.

Розрахунок вертикальної провідності  $VCONT$  в MODFLOW проводиться на основі товщини розрахункових шарів в межах блоків та вертикальної гідравлічної провідності  $k_{zz}$ .

Розрахунок провідності виконується за формулою:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{(THICK_{i,j,k})/2}{k_{i,j,k}^z} + \frac{(THICK_{i,j,k+1})/2}{k_{i,j,k+1}^z}}, \quad (3.4)$$

де  $VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}}$  – вертикальна провідність між верхнім та нижнім розрахунковими шарами (1/T);  $k_{i,j,k}^z$ ,  $k_{i,j,k+1}^z$ ,  $THICK_{i,j,k}$ ,  $THICK_{i,j,k+1}$  – вертикальні гідравлічні провідності, (L/T), і товщини відповідно верхнього та нижнього розрахункових шарів, (L).

Комп'ютерного моделювання виконувалось у програмному комплексі MODFLOW 2009.1

Чисельна модель окрім пакета параметрів внутрішнього потоку (далі пакета) одночасно використовує пакети характеристик витрат, таких як живлення в межах модельованої області та на її контурах, інфільтраційне живлення, робота водозабірних та нагнітаючих свердловин, лінійних і площинних дренажних споруд та інше.

Кожен такий пакет містить різні джерела живлення або розвантаження та називається пакетом характеристик витрат, при цьому розвантаження розглядається як від'ємне живлення.

Для моделювання поповнення запасів підземних вод за рахунок інфільтраційного живлення атмосферними водами, надходження на поверхню підземних вод, притоку з інших джерел площинного характеру застосовується пакет розподіленого по площі живлення.

Для кожного блоку сітки в горизонтальній площині в чисельній моделі пакет потребує двовимірному масиву значень живлення, а також двовимірному масиву для розрахункового шару, в якому поповнення запасів буде застосовуватися для кожного блоку сітки в горизонтальній площині.

Інфільтраційне живлення в пакеті витрат присвоюється самому верхньому активному (водонасиченому) шару в межах кожного вертикального стовпа розрахункових блоків сітки.

Пакет випаровування моделює ефект транспірації рослин, прямого випаровування і просочування на поверхню землі. Для роботи пакета потрібна інформація щодо величини евапотранспірації і глибини залягання рівня ґрунтових вод, нижче якої випаровування незначне.

Основою для моделювання у пакеті приймаються такі положення:

- якщо рівень ґрунтових вод знаходиться на рівні денної поверхні або вище (у верхній частині шару 1, наприклад), то витрати на випаровування ґрунтових вод відбувається при максимальній

встановленій величині випаровування;

- якщо глибина залягання рівня ґрунтових вод нижче глибини можливого випаровування, або під шаром 1, випаровування з поверхні ґрунтових вод вважається відсутнім.

Вплив поверхневих водних об'єктів на підземні води в чисельній моделі враховується за допомогою пакету, який встановлює у розрахунковій схемі модельованої області роботу граничної умови третього роду.

Як відомо, поверхневі водні об'єкти можуть слугувати джерелом живлення підземних вод та сприяти поповненню запасів води в загальній системі підземних вод, або виступати в якості контурів дренажу підземних вод на ділянці їх гідравлічного взаємозв'язку.

Взаємодія між поверхневими та підземними водами у моделі задається на основі схеми просочування води через шар, що розділяє поверхневий водотік і систему підземних вод. Для адекватної роботи пакета в кожному блоці сітки, що містить дану граничну умову, повинна бути задана наступна інформація:

- абсолютна відмітка вільної поверхні води в річці;
- абсолютна відмітка нижньої частини шару просочування (підруслових відкладень);
- числовий параметр провідності, який представляє собою опір потоку між поверхневими і підземними водами через розділяючий шар підруслових відкладень.

Параметр провідності розраховується на основі протяжності і ширини річки в межах розрахункового блоку, потужності підруслових відкладень і вертикальної провідності матеріалу русла.

Значення провідності розраховується за формулою:

$$C = \frac{L \cdot W \cdot K}{M}, \quad (3.5)$$

де  $C$  – провідність,  $(L^2/T)$ ;  $L$  и  $W$  – відповідно протяжність і ширина річки в розрахунковому блоці,  $(L)$ ;  $M$  – потужність підруслових відкладень,  $(L)$ ;  $K$  – вертикальна гідравлічна провідність матеріалу русла  $(L/T)$ .

У випадку, якщо реальні джерела живлення і/або розвантаження значно віддаленні від контурів досліджуваної ділянки (об'єкта), пакет моделює віддалену границю із забезпеченим живленням ( $H = Const$ ).

Потік в розрахунковий блок, або з нього, від зовнішнього джерела встановлюється пропорційно різниці між напорами в блоці на зовнішньому контурі моделі і напором на контурі забезпеченого живлення і відстані між ними.

Застосування цієї граничної умови доцільно у тому випадку, коли необхідно уникнути зайвого розширення досліджуваної області для досягнення її контурами елементів, які розташовані поза межами моделі і впливають на напори в розрахункових блоках.

Вплив віддаленої границі із забезпеченим живленням на напори в блоках модельованої області враховується завданням на її контурі величини гідравлічної провідності, яка може бути розрахована за формулою:

$$C = \frac{(L \cdot W) \cdot K}{D}, \quad (3.6)$$

де  $L \cdot W$  – площа переріза потоку в блоці на зовнішньому контурі модельованої області,  $(L^2)$ ;  $K$  – середня гідравлічна провідність водоносного шару в інтервалі між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення,  $(L/T)$ ;  $D$  – відстань між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення,  $(L)$ .

Врахування ефекту контурного або площинного водозниження виконується за допомогою пакету дренажу. В результаті такого водозниження із водоносного шару видаляється вода у кількості,

пропорційній різниці між відміткою рівня води у водоносному горизонті і деякою фіксованою відміткою в межах контуру (площі) водозниження.

У випадку зниження рівня води у водоносному горизонті нижче заданої фіксованої відмітки на контурі стоку робота пакету рівна нулю, оскільки він враховує тільки можливість відтоку.

Для роботи пакета в якості вихідних даних для кожного блоку, який містить цю граничну умову, необхідна наступна інформація:

- відмітки вільної поверхні води по контуру або площі дрени (при потужності потоку на контурі дронування, що забезпечує відтік води);
- провідність на ділянці відтоку, що описує втрати напору між контуром дронування і системою підземних вод.

Провідність на ділянці відтоку характеризує опір потоку між контуром дронування і системою підземних вод та розраховується за формулами:

- для провідності на одиницю довжини

$$COND = RCHLNG \cdot LCOND; \quad (3.7)$$

- для провідності на одиницю площі

$$COND = DX \cdot DY \cdot SCOND, \quad (3.8)$$

де  $COND$  – провідність, ( $L^2/T$ ),  $RCHLNG$  – довжина контуру дронування в кожному осередку сітки, ( $L$ );  $LCOND$  – провідність на одиницю довжини контуру дронування в кожному блоці сітки, ( $L/T$ );  $DX$  – довжина блоку сітки в  $X$ -напрямку, ( $L$ );  $DY$  – довжина блоку сітки в  $Y$ -напрямку, ( $L$ );  $SCOND$  – провідність на одиницю площі дронування в кожному блоці сітки, ( $1/T$ ).

Головним компонентом часової дискретизації є часовий крок. Часові кроки групуються в розрахункові періоди, причому, вихідні дані можуть змінюватися в межах кожного розрахункового періоду.



Для кожного розрахункового періоду визначається його повна довжина ( $PERLEN$ ), число часових кроків ( $NSTP$ ) і множник для довжини послідовних часових кроків ( $TSMULT$ ). Таким чином, крок  $n$ -го відрізка часу – довжина часового кроку  $n-1$  часу  $TSMULT$  раз.

Тривалість першого часового кроку  $\Delta t_1$  може бути визначена із наступного виразу:

$$\Delta t_1 = PERLEN \left( \frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \right). \quad (3.9)$$

В умовах нестационарного режиму розрахункові періоди встановлюються у відповідності до змін розрахункових параметрів моделі і пакетів характеристик витрат у часі.

Зміни хімічного складу підземних вод поширених на досліджуваній території водоносних горизонтів під впливом будівництва та експлуатації хвостосховища оцінюються за результатами моделювання адвективно-дисперсійного переносу розчинених речовин в потоці підземних вод.

Моделювання переносу розчиненої речовини в рухомому потоці виконано з використанням пакета MT3D програмного комплексу MODFLOW 2009.1.

Моделювання тривимірної моделі потоку ґрунтових вод на основі методу кінцевих різниць описується у звіті геологічної служби М.Макдональдом і А.Харбо [18].

Рівняння, що описує перехід від моделі тривимірного нестационарного потоку підземних вод до моделі переносу розчиненої речовини, має вигляд

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n, \quad (3.10)$$

де  $C^k$  – концентрація розчиненої речовини  $k$ ;  $\theta$  – ефективна пористість;  $t$  – час;  $x_i$  – відстань уздовж відповідних осей декартових

координат;  $D_{ij}$  – тензор коефіцієнтів гідравлічної дисперсії;  $v_i$  – швидкість фільтрації,  $v = q_i / \theta$ ;  $q_s$  – витрата на одиницю об'єму водоносного горизонту;  $C_s^k$  – концентрація джерела або поглиначу розчиненої речовини;  $\sum R_n$  – реакція хімічної взаємодії.

Модель міграції описується наступними параметрами:

- початкові концентрації розчиненої речовини в розрахункових шарах;
- концентрації речовини на гідродинамічних границях гідрогеологічних елементів модельованої області;
- концентрації по площі живлення і розвантаження (інфільтраційне живлення і випаровування);
- параметри міграції розчиненої речовини (гідравлічна дисперсія) в пористому середовищі.

Гідравлічна дисперсія обчислюється за наступною формулою:

$$D = a_L \cdot \frac{V_L^2}{|v|} + a_H \frac{V_H^2}{|v|} + a_V \cdot \frac{V_V^2}{|v|} + D^*, \quad (3.11)$$

де  $D$  – гідравлічна дисперсія (L<sup>2</sup> / T);  $a_L$  – поздовжня дисперсивність,  $V_L$  – поздовжня швидкість потоку вздовж напрямку міграції (L / T);  $a_H$  – поперечна горизонтальна дисперсивність (L);  $V_H$  – горизонтальна швидкість потоку вздовж напрямку міграції (L / T);  $a_V$  – вертикальна дисперсивність (L);  $V_V$  – вертикальна швидкість потоку вздовж напрямку міграції (L / T);  $v$  – швидкість фільтрації (L / T);  $D^*$  – коефіцієнт дифузії (L<sup>2</sup> / T).

### 3.2. Схематизація гідрогеологічних умов в плані та розрізі

Для схематизації ділянки досліджень було враховано особливості геологічної будови, характер залягання водоносних горизонтів і їх

гідравлічні характеристики, фільтраційні властивості водовмісних порід, наявність гідравлічного взаємозв'язку між поверхневими і підземними водами, характер живлення і розвантаження водоносних горизонтів як за площею розвитку, так і на їх контурах.

Зона вільного водообміну є основним об'єктом досліджень в геофільтраційній моделі. Згідно геологічної будови ділянки зона вільного водообміну охоплює товщу обводнених еолово-делювіальних четвертинних відкладень та нижньокрейдових відкладень, що залягають на еродованій поверхні інтрузивних кристалічних порід верхнього протерозою.

Враховуючи такі режимоутворюючі фактори, як розподілене по площі інфільтраційне живлення та дренуючий вплив поверхневих водотоків, область моделювання визначена в контурах основних геоморфологічних елементів і складових гідрографічної мережі.

З урахуванням просторового положення зазначених границь розміри модельованої області визначені в межах умовних прямокутних координат  $-186500 \dots -179000$  і  $119500 \dots 126500$  м – відповідно у широтному і меридіональному напрямках при загальній площі модельованої області  $52,2 \text{ км}^2$ .

Подрібнення сітки доцільно в зонах різкої зміни властивостей порід та швидкості фільтрації, а у відносно однорідних зонах можна використовувати більші кроки сітки. Чим менші кроки сітки, тим детальнішою є модель. Тому розміри розрахункових блоків прийняті рівними від  $100 \times 100$  м до  $50 \times 50$  м на ділянці їх згущення в межах території проектного будівництва хвостосховища, що дозволило з достатньою детальністю відобразити конфігурацію секцій хвостосховища та огорожувальних споруд, а також гіпсометрію поверхонь окремих модельованих розрахункових шарів, контури внутрішніх гідродинамічних границь та рівневі поверхні водоносних горизонтів (рис.3.3).



Рис.3.3. Гідродинамічна схематизація модельованої області

Геологічна будова території хвостосховища з урахуванням характеру залягання розвинених в її межах водоносних горизонтів приведена до п'ятишарової товщі, включаючи проектоване нарощування огорожувальних дамб хвостосховища (рис. 3.4).

У якості нижньої границі вертикального розрізу моделі прийнята умовна поверхня, якою слугує підпила 5-ти метрового інтервалу тріщинуватих кристалічних порід верхнього протерозою.

Нумерація розрахункових шарів прийнята від денної поверхні та представлена наступним чином:

1 шар – водоносний – представлений ґрунтово-рослинним шаром (ІГЕ-1) і товщею техногенних відкладень в межах інтервалу планованого складування відходів рудозбагачення, розрахункова потужність від 0,5 до 29,5 м;

2 шар – водоносний – складений обводненою товщею верхньочетвертинних супісків і пісків мілких і середньої крупності (ІГЕ-2,3,4а,4б), розрахункова потужність 0,5...11,0 м;

3 шар – водоносний – представлений товщею верхньо- і середньочетвертинних суглинків і супісків (ІГЕ-5а,5б.6) загальною потужністю елювіально-делювіальних суглинків четвертинного віку (ІГЕ-3), розрахункова потужність 0,5..6,0 м;

4 шар – слабопроникний – представлений вторинними і первинними каолінами (глинами і суглинками) і каолінізованою корою вивітрювання нижньокрейдового віку (ІГЕ-7,8,9), розрахункова потужність 2,0...14,0 м;

5 шар – водоносний – в межах модельованої товщі представлений тріщинуватою зоною верхньопротерозойських кристалічних порід – габро-лабрадоритом (ІГЕ-10), розрахункова потужність 5,0 м.



Геологічна будова досліджуваної території, порядок та характер нашарування встановлені на основі даних буріння розвідувальних свердловин.

Зовнішні границі на контурах моделі задані у відповідності до загальної гідродинамічної схеми досліджуваної території. На північно-західному і південно-східному контурах моделі задані гідродинамічні границі першого роду із забезпеченням живленням  $Q=f(H)$ , які визначені положенням р. Ріхта, р. Добринка та р. Гростяниця (рис. 3.3, 3.4).

Правий безіменний приток річки Ріхта виступає внутрішньою гідродинамічною границею області моделювання, який задається граничною умовою першого роду  $Q=f(H)$ .

На основі отриманих значень потужності та коефіцієнтів фільтрації розрахункових шарів, встановлених дослідним шляхом, визначені значення розрахункових параметрів і величин гідравлічних напорів на зовнішніх границях модельованої області. Параметри гідродинамічних границь на контурах модельованої області приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри гідродинамічних границь на контурах модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня, м	Водопровідність, м <sup>2</sup> /добу
Шар 1	164,0...184,0	0,82
Шар 2	164,0...184,0	0,82...14,98
Шар 3	164,0...184,0	0,085...0,46
Шар 4	164,0...184,0	0,0035...0,035
Шар 5	164,0...184,0	5,076...10,77

Зв'язок поверхневих вод з водоносними горизонтами в чисельній моделі визначений відповідно до величин гідравлічної провідності підруслових відкладень (табл. 3.2).

Фільтраційні параметри розрахункових шарів в геофільтраційній моделі задані згідно з даними інженерно-геологічних вишукувань,

отриманими за результатами вивчення властивостей ґрунтів в лабораторних умовах.

Таблиця 3.2 – Параметри зовнішніх і внутрішніх гідродинамічних границь модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівнів води, м	Абсолютні відмітки рівнів підшви підруслових відкладень, м	Водопровідність підруслових відкладень, м <sup>2</sup> /добу
Річка Добринка	168,0...175,0	167,4...174,3	4,83...96,76
Річка Тростяниця	160,0...168,0	159,3...167,3	5,22...137,69
Річка Ріхта	162,0...178,2	161,3...167,5	1,33...100,47
Правий приток р. Ріхта	170,0...177,0	169,6...176,6	10,65...104,01

Гідравлічна проникність окремих шарів визначена шляхом осереднення значень коефіцієнтів фільтрації та потужностей ґрунтових шарів відповідних інженерно-геологічних елементів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Осереднені значення гідравлічної проникності та потужностей ґрунтових шарів модельованої області

Розрахунковий шар	ІГЕ	Найменування ґрунтів	Середня потужність, м	Коефіцієнт фільтрації, м/добу
2	2	Супісок	0,7	0,5
	3	Пісок середньої крупності	3,1	6,39
	4а; 4б	Пісок мілкий	4,1	1,4
3	5а; 5б	Супісок піщанистий	2,75	0,63
	6	Суглинок піщанистий	2,9	0,065
4	7	Каолін вторинний (глина)	5,55	0,001
	8	Каолін первинний (суглинок)	6,35	0,02
	9	Каолінізована кора вивітрювання (супісок)	0,7	0,057
5	10	Верхня тріщинувата зона кристалічного фундаменту	5,0	2,0



З огляду на розвиток неоднорідності літологічної будови та фільтраційних властивостей розрахункових шарів розвинених в межах досліджуваної території, згідно Пособія к СНиП 2.06.15-85 «Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях» гідравлічна проникність шарів встановлюється за наступними формулами:

- в шаруватих пластах при фільтрації підземних вод паралельно нашаруванню:

$$k = \frac{k_1 m_1 + k_2 m_2 + \dots + k_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (3.12)$$

- в шаруватих пластах при фільтрації підземних вод нормально нашаруванню

$$k = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{m_1 / k_1 + m_2 / k_2 + \dots + m_n / k_n} \quad (3.13)$$

В наведених формулах  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – коефіцієнти фільтрації окремих шарів, м/добу;  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – потужності шарів, м.

Прийняті у якості розрахункових значення коефіцієнтів фільтрації, визначені за формулами (3.12) і (3.13) для шарів модельованої товщі відповідно до координат  $X$ ,  $Y$  та  $Z$ , а також значення коефіцієнтів гравітаційної та пружної водовіддачі наведені в табл. 3.4.

В умовах відсутності вираженої зональності гідравлічних характеристик в межах розрахункових шарів геофільтраційної моделі їх величини задані осередненими значеннями в межах всієї площі поширення ґрунтових шарів.

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:210 "Будівельна кліматологія" загальна кількість атмосферних опадів в даному регіоні становить 613,0 мм/рік. Згідно цих даних задається інфільтраційне живлення в діапазоні 6,1...61,3 мм/рік в залежності від характеру рельєфу та літологічної будови верхньої частини розрізу, що відповідає величинам на рівні 1,0...10,0% від загальної кількості

атмосферних опадів.

Таблиця 3.4 – Розрахункові фільтраційні параметри шарів модельованої області

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри		
	Коефіцієнт фільтрації, $K$ ( $K_x = K_y / K_z$ ), м/добу	Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі, $\mu$ , дол. од.	Коефіцієнт пружної водовіддачі, $\mu^*$ , дол. од.
Шар 1	0,1 / 0,1	0,1	0,0001
Шар 2	3,28 / 1,64	0,15	0,0001
Шар 3	0,34 / 0,12	0,08	0,0001
Шар 4	0,014 / 0,002	0,07	0,0001
Шар 5	2,0 / 2,0	0,01	0,00001

Методикою моделювання передбачалось вирішення задач оцінки прогнозованих змін гідродинамічного режиму на ділянці розташування хвостосховища відповідно до прийнятої просторово-часової схеми складування відходів рудозбагачення.

Для вирішення задачі нестационарної фільтрації заданий часовий проміжок, який відповідає періоду від початку експлуатації хвостосховища до його заповнення до відмітки 190,00 м при висоті огорожувальних дамб 10,5 м (абсолютна відмітка гребеня дамб 190,5 м). Часовий проміжок становить 50 років (20000 діб).

На основі часової схематизації прогнозних розрахунків значення абсолютних відміток рівнів води у хвостосховищі становитимуть:

- початкове значення – 179,0 м;
- 10 років – 180,4 м;
- 20 років – 182,8 м;
- 30 років – 185,2 м;
- 40 років – 187,6 м;
- 50 років – 190,0 м.

Техногенне живлення водоносних горизонтів є основним фактором, що визначає формування гідродинамічного режиму на ділянці хвостосховища. Рівень техногенного живлення водоносного горизонту в четвертинних, крейдових і протерозойських відкладеннях визначається умовами підпертого стану підземних вод за рахунок заповнення чаші хвостосховища.

В геофільтраційній моделі техногенне живлення в межах секцій хвостосховища задавалося на його контурах як границя забезпеченого живлення  $H = Const$  (див. рис. 3.3, 3.4).

Значення гідравлічних напорів в існуючому стані території проєктованого будівництва відповідали положенню рівневої поверхні підземних вод, встановленому за даними інженерно-геологічних вишукувань, а в умовах проєктованого складування відходів рудозбагачення – відміткам розрахункового заповнення секцій хвостосховища згідно розрахунковим періодам до відмітки 190,00 м ( $H=190,0$  м).

При вирішенні прогнозних міграційних задач зміна гідрогеохімічного режиму модельованих шарів визначалася розсіюванням розчинених речовин, що надходять у складі інфільтраційного живлення в межах площі хвостосховища.

Характеристикою змін гідрогеохімічного режиму водоносних горизонтів є загальний вміст розчинених речовин, представлений переважно макрокомпонентами. З огляду на специфіку досліджуваного об'єкту у якості показника, що характеризує техногенний вигляд досліджуваної території, прийнятий вміст в підземних водах сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ .

За даними лабораторних досліджень мінералізація підземних вод на ділянці хвостосховища змінюється в межах 270,0...382,0 мг/л, а вміст сульфат-іону ( $SO_4^{2-}$ ) в межах 108,8...160,0 мг/л. При дослідженні водної компоненти відходів рудозбагачення (хвостів) становить мінералізація підземних вод та міст сульфат-іону ( $SO_4^{2-}$ ) становлять 1080,0...1116 мг/л і 770,0...788,6 мг/л відповідно.

Вищевказані параметри прийняті в міграційній моделі та більше детально приведені в табл.3.5.

Таблиця 3.5 – Початкові і розрахункові гідрогеохімічні параметри модельованої області

Розрахунковий шар	Гідрогеохімічні параметри			
	Початкова концентрація розчинених речовин, $C_1$ , мг/л	Початкова концентрація сульфат-іону, $SO_4^{2-}$ , $C_2$ , мг/л	Ефективна пористість, $n_e$ , дол. од.	Поздовжня, поперечна і вертикальна дисперсивності, $a_L / a_H / a_V$ , м
Шар 1	326,0	134,4	0,1	0,1 / 0,01 / 0,001
Шар 2	326,0	134,4	0,23	1,0 / 0,1 / 0,01
Шар 3	326,0	134,4	0,06	0,1 / 0,01 / 0,001
Шар 4	326,0	134,4	0,06	0,1 / 0,01 / 0,001
Шар 5	326,0	134,4	0,17	1,0 / 0,1 / 0,01

Пружна ємність, гравітаційна ємність і ефективна пористість для кожного шару моделі задавалися постійними величинами, які не змінюються за площею розрахункових шарів. Їх величини встановлені згідно з даними, наведеними в [19] для характерних літологічних різностей порід.

Поздовжня гідравлічна дисперсивність розрахункових шарів модельованої товщі приймалася узагальненими значеннями: для водопроникних шарів – 1,0 м; для слабопроникних шарів – 0,1 м.

Величини поперечної горизонтальної і вертикальної дисперсивності пропорційні величині поздовжньої дисперсивності з коефіцієнтами пропорційності, що дорівнюють відповідно 0,1 і 0,01.

Прогнозні розрахунки виконані на часові періоди складування відходів рудозбагачення у чаші хвостосховища, що становлять 10, 20, 30, 40, 50 (выбрать нужные) років ( $t = 4000, 8000, 12000, 16000$  і  $20000$  діб).

### 3.3. Ідентифікація моделі та об'єкту досліджень

Оскільки точність прогнозів підтоплення територій і забруднення ґрунтових вод, а також параметрів захисних інженерних споруд багато в чому визначається ступенем вивченості фізико-хімічних властивостей водоносних пластів, то у практиці застосовуються методи визначення вихідних параметрів на основі розв'язання обернених задач фільтрації і масопереносу.

Правильність та точність відображених у геофільтраційній моделі існуючих гідрогеологічних умов перевірена за результатами відповідністю результатів моделювання прийнятій гідродинамічній схемі, збіжністю розрахункових рівнів підземних вод з їх фактичним положенням, а також нев'язкою балансових складових геофільтраційної моделі.

Вирішення оберненої задачі показало, що досягнення розрахунковими рівнями води положення, близького до встановленого за даними інженерно-геологічних вишукувань станом на серпень – листопад 2018 р., відбувається при прийнятих розрахункових характеристиках модельованої товщі в умовах впливу заданого в моделі інфільтраційного живлення та дії зовнішніх і внутрішніх гідродинамічних границь.

Положення рівнів води четвертинного водоносного горизонту і водоносного горизонту тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень, що відповідає заданому в моделі розподілу інфільтраційного живлення і характеру розповсюдження літологічних різностей ґрунтів у верхній частині геологічного розрізу, представлено на рис. 3.5, 3.6 і 3.7.

Балансові складові геофільтраційної моделі, отримані за результатами вирішення оберненої задачі в умовах стаціонарного режиму фільтрації станом на серпень – листопад 2018 р. наведено в таблиці 3.6.

Формування гідродинамічного режиму на досліджуваній території відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та бокового притоку з боку вододільних ділянок, а розвантаження – шляхом надходження підземних вод до річок Ріхта, Добринка, Тростяниця та

правого притоку річки Ріхта, що підтверджено результатами моделювання.

Таблиця 3.6 – Балансові складові модельованої області – існуючий стан, м<sup>3</sup>/добу

Розрахунковий період	Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Існуючий стан (серпень – листопад 2018 р.)	Інфільтраційне живлення	914,45	-
	Взаємозв'язок з річками	1,34	-1004,54
	Витрати по контуру	184,31	-88,09
	Випаровування	-	-11,72
	Всього	1100,10	-1104,34
	Похибка		-4,24
	Нев'язка, %		-0,39

За даними калібрування, виконаного за результатами рішення оберненої задачі станом на серпень – листопад 2018 р., відхилення розрахункових відміток рівнів води в четвертинному і нижньокрейдovому горизонтах від фактично встановлених не перевищує 1,59 м (рис. 3.8).

При значенні коефіцієнта кореляції 0,845 встановлена за результатами розрахунків стандартна похибка оцінки складає 0,093 м. Значущість статистичних оцінок характеризується значенням  $R^2=0,546$  м і її нормованою величиною 14,492 %.



Рис.3.5. – Положення рівневої поверхні підземних вод четвертинного водоносного горизонту за результатами вирішення оберненої задачі – існуючий стан, м

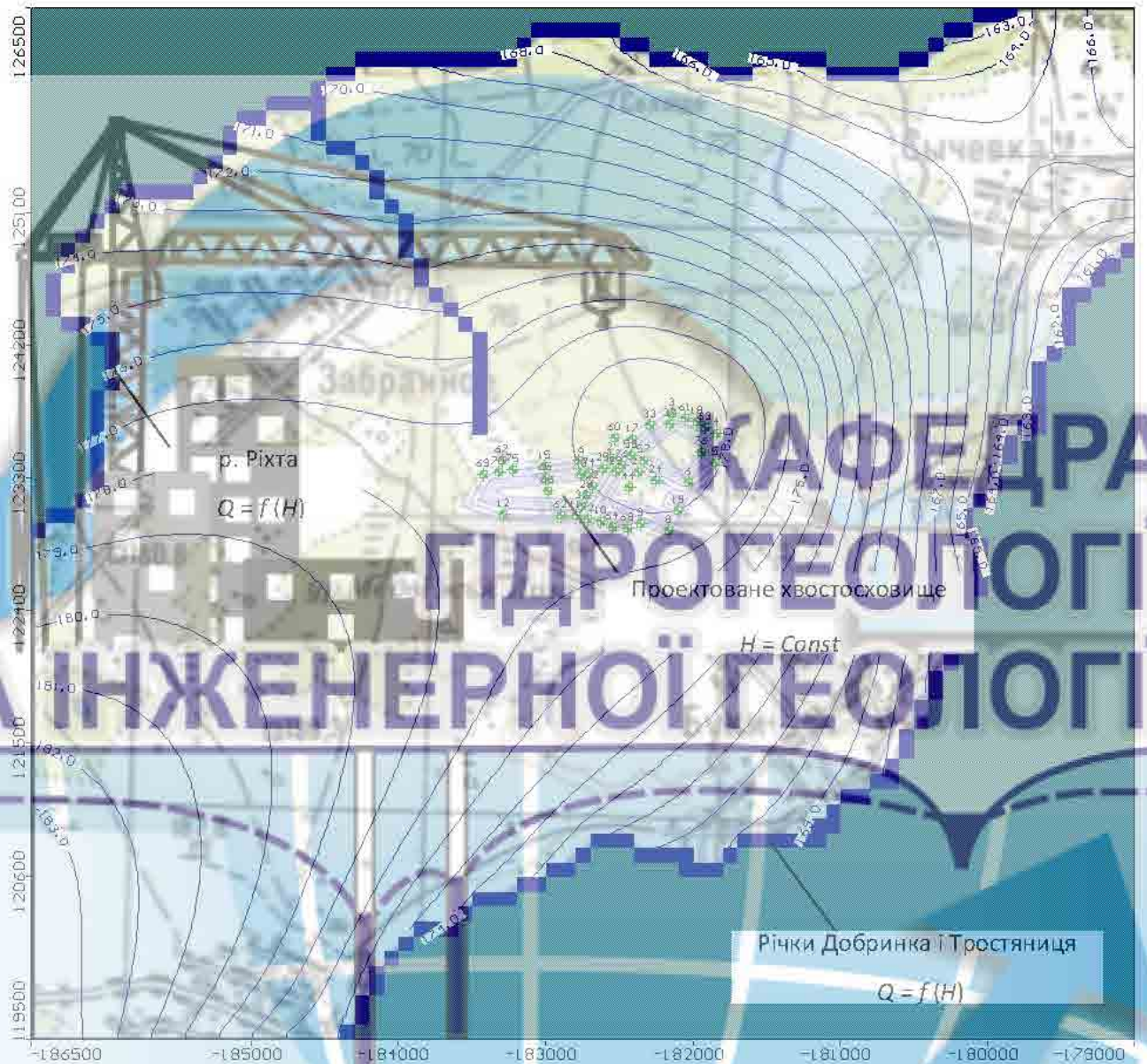


Рисунок 3.6 – Положення рівневої поверхні підземних вод тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень за результатами вирішення оберненої задачі – існуючий стан, м



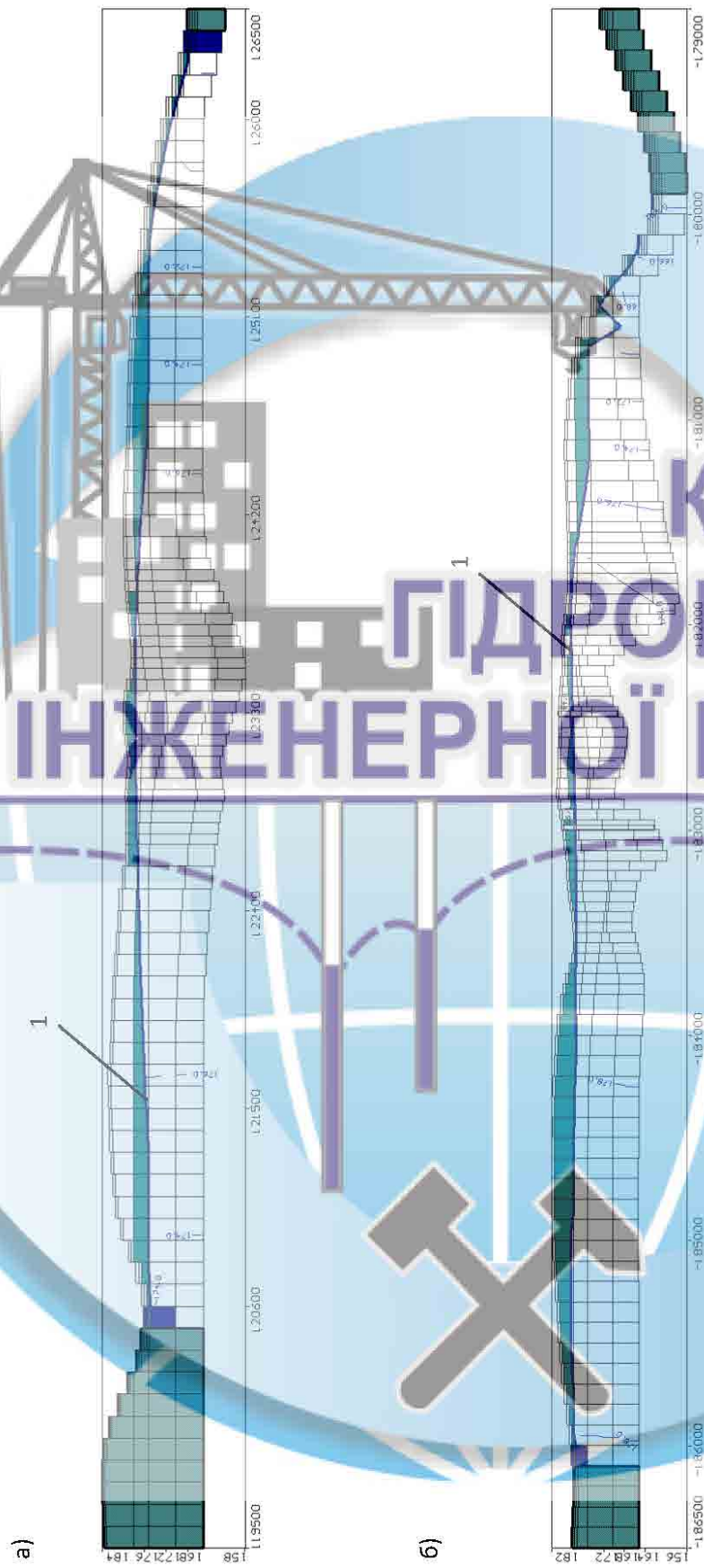
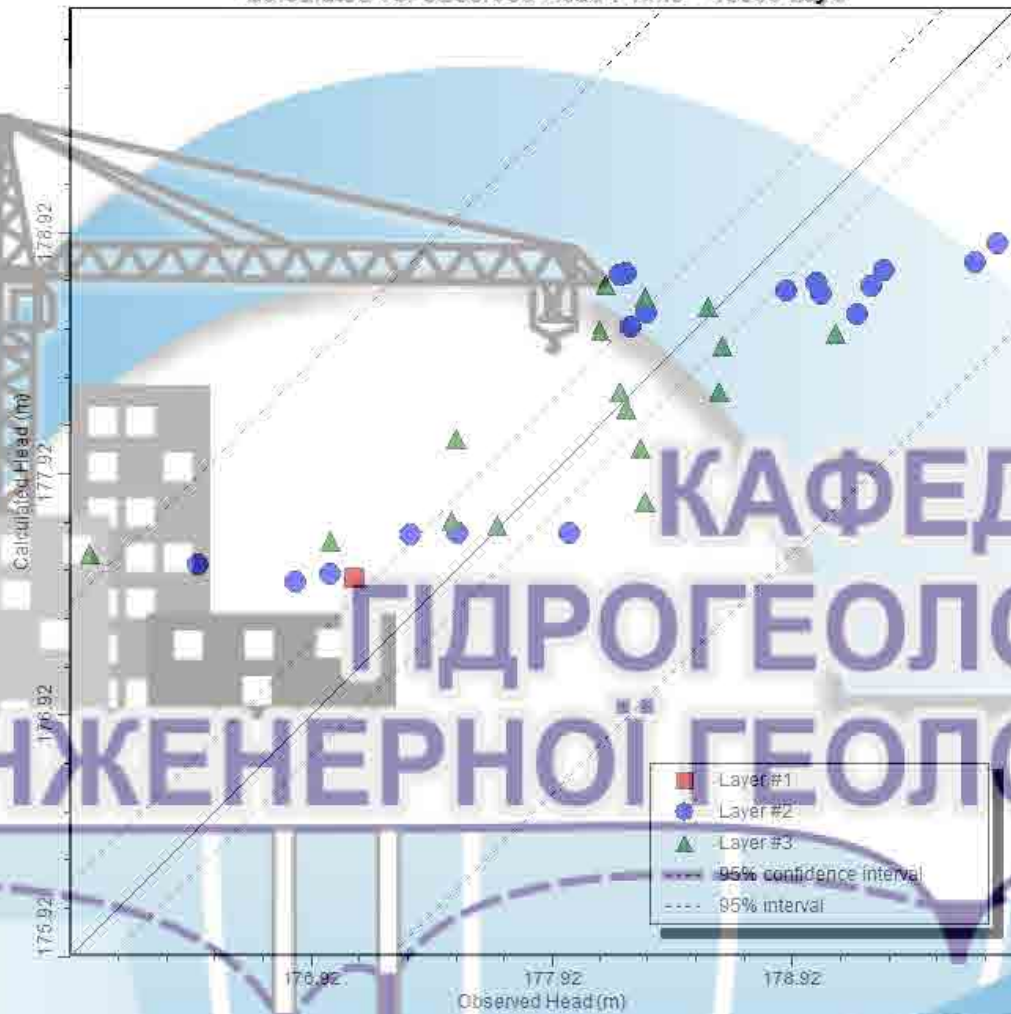


Рисунок 3.7 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території за результатами вирішення оберненої задачі – меридіональний (а) та піротний (б) напрямки: 1 – рівнева поверхня, м

Calculated vs. Observed Head : Time = 10000 days



(Max. Residual: 1.585 (m) at 12/)  
 Min. Residual: 0.016 (m) at 64/)  
 Residual Mean: 0.068 (m)  
 Abs. Residual Mean: 0.449 (m)

Num. of Data Points: 35  
 Standard Error of the Estimate: 0.093 (m)  
 Root Mean Squared: 0.546 (m)  
 Normalized RMS: 14.492 (%)  
 Correlation Coefficient: 0.846

Рис.3.8 – Результати калібрування геофільтраційної моделі станом на серпень – листопад 2018 р. – обернена задача, стаціонарний режим фільтрації

## 4. ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ТА ГІДРОХІМІЧНИХ ЗМІН

### 4.1. Формування рівневої поверхні підземних вод при експлуатації

#### ХВОСТОСХОВИЩА

Аналіз результатів вирішення прогностичних геофільтраційних задач показав, що при проєктованому будівництві і експлуатації хвостосховища в умовах гідравлічної взаємодії підземних вод з техногенними відкладеннями (відходами рудозбагачення) на прилеглий до хвостосховища території відбувається відповідне підняття рівнів підземних вод, приурочених до четвертинного комплексу порід та тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень (рис. 4.1, 4.2 і 4.3).

Зважаючи на те, що досліджувана територія в природних умовах характеризується неглибоким, до 1,0...2,0 м, заляганням рівнів підземних вод, а на деяких ділянках території відзначається заболоченість, прогнозоване підняття рівнів підземних вод буде сприяти подальшим підтопленню і затопленню оточуючої хвостосховища території (4.4...4.6).

На 20-річний термін експлуатації хвостосховища (розрахункова відмітка рівня поверхні відходів у хвостосховищі 182,8 м) 200-метрова зона навколо гідротехнічної споруди за результатами моделювання буде повсюдно затопленою, а на відстані 500 м від хвостосховища рівні ґрунтових вод очікуються на глибині 0,1...2,7 м від поверхні землі, що відповідає абсолютним відміткам 177,2...179,8 м.

При подальшій експлуатації хвостосховища і досягненні рівнем поверхні складованих відходів рудозбагачення розрахункової відмітки 190,0 м, що відповідає 50-річному терміну експлуатації проєктованого хвостосховища, очікується підтоплення і затоплення території в межах смуги шириною від 500 м на східних і західних ділянках території, до 1000 м – на північних та південних ділянках.



Рисунок 4.1 – Прогнозне положення рівневої поверхні підземних вод четвертинного водоносного горизонту на кінцевий період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), м

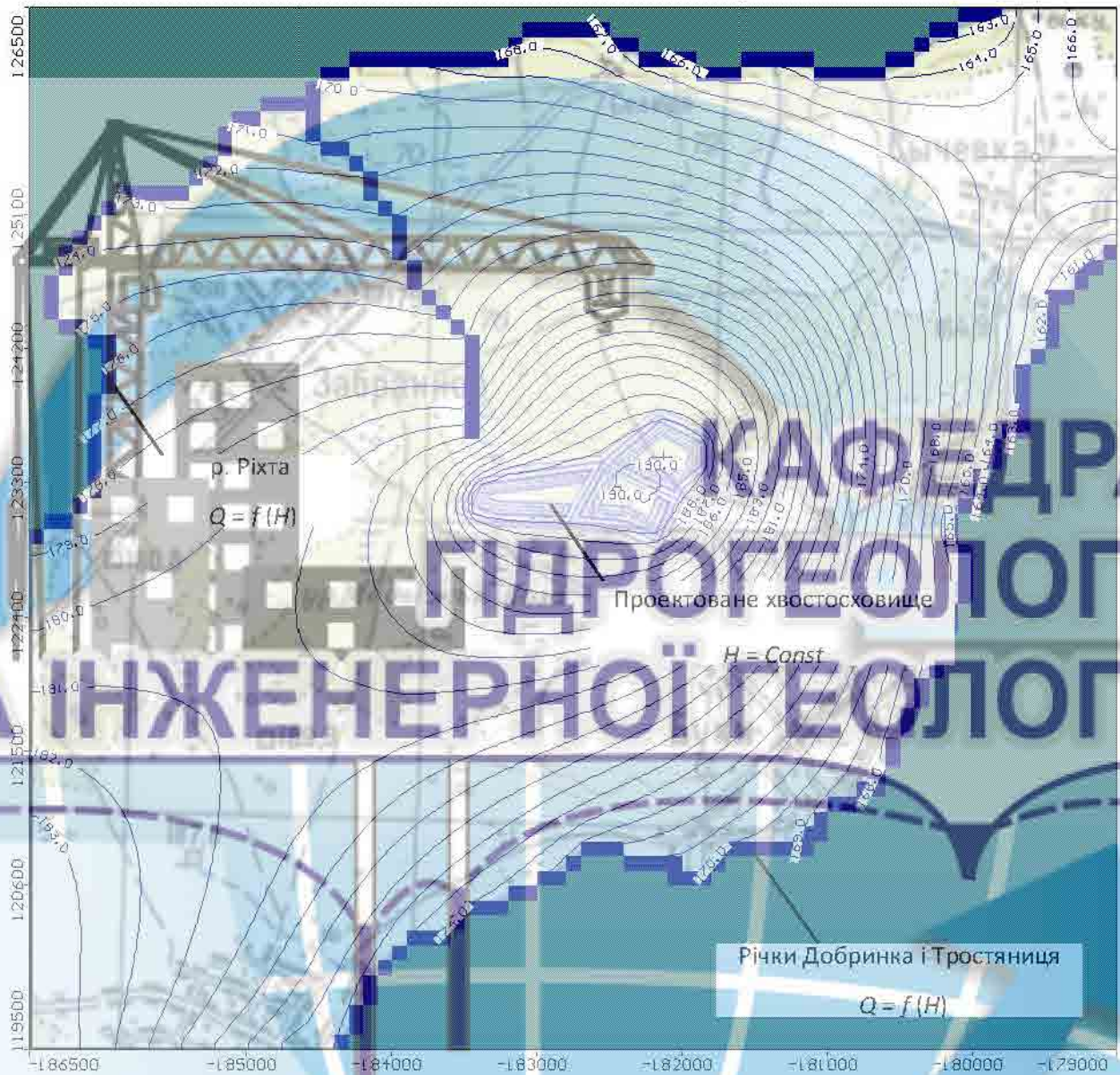


Рисунок 4.2 – Прогнозне положення рівневої поверхні підземних вод тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень на кінцевий період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), м

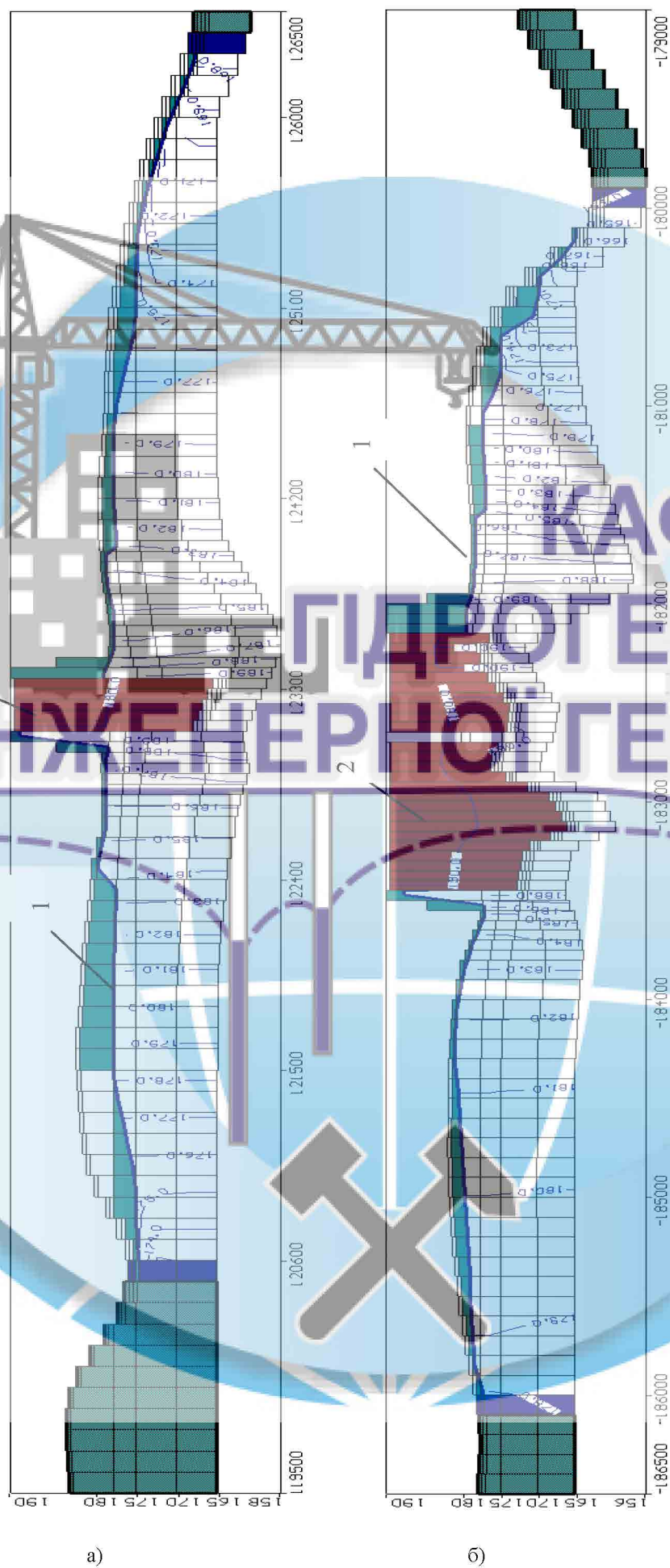


Рисунок 4.3 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території на кінцевий період експлуатації проєктованого хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  днів) – меридіональний (а) та широтний (б) напрямки:

1 – рівнева поверхня, м; 2 – хвостосховище ( $H = Const$ )

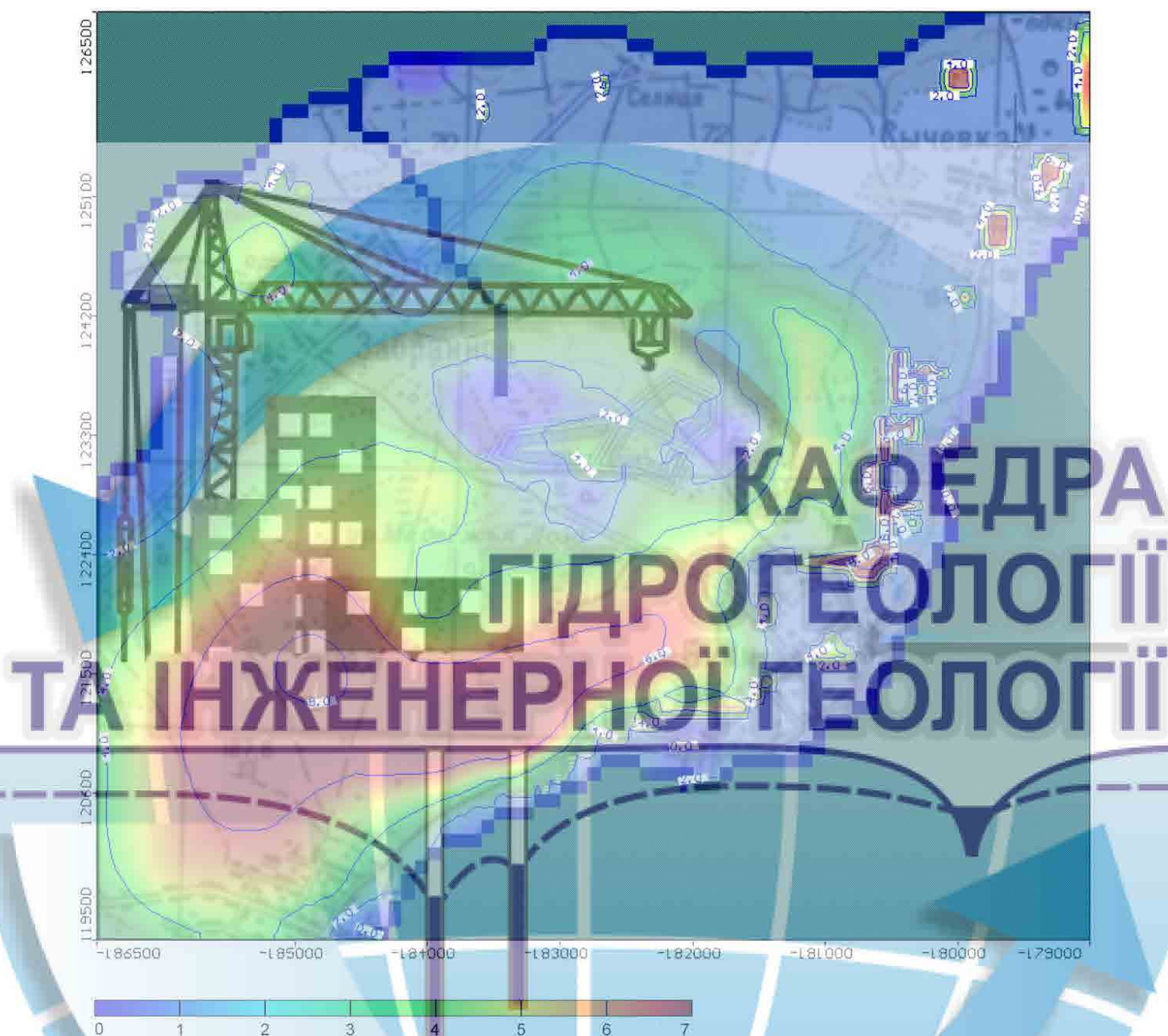


Рисунок 4.4 – Розрахункова глибина залягання рівнів підземних вод на ділянці проектного будівництва хвостосховища станом на серпень – листопад 2018 р., м



Рисунок 4.5 – Розрахункова глибина залягання рівнів підземних вод на ділянці проектного будівництва на період експлуатації хвостосховища 20 років ( $t = 8000$  діб), м



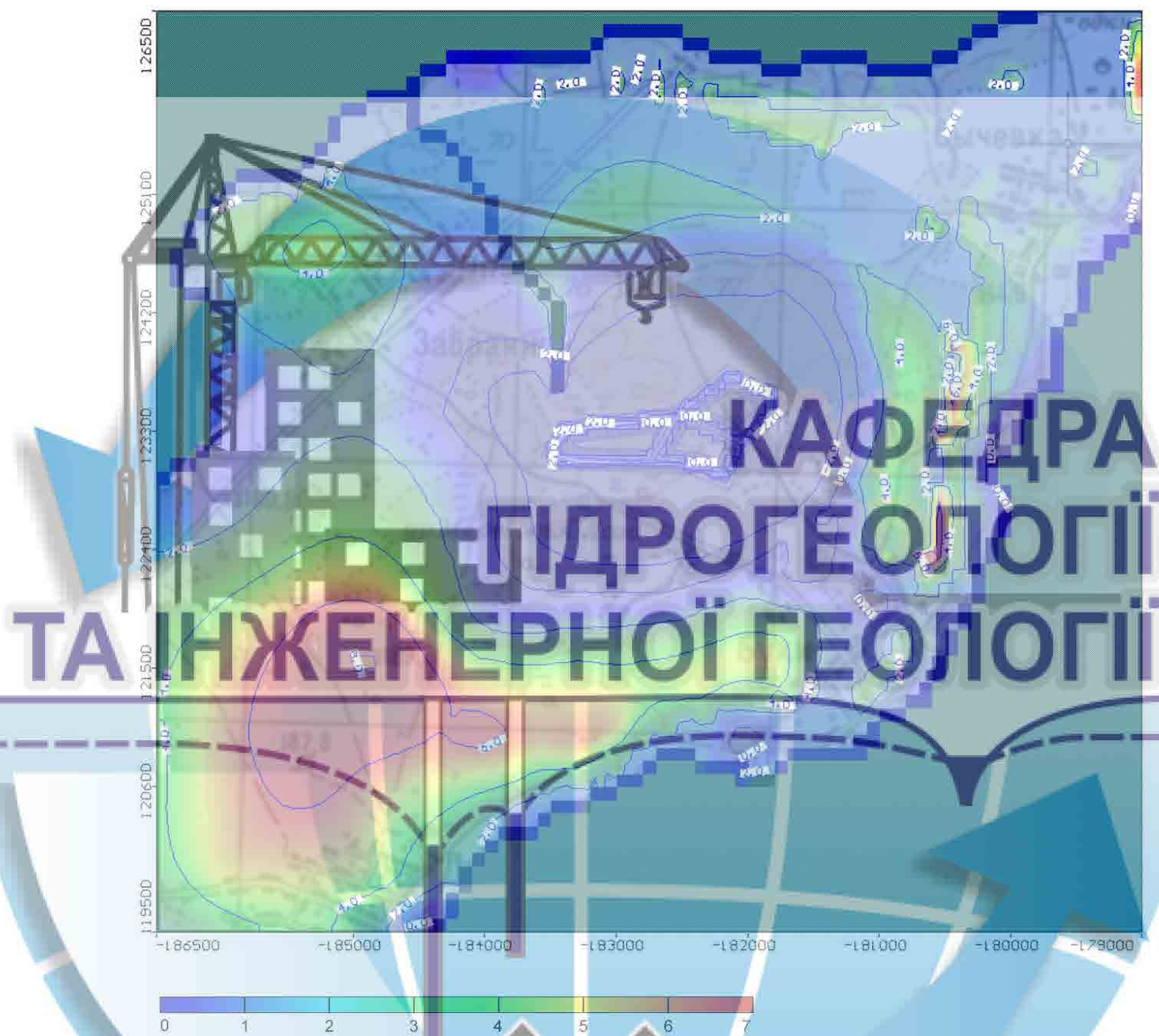


Рисунок 4.6 – Розрахункова глибина залягання рівнів підземних вод на ділянці проектного будівництва на період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), м

Слід відзначити, що зміни рівнів ґрунтових вод на прилеглий території відбуваються впродовж всього розрахункового терміну експлуатації хвостосховища і зумовлюються абсолютними відмітками поверхні складованих до хвостосховища відходів рудозбагачення.

Підвищення рівнів підземних вод на прилеглих ділянках визначається величиною фільтраційних втрат із хвостосховища, яка у загальному балансі досліджуваної території за даними виконаних розрахунків зростає від 96,31 м<sup>3</sup>/добу (1,11 л/с) на початку експлуатації хвостосховища до 369,93 і 746,67 м<sup>3</sup>/добу (4,28 і 8,64 л/с) відповідно на 20 і 50 років (8000 і 20000 діб) експлуатації.

Отримані величини фільтраційних втрат із хвостосховища відповідають умовам виконання огорожувальних дамб із місцевого матеріалу з розрахунковим значенням коефіцієнту фільтрації  $k=0,05$  м/добу.

З огляду на те, що для даної території характерною є добре розвинена річкова мережа, у загальному балансі модельованої області значна роль належить розвантаженню підземного стоку до річок Ріхта, Добринка, Тростяниця та правого притоку річки Ріхта, який збільшується в процесі експлуатації хвостосховища з 1051,52 м<sup>3</sup>/добу (12,17 л/с) до 1507,92 м<sup>3</sup>/добу (17,45 л/с) на кінцевий термін експлуатації хвостосховища. Прогнозовані зміни загального балансу модельованої області, які зумовлені експлуатацією проектного хвостосховища, на розрахункові терміни характеризується співвідношенням балансових складових, наведених в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Балансові складові модельованої області за даними рішення прогнозних задач, м<sup>3</sup>/добу

Розрахунковий період	Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Початок експлуатації	Інфільтраційне живлення	879,34	-
	Взаємозв'язок з річками	1,02	-1051,52
	Витрати по контуру	182,46	-90,29

Розрахунковий період	Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Початок експлуатації	Витрати із хвостосховища	96,31	-
	Випаровування	-	-15,33
	Ємнісна складова	0,0	0,0
	Всього	1159,14	-1162,37
	Похибка		-3,23
	Нев'язка, %		-0,28
10 років (4000 діб)	Інфільтраційне живлення	879,34	-
	Взаємозв'язок з річками	1,00	-1072,48
	Витрати по контуру	182,80	-89,9051
	Витрати із хвостосховища	230,38	-
	Випаровування	-	-15,53
	Ємнісна складова	0,45	-111,90
	Всього	1293,98	-1290,74
	Похибка		3,24
	Нев'язка, %		0,25
	20 років (8000 діб)	Інфільтраційне живлення	879,34
Взаємозв'язок з річками		0,91	-1145,07
Витрати по контуру		182,33	-90,03
Витрати із хвостосховища		369,93	-
Випаровування		-	-15,57
Ємнісна складова		1,35	-175,24
Всього		1433,86	-1426,81
Похибка			7,05
Нев'язка, %			0,49
30 років (12000 діб)		Інфільтраційне живлення	879,34
	Взаємозв'язок з річками	0,74	-1255,02
	Витрати по контуру	180,52	-91,24
	Витрати із хвостосховища	491,74	-
	Випаровування	-	-15,65
	Ємнісна складова	0,68	-181,46
	Всього	1553,02	-1544,24
	Похибка		8,78
	Нев'язка, %		0,57
40 років (16000 діб)	Інфільтраційне живлення	879,34	-
	Взаємозв'язок з річками	0,56	-1377,47
	Витрати по контуру	177,61	-94,15
	Витрати із хвостосховища	620,43	-
	Випаровування	-	-17,99
	Ємнісна складова	0,62	-179,18
	Всього	1678,56	-1669,66
	Похибка		8,91

Розрахунковий період	Складові балансу	Живлення	Розвантаження
	Нев'язка, %	0,53	
50 років (20000 діб)	Інфільтраційне живлення	879,34	-
	Взаємозв'язок з річками	0,32	-1507,92
	Витрати по контуру	173,53	-99,19
	Витрати із хвостосховища	746,67	-
	Випаровування	-	-18,76
	Ємнісна складова	1,06	-167,86
	Всього	1800,92	-1794,56
	Похибка		6,37
	Нев'язка, %		0,35

#### 4.2. Аналіз змін гідрохімічної ситуації навколо хвостосховища

За результатами міграційних розрахунків встановлено, що формування зон з підвищеним вмістом розчинених речовин і сульфат-іону  $\text{SO}_4^{2-}$  в техногенно порушених умовах відбувається безпосередньо під хвостосховищем і в межах контуру розсіювання на прилеглих до хвостосховища ділянках згідно з загальним напрямком руху підземних вод в напрямку річок Добринка, Тростяниця та правого притоку річки Ріхта (рис. 4.7...4.18).

Визначальну роль в міграції розчинених компонентів відіграє наявність в геологічному розрізі досліджуваної території шару досить проникних верхньочетвертинних супісків і пісків мілких і середньої крупності ПЕ-2, 3, 4а,4б, а також тріщинуватої зони верхньопротерозойських відкладень ПЕ-10.

Гідравлічні проникності піщаних відкладень і зони тріщинуватості кристалічних порід, встановлені за даними інженерно-геологічних вишукувань, майже на два порядки перевищують гідравлічні проникності еолово-делювіальних суглинків і глин. В зв'язку з цим, в глинистих еолово-делювіальних відкладеннях міграція розчинених речовин спостерігається переважно у вертикальному розрізі до поверхні кристалічних порід, де відбувається їх більш інтенсивне просування в горизонтальному напрямку до контурів розвантаження підземних вод (див. рис. 4.9, 4.12, 4.15 і 4.18).

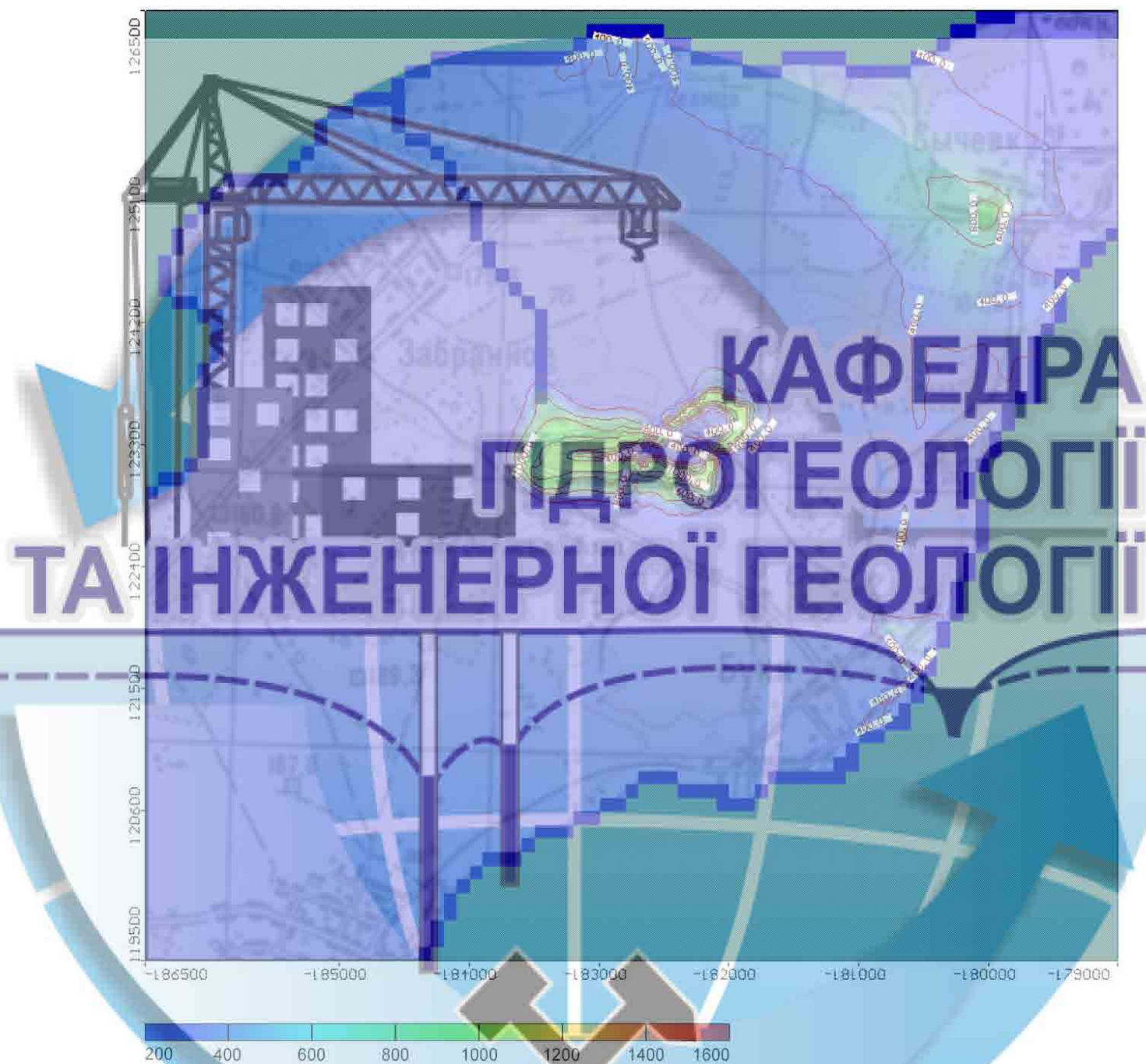


Рисунок 4.7 – Мінералізація підземних вод четвертинного водоносного горизонту за даними прогнозних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 20 років ( $t = 8000$  діб), мг/л

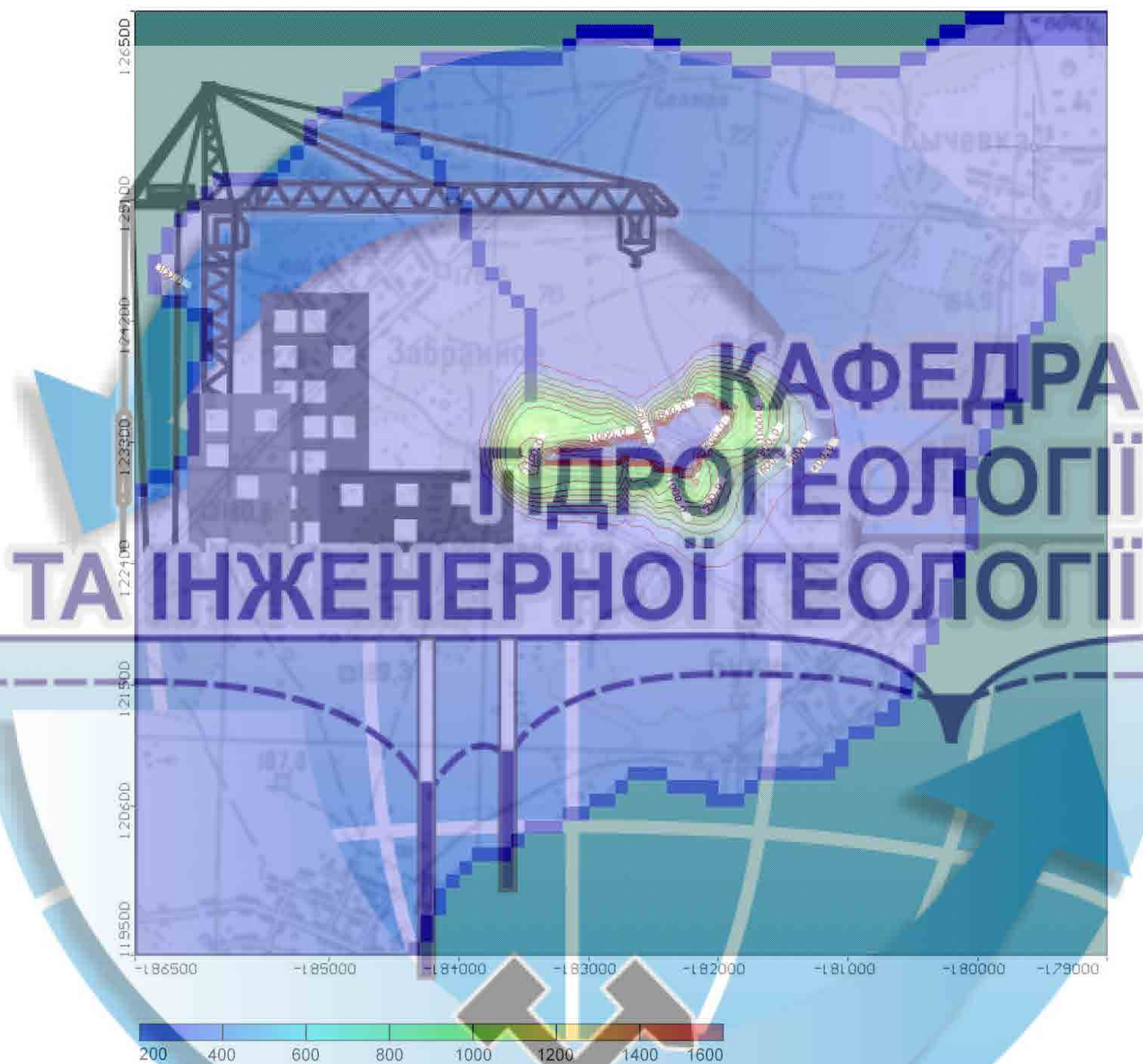


Рисунок 4.8 – Мінералізація підземних вод тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень за даними прогнозних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 20 років ( $t = 8000$  діб), мг/л

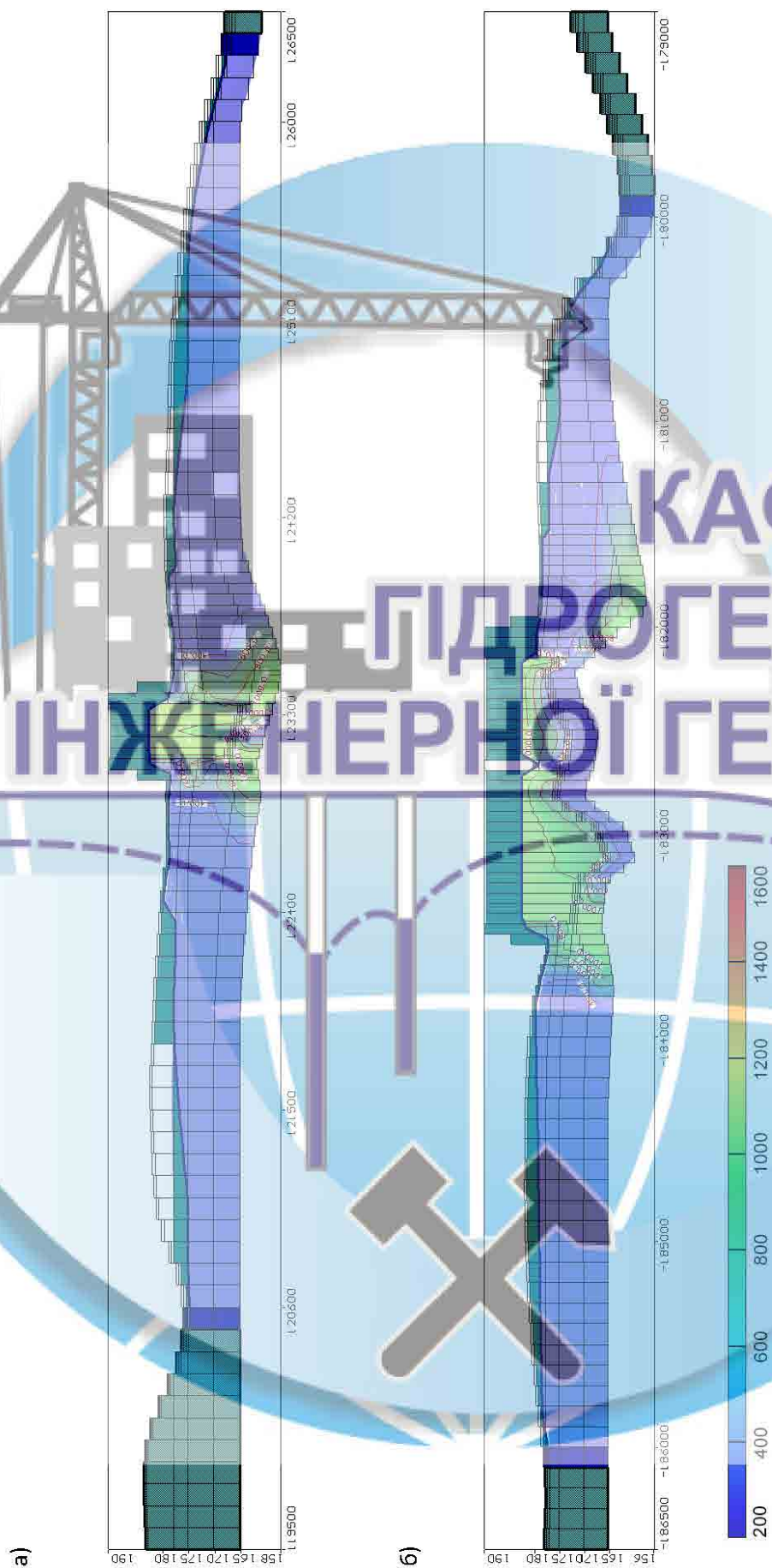


Рисунок 4.9 – Розподіл мінералізації підземних вод у вертикальному перерізі на період експлуатації хвостосховища 20 років ( $t = 8000$  діб), меридіональний (а) та північний (б) напрямки, мг/л

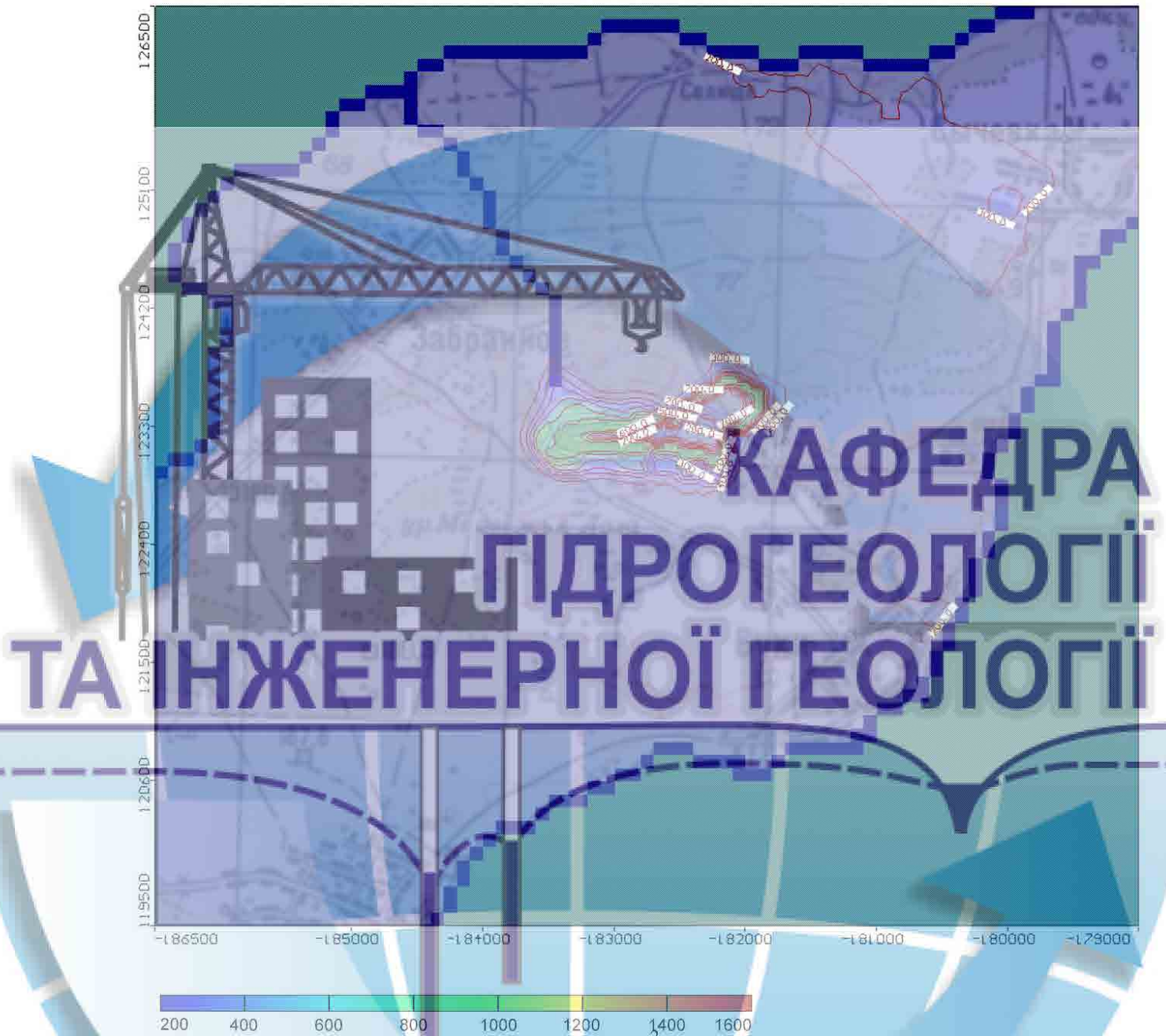


Рисунок 4.10 – Вміст сульфат-іону  $\text{SO}_4^{2-}$  в підземних водах четвертинного водоносного горизонту за даними прогнозних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 20 років ( $t = 8000$  діб), мг/л



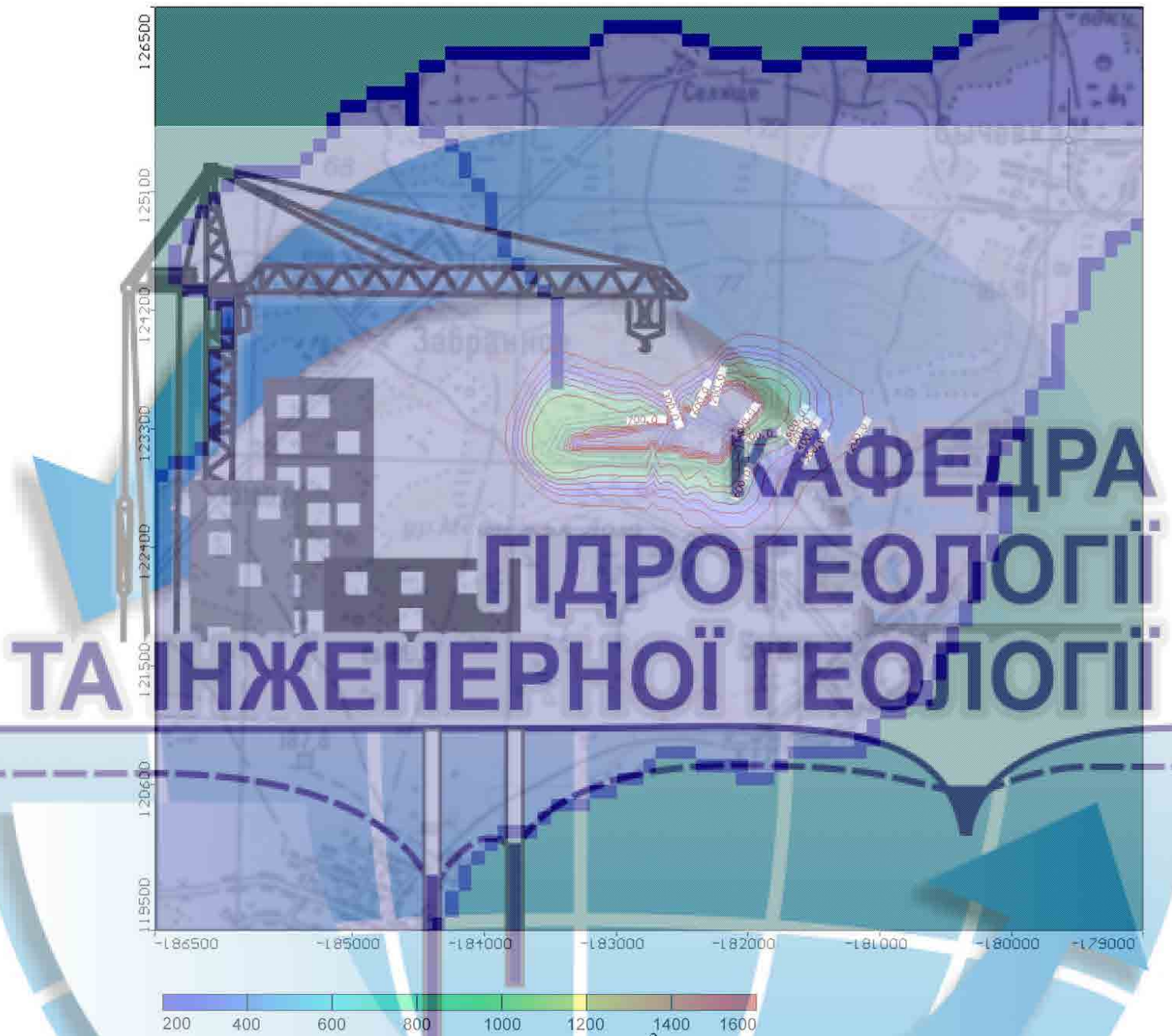


Рисунок 4.11 – Вміст сульфат-іону  $\text{SO}_4^{2-}$  в підземних водах тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень за даними прогнозних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 20 років ( $t = 8000$  діб), мг/л

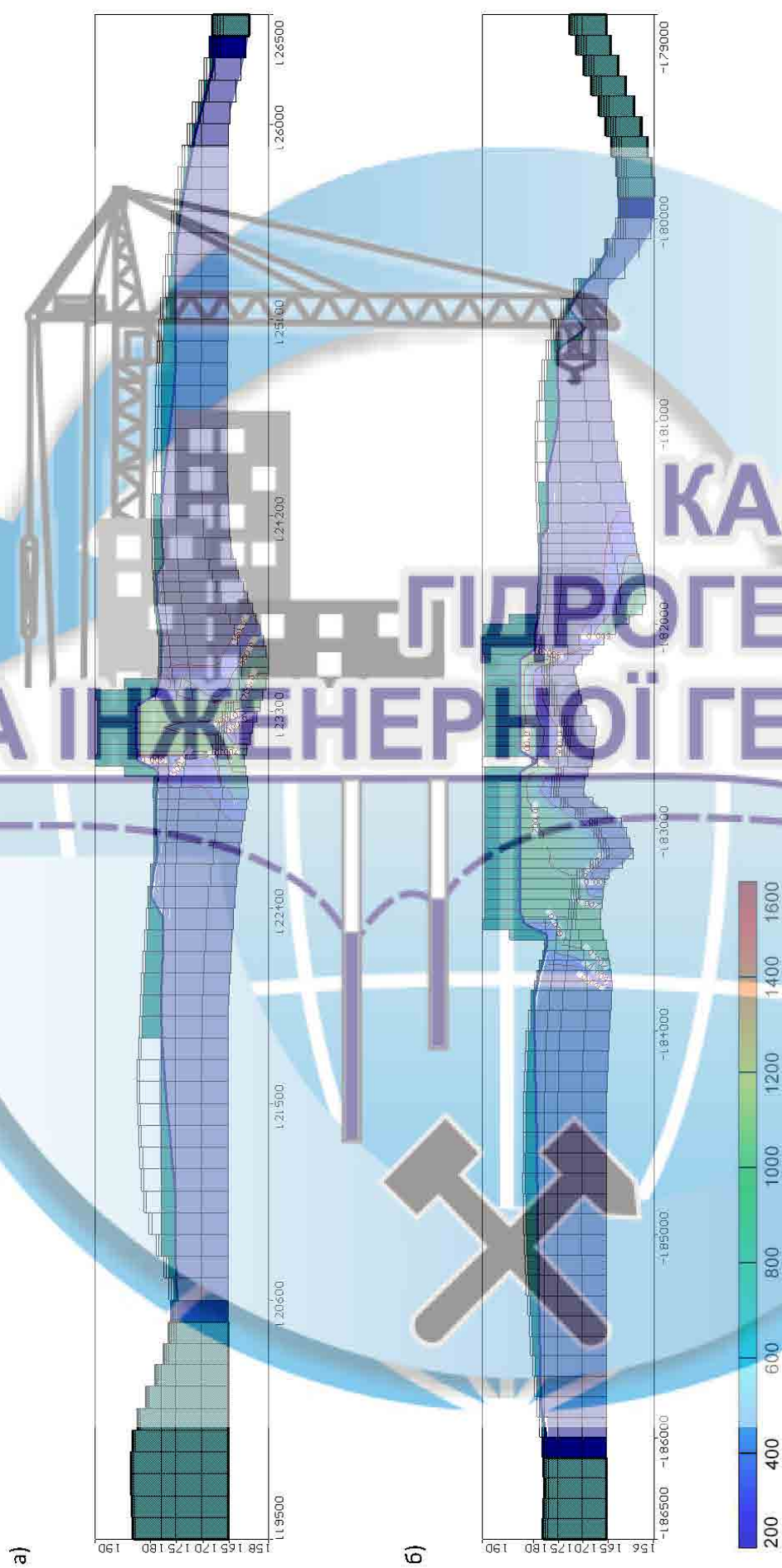


Рисунок 4.12 – Розподіл сульфат-іону в підземних водах у вертикальному перерізі на період експлуатації хвостосховища 20 років ( $t = 8000$  діб), меридіональний (а) та піронтний (б) напрямки, мг/л

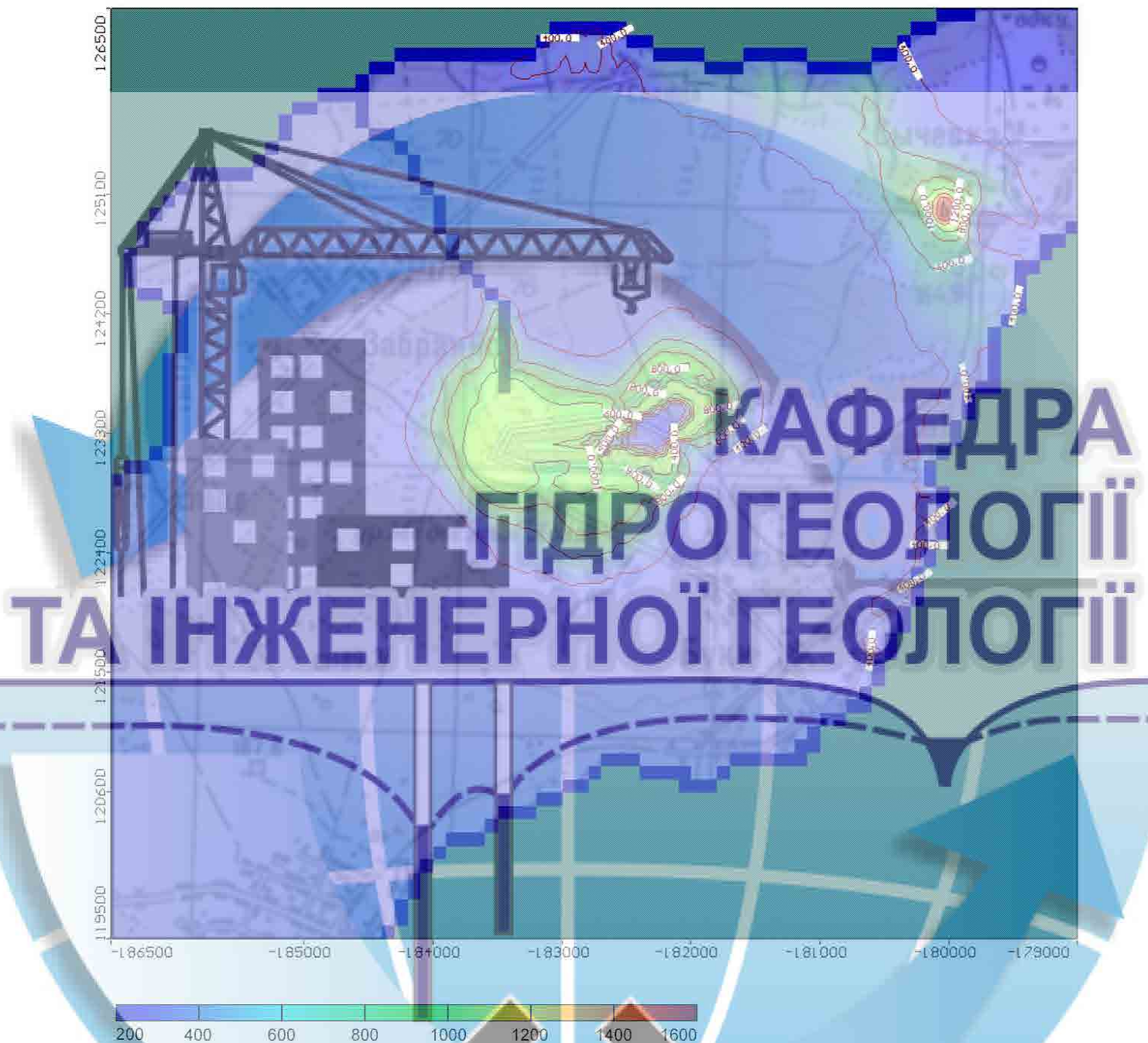


Рисунок 4.13 – Мінералізація підземних вод четвертинного водоносного горизонту за даними прогнозних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), мг/л

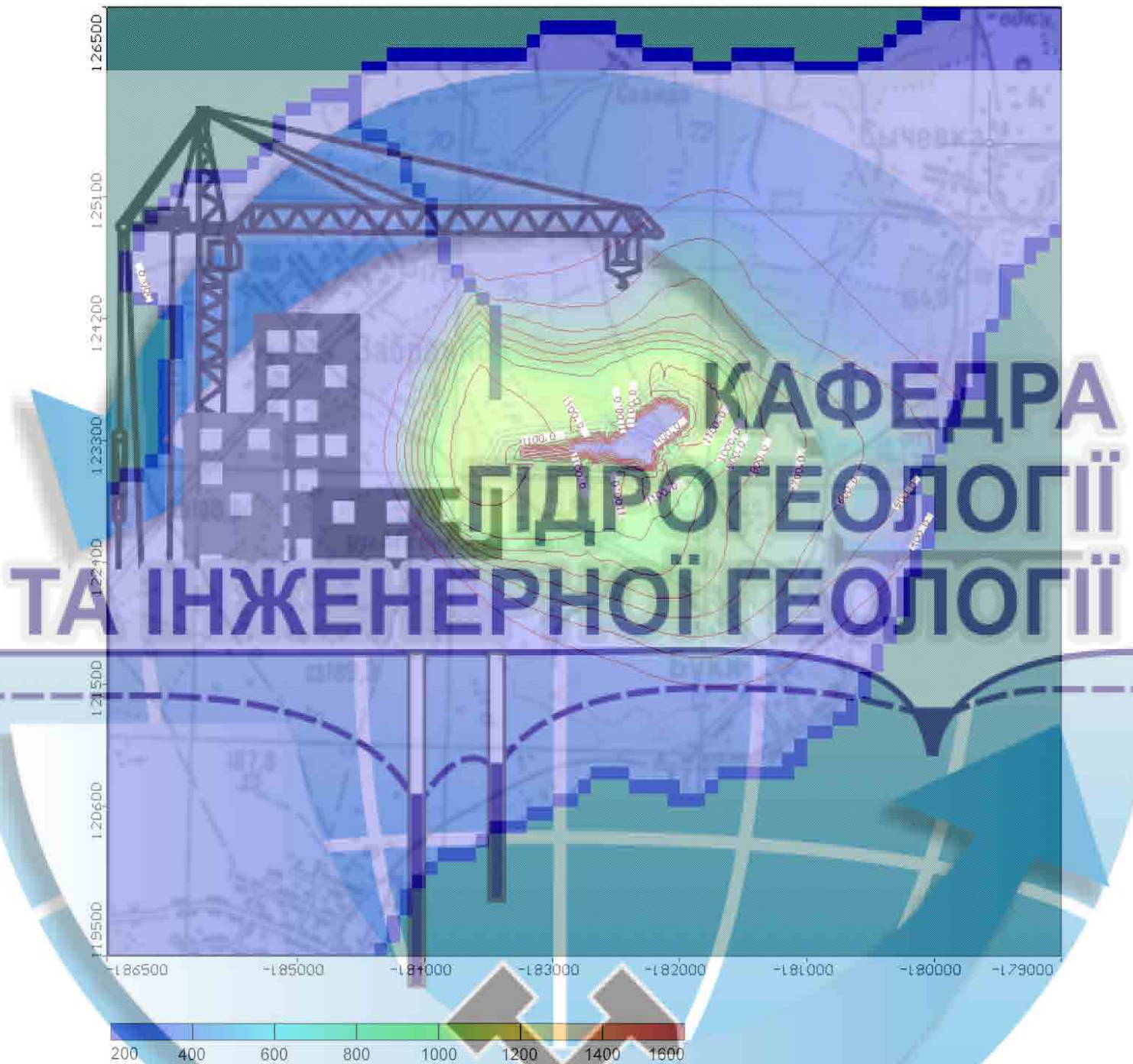


Рисунок 4.14 – Мінералізація підземних вод тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень за даними прогностичних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), мг/л

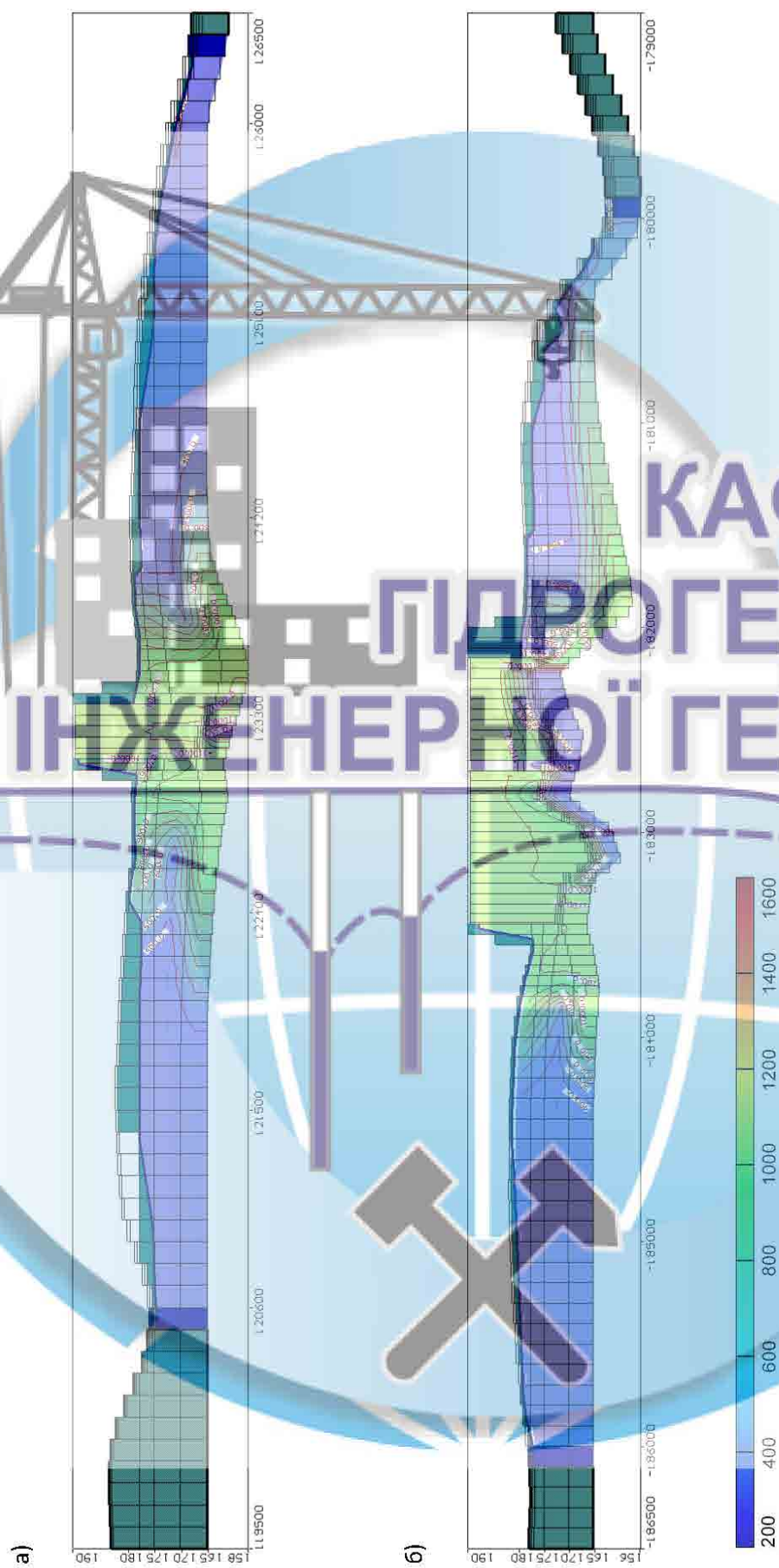


Рисунок 4.15 – Розподіл мінералізації підземних вод у вертикальному перерізі на період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  днів, меридіональний (а) та широтний (б) напрямки), мг/л



Рисунок 4.16 – Вміст сульфат-іону  $\text{SO}_4^{2-}$  в підземних водах четвертинного водоносного горизонту за даними прогнозних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), мг/л

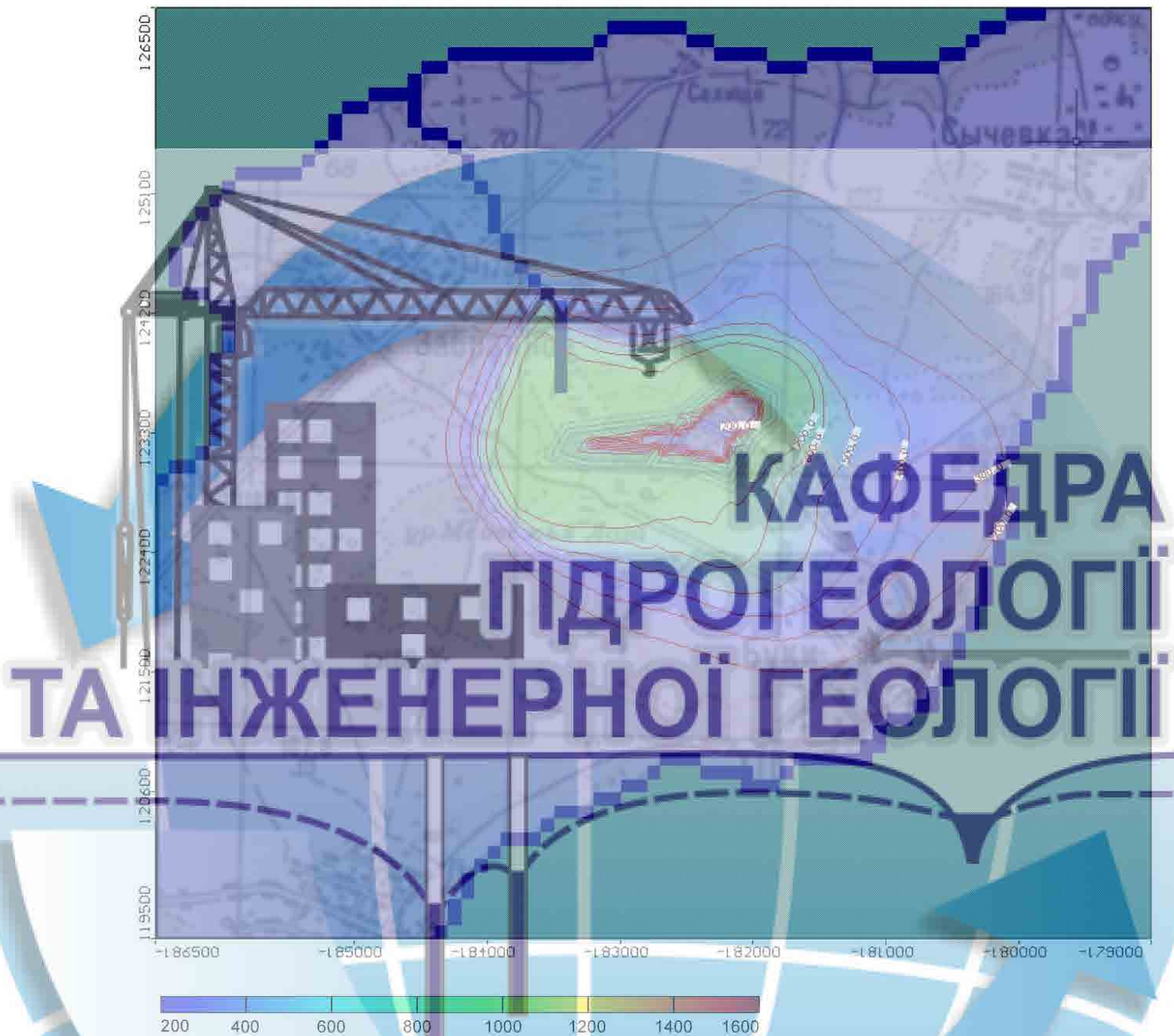


Рисунок 4.17 – Вміст сульфат-іону  $\text{SO}_4^{2-}$  в підземних водах тріщинної зони нижньопротерозойських відкладень за даними прогнозних розрахунків на період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), мг/л

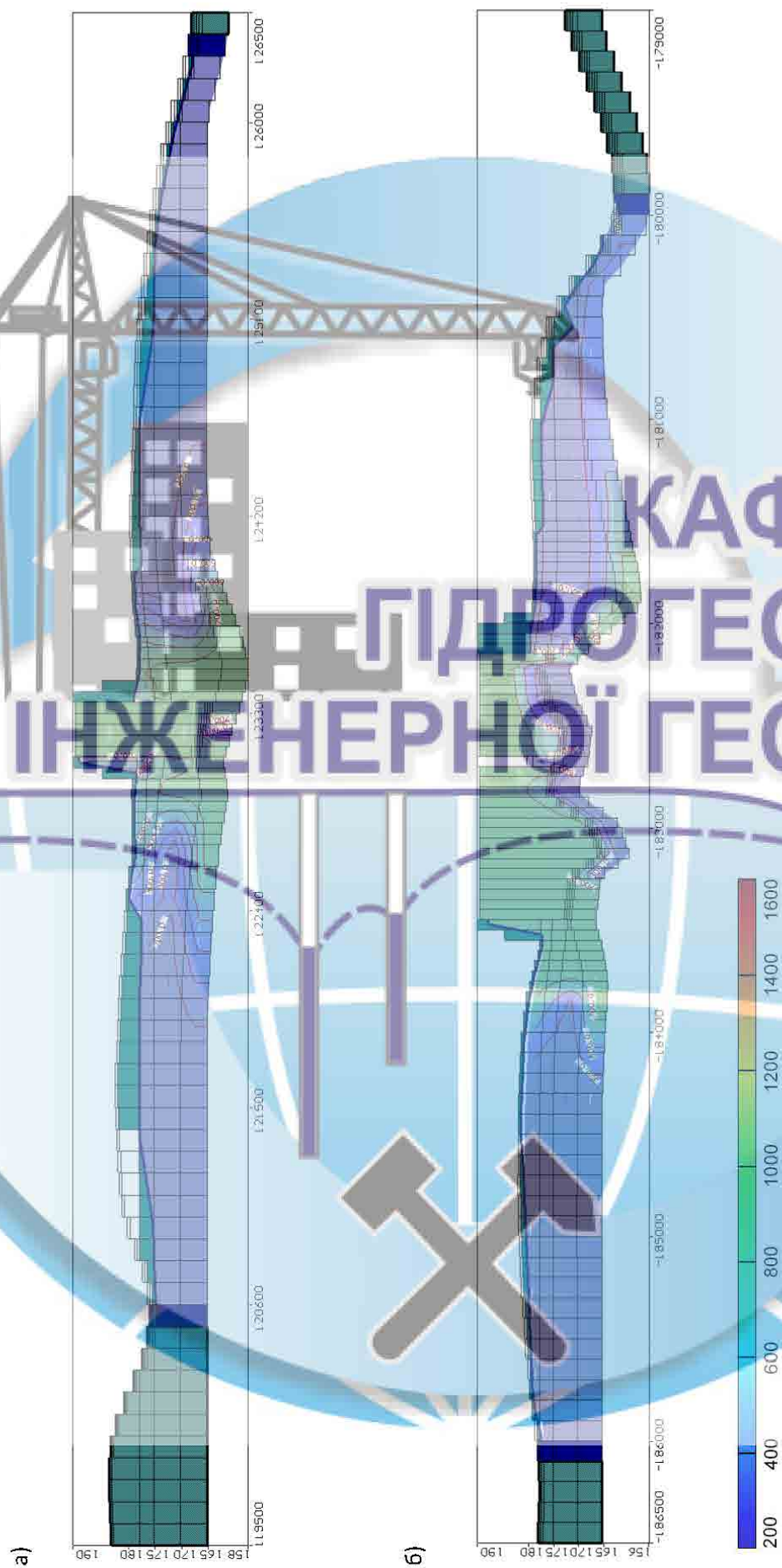


Рисунок 4.18 – Розподіл сульфат-іону в підземних водах у вертикальному перерізі на період експлуатації хвостосховища 50 років ( $t = 20000$  діб), меридіональний (а) та широтний (б) напрямки, мг/л



При середній мінералізації водної компоненти відходів рудозбагачення, рівній встановленій за даними лабораторних визначень 1108,7 мг/л, в четвертинних еолово-делювіальних відкладеннях формування ореолу з підвищеною мінералізацією підземних вод протягом всього періоду експлуатації хвостосховища (50 років або 20000 діб) відбувається безпосередньо навколо огорожувальних споруд в межах смуги шириною 300...1000 м з перевагою в напрямку річок Добринка, Тростяниця, та притоку річки Ріхта (див. рис. 4.7 і 4.13).

Аналогічний ореол в четвертинних відкладеннях формується і для сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ , вміст якого в пробах водної компоненти становить 780,7 мг/л, і який входить до макрокомпонентного складу підземних вод в межах ореолу з підвищеною мінералізацією (див. рис. 4.10 і 4.16).

При цьому контури з підвищеною мінералізацією і вмістом сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  в четвертинному водоносному горизонті за результатами міграційних розрахунків не досягають річок Ріхта, Добринка і Тростяниця, захоплюючи лише верхів'я правого притоку річки Ріхта.

Для підземних вод тріщинної зони верхнього протерозою значення мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ , встановлені за даними розрахунків в умовах розсіювання розчинених речовин, на контурах річок Добринка, Тростяниця і притоку річки Ріхта досягають величин відповідно 500,0 і 300,0 мг/л (див. рис. 4.8, 4.14 і 4.11, 4.17).

## 5. ПРИРОДООХОРОННІ ЗАХОДИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩА

За умови проектного будівництва і експлуатації хвостосховища очікувані зміни в розподілі величин мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  в межах досліджуваної території можуть бути охарактеризовані як незначні, оскільки при збереженні існуючого загального вигляду в міграції розчинених речовин мінералізація і вміст сульфат-іону на контурі річок Добринка, Тростяниця та правого притоку річки Ріхта в абсолютному вираженні не перевищують значень відповідно 500,0 і 300,0 мг/л і знаходяться близько до діапазону концентрацій, встановлених для існуючого стану ділянки проектного будівництва.

Зважаючи на те, що досліджувана територія в природних умовах характеризується неглибоким, до 1,0...2,0 м, заляганням рівнів підземних вод, а на деяких ділянках території відзначається заболоченість, прогнозоване підняття рівнів підземних вод буде сприяти подальшому підтопленню і затопленню оточуючої хвостосховище території.

Захист від підтоплення, який здійснюється на підставі прогнозу зміни гідрогеологічного режиму території, повинен організовуватися для окремих промислових і народно-господарських об'єктів, а також для населених пунктів. Захисні пристрої рекомендується проектувати у вигляді дренажних і протифільтраційних пристроїв, а також їх поєднань в залежності від рельєфу місцевості, літологічних особливостей порід, від значення об'єктів, які підлягають захисту [20].

При проектуванні хвостосховища мають бути враховані:

- Ступінь просідання ґрунтів;
- Сейсмічність;
- Визначені санітарно-захисні зони (СЗЗ);
- Системи сигналізації, оповіщення, зв'язку.

При проектуванні і будівництві хвостосховища на дно котловану обов'язково передбачається укладання водотривкого шару з глинистого матеріалу, іноді в поєднанні з полімерною плівкою, бентонтовими матами, геомембраною і т.п. Гідроізоляція за допомогою тільки однієї плівки неприпустима, так як досвід показав неефективність такого способу (поліетиленова плівка не витримує навантажень, які виникають, тим самим її призначення як водонепроникного екрану практично зводиться до нуля).

На наливних хвостосховищах, що містять речовини 1, 2 і 3 класів небезпеки, після перших 5-ти років роботи і не рідше, ніж через 10 м нарощування дамби повинна бути проведена перевірка на стійкість дамби і фізико-механічних характеристик «хвостів» на відповідність вимогам проекту.

Відстояна вода повинна підлягати очищенню і скидатися в місцеві водойми або повертається на збагачувальну фабрику для технологічних потреб.

Повинна бути розроблена і впроваджена система моніторингу, як за станом дамб, так і за впливом хвостосховища на навколишнє середовище.

Дамба гирлової частини хвостосховища повинна забезпечити утримання маси «хвостів» у чаші хвостосховища і не допускати їх витоку в найближчу водойму, а дно хвостосховища і борти повинні мати гідроізоляційний шар.

Одне з неодмінних умов безпеки хвостосховищ - технологічне дотримання балансу між обсягом надходження хвостових вод в відстійний ставок і поверненням освітлених вод в технологічний процес (з урахуванням кількості атмосферних опадів і обсягу випаровування).

Система оборотного водопостачання повинна повністю виключити скидання позабалансових вод з хвостосховища.

Для непередбачених випадків екстреного скидання в районі хвостосховища слід передбачити спеціальний зумпф необхідного обсягу з

наступним поверненням з нього рідини в технологічний процес або видаленням її відповідно до санітарних вимог (очищення, розведення і т.п.)

Для перехоплення поверхневих вод в цих випадках повинні бути передбачені надійні й достатні за обсягом відвідні нагірні канали.

По периметру хвостосховища біля основи греблі необхідно влаштувати дренажні канали або споруди для перехоплення фільтраційного потоку і повернення його в хвостосховище або в технологічний процес.

При експлуатації хвостосховища обов'язковою є система спостережень та контролю рівня води в ставку зворотних вод; технічного стану дренажної та водозбірної мережі; режиму роботи дренажних та фільтраційних насосних станцій.

Також необхідними є проведення досліджень та інструментальних вимірів, а саме:

- моніторинг гідродинамічного режиму основних водоносних горизонтів навколо території планованої діяльності;
- виміри рівня води в хвостосховищі;
- моніторинг стану забруднення ґрунтів навколо хвостосховища (моніторинг місця видалення відходів – хвостів збагачення);
- моніторинг якісного та кількісного складу забруднюючих речовин зворотних вод;
- контроль якісного стану підземних горизонтів через локальні мережі спостережувальних свердловин;
- моніторинг якісного та кількісного складу забруднюючих речовин в р. Ріхта, р. Добринка та р. Тростяниця;
- проведення фільтраційних спостережень (контроль контуру ставка в чаші хвостосховища; вимірювання витрат фільтраційних вод дренажної системи; контроль місць виклинювання фільтраційних вод на відкосі та біля підшви дамби).

## ВИСНОВОК

Експлуатація гірничих підприємств, як правило, призводить до значних порушень природного гідродинамічного режиму підземних вод. Видобуток корисних копалин супроводжується інтенсивним водовідливом вод різної мінералізації. Для локалізації промислових стоків споруджують гідротехнічні споруди типу хвостосховища. Фільтраційні втрати накопичених у хвостосховищах стоків та відходів формують локальні зони техногенної інфільтрації. Наслідком цього є підйом рівня підземних вод, зміна їх хімічного складу, зниження геомеханічної стійкості породного масиву, зміна умов живлення та розвантаження підземних вод.

На території України знаходиться 344 накопичувача промислових відходів. Існуючі технології складування відходів збагачення, а також специфічні умови експлуатації хвостосховищ створюють реальну небезпеку забруднення гідросфери.

Після введення в дію хвостосховища на масиві визначають можливі зміни в складових водно-сольового балансу. Зміна хоча б одного елемента суттєво впливатиме на величини інших складових, а ті у свою чергу спричиняють зміни в гідродинамічному та гідрогеохімічному режимі підземних вод ділянки та прилеглої території. Тому для виявлення і запобігання негативного впливу на навколишнє середовище виконують прогноз гідродинамічних та гідрохімічних змін в умовах техногенного навантаження.

Методи прогнозу режиму підземних вод розділені на чотири групи: балансові методи, методи аналогій, аналітичні методи та методи чисельного моделювання.

Захист підземних вод від забруднення виконується трьома групами методів: пасивними, профілактичними та активними. Пасивні – засновані на використанні природних бар'єрів; профілактичні – передбачають створення певних штучних бар'єрів на шляху міграції; активні методи – спрямовані на

вилучення токсичних речовин з водоносного горизонту або їхню нейтралізацію.

Ділянка досліджень знаходиться в центральній частині Житомирської області в межах Хорошівського району, між селищами Заброне та Буки.

Аналіз геолого-гідрогеологічних умов досліджуваної території, результатів моделювання гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів підземних вод, а також результатів фільтраційних розрахунків на ділянці огорожувальних споруд проектного хвостосховища Іранського ГЗК, дозволив зробити наступні висновки.

Геологічна будова та гідрогеологічні умови досліджуваної території визначаються повсюдним поширенням четвертинних еолово-делювіальних відкладень і відкладень нижньої крейди, що залягають на складно розчленованій поверхні інтрузивних утворень верхнього протерозою.

Гідрогеологічні умови ділянки хвостосховища характеризуються розвитком четвертинного водоносного горизонту, приуроченого до еолово-делювіальних піщано-суглинистих відкладень четвертинного віку, і водоносного горизонту у верхній тріщинуватій частині розрізу верхньопротерозойських відкладень.

Гідродинамічний режим досліджуваної території в природних умовах формується переважно за рахунок інфільтраційного живлення підземних вод атмосферними опадами і розвантаженням розвинених в межах території проектного будівництва четвертинного і верхньопротерозойського водоносних горизонтів у річкову мережу, яка в межах досліджуваної території представлена річками Ріхта, Добринка і Тростяниця.

Прогнозна оцінка змін гідродинамічного режиму в умовах проектного будівництва та подальшої експлуатації хвостосховища із заповненням його до відмітки 190,00 м при висоті огорожувальних дамб 10,5 м (відмітка гребеня дамб 190,5 м) свідчить про очікуваний суттєвий, до 2,0 м і більше, підйом рівнів підземних води безпосередньо навколо хвостосховища, і, як наслідок, підтоплення і затоплення прилеглих до

хвостосховища територій.

Згідно з результатами виконаних розрахунків зміни рівнів підземних вод на прилеглий до хвостосховища території відбуваються впродовж всього розрахункового терміну експлуатації хвостосховища і зумовлюються зростанням абсолютних відміток поверхні складованих до хвостосховища відходів рудозбагачення. На кінцевий період експлуатації хвостосховища під підтоплення і затоплення підпадають смуги шириною від 500 м на східній і західній ділянках території до 1000 м – на північній і південній ділянках.

Ріст рівнів підземних вод на прилеглих до хвостосховища ділянках визначається величиною фільтраційних втрат, яка у загальному балансі досліджуваної території згідно з даними виконаних розрахунків зростає від 96,31 м<sup>3</sup>/добу (1,11 л/с) на початку експлуатації хвостосховища до 369,93 і 746,67 м<sup>3</sup>/добу (4,28 і 8,64 л/с) відповідно на 20 і 50 років (8000 і 20000 діб) експлуатації.

За умови будівництва і експлуатації хвостосховища очікувані зміни в гідрогеохімічному стані прилеглої території характеризуються розвитком ореолів підземних вод з підвищеними мінералізацією і вмістом сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ , які характеризуються просуванням їх контурів в напрямку річкової мережі переважно в межах тріщинуватої зони кристалічних порід. При цьому сукупний вміст розчинених речовин і сульфат-іону на контурі річок Добринка, Тростяниця та правого притоку річки Ріхта в абсолютному вираженні не перевищують значень відповідно 500,0 і 300,0 мг/л і знаходяться близько до діапазону концентрацій, встановлених для існуючого стану ділянки проектного будівництва.

Для зниження фільтраційних втрат із чаші проектного хвостосховища і запобігання потрапляння води з підвищеними мінералізацією і вмістом сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  до розвинених в межах досліджуваної території водоносних горизонтів доцільно збереження у якості

протифільтраційного екрану шару глини і суглинків ПЕ-7,9, а також застосування їх у якості матеріалу верхових укосів огорожувальних дамб.

До інженерних заходів захисного характеру слід віднести укладання захисного екрану на дно хвостосховища та зведення по зовнішньому контуру хвостосховища горизонтального дренажу з поверненням дренажних вод в систему оборотного водопостачання проєктованого хвостового господарства.



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидротехнические сооружения. Том 1. Гришин М.М. (ред.). 1979.
2. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б., Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия. Горный журнал. 1989.
3. Максимов В.М. (ред.) Справочное руководство гидрогеолога. Л.:Недра, 1979.
4. Бочеввер Ф.М., Орадовская А.Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. М., Недра, 1972.
5. Бузаев В.В. Методы прогноза миграции солей в слоистых водоносных пластах. — Автореф., канд. дисс. М., 1982.
6. Веригин Н.Н., Шержуков Б.С. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах. — В кн.: Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917 — 1967). М., 1969.
7. Гольдберг В.М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах. М., Недра, 1976.
8. Аксенов С.Г., Жабовский В.П. Проблемы безопасности накопителей промстоков (хвостохранилищ, шламоохранилищ и гидроотвалов) промышленных предприятий и пути повышения их устойчивой работы//Белгород: ГУПВИОГЕМ. 1997.
9. Рудаков Д.В. Математичні методи в охороні підземних вод: навч. посібник – Д.: Національний гірничий університет, 2012.
10. Мироненко В.А. Проблемы гидроэкологии / В.М. Мироненко, В.Г. Румынин – М.: Изд-во МГУ, 1999.
11. Ситников А.Б. Вопросы миграции веществ в грунтах / Ситников А.Б. – К.: ИГН НАН Украины
12. Звіт з оцінки впливу на довкілля. «Реконструкція хвостосховища «Об'єднане». Хвостосховище «Друга карта». Центр екології та розвитку

нових технологій. Публічне акціонерне товариство «Південний гірничо-збагачувальний комбінат». Київ, 2018

13. Завальний А.П., Решетов І.К. и др. Экологические проблемы складирования промышленных отходов в Украине. Научно-технический журнал «Екологія довкілля та безпека життєдіяльності», №5, Київ, 2007.

14. Завальний А.П., Антимонова Н.Г. и др. О введении нормативного документа на проектирование накопителей промышленных отходов – ДБН «Хвостосховища та шламонакопичувачі». Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, №986: «Геологія – Географія – Екологія», випуск 35, Харків, 2011.

15. Державна геологічна карта України, Масштаб 1:200 000, Аркуш М-35-ХІ Коростень/ С.М. Мазур, 2001.

16. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988.

17. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. – М.: Недра, 1983.

18. McDonald M.G. and Harbaugh A.W., 1984. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875.

19. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, В.С. Саркисян и др. – М.: Недра, 1977.

20. ДБН В.2.4-5:2012 Хвостосховища і шламонакопичувачі.

21. ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 210 "Будівельна кліматологія".

22. ДБН В.1.1-24-2009 "Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення".

23. Костяков А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. М.:Сельколхозгиз, 1933.

24. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых — М.: Недра,1976.

25. Каменский Г. Н. Основы динамики подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1943.

26. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полезных ископаемых). – Л.: Недра, 1988.

27. Ковалевский В. С. Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод. — М.: Наука, 1983  
Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. М.: Недра, 1989

28. Трофимов В.Т. и др. Теория и методология экологической геологии./ Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1997

29. Экологические функции литосферы/Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др.; под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000.

30. Лолаев А.Б. Инженерно-геокриологические проблемы освоения криоли-тозоны. М.: МИСИ, 1998.  
Мирзаев Г.Г., Иванов Б.А., Щербаков В.М., Проскуряков Н.М. Экология горного производства.: Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1991.

31. Гальперин А.М., Романщак А.А. Перспективные задачи гидрогеомеханического и инженерно геологического обеспечения при формировании техногенных массивов хвостохранилищ// Белгород: ГУПВИОГЕМ. - 1997.

32. Долгих С.Н., Мауль В.К. Опыт строительства и эксплуатации бессточных хвостохранилищ в условиях Крайнего Севера //Гидротехническое строительство, 1997.

33. Мосейкин В.В. Геолого-экологическая оценка намывных техногенных массивов хранилищ горнопромышленных отходов: Автореф. дис. на со-иск. уч. степ. докт. техн. наук. М., 2000.

## ДОДАТОК А

### Рецензія

**на дипломну роботу ступеня магістра студентки гр. 103м-18-2  
Спеціальності 103 Науки про Землю (ОПП Геологія. Блок Гідрогеологія)  
Башлик Катерини Євгенівни на тему: «Прогноз гідродинамічного та  
гідрохімічного режимів підземних вод в умовах хвостосховища  
Іршанського ГЗК»**

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи складається з п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і містить 99 сторінок, 34 рисунки та 9 таблиць.

У вступі викладено проблему забруднення гідросфери, що обумовлена експлуатацією промислових гідротехнічних об'єктів. Наслідки такого впливу відображаються у вигляді підйому рівня підземних вод, зміни їх хімічного складу, зниження геомеханічної стійкості породного масиву, зміни умов живлення та розвантаження підземних вод. Для вирішення проблеми автором сформульовані мета і задачі роботи, визначені предмет та об'єкт досліджень.

В загальній частині проаналізовані досвід експлуатації гідротехнічних споруд в Україні, зберігання промислових стоків, їх вплив на гідрогеологічний режим водних об'єктів. Визначені переваги та недоліки методів прогнозування гідродинамічних і гідрохімічних змін в зоні впливу гідротехнічних об'єктів. Охарактеризована геолого-гідрогеологічна будова району досліджень.

В спеціальній частині обґрунтована чисельна модель процесу геофільтрації та геоміграції, розроблена загальна гідродинамічна схема досліджуваної території, обґрунтовані фільтраційні та міграційні параметри, визначені початкові та граничні умови. Шляхом вирішення оберненої задачі проведена оцінка достовірності розрахункових параметрів та схеми моделювання. За результатами рішення ідентифікаційних задач спрогнозовані зміни рівневої поверхні підземних вод, мінералізації та окремих макрокомпонентів в часі і просторі. Для прогнозних розрахунків автором використана одна з найсучасніших ліцензованих програм моделювання геофільтрації MODFLOW 2009.1.

Отримані результати роботи мають практичну цінність і дозволяють попередити негативний вплив хвостосховища на екологічну ситуацію прилеглої території.

Кваліфікаційна робота написана методично грамотно, задачі вирішені в повному обсязі, оформлена відповідно до вимог вищої школи і заслуговує на оцінку «відмінно», а її автор присвоєння кваліфікації магістр з Наук про Землю.

Рецензент:  
професор кафедри ГРПКК  
доктор геолого-мінералогічних наук

Рузіна М.В.

## ДОДАТОК Б ВІДЗИВ

**на кваліфікаційну роботу ступеня магістра студентки гр. 103М-18-2 спеціальності 103 Науки про Землю освітньої програми «Гідрогеологія» Башлик К.С. на тему: «Прогноз гідродинамічного та гідрохімічного режимів підземних вод в умовах хвостосховища Іршанського ГЗК»**

Кваліфікаційна робота Башлик К.С. присвячена питанню дослідження гідродинамічних та гідрохімічних змін підземної гідросфери в зоні впливу хвостосховища гірничо-збагачувального комбінату. Актуальність та сутність проблеми викладено у вступі, а також визначені мета та завдання досліджень.

Аналіз досвіду експлуатації накопичувачів відходів ГЗК та методів оцінки техногенного режиму підземних вод міститься в загальній частині роботи.

В основній частині методом математичного моделювання обґрунтовані фільтраційні та ємнісні параметри водоносної товщі, а також параметри перетікання слабопроникних товщ. Оцінені зміни гідродинамічного і сольового режиму підземних вод. Згідно з результатами виконаних розрахунків зміни рівнів підземних вод на прилеглий до хвостосховища території відбуваються впродовж всього розрахункового терміну експлуатації хвостосховища і зумовлені зростанням абсолютних відміток поверхні складованих до хвостосховища відходів рудозбагачення. Прогнозовані зміни в гідрогеохімічному стані характеризуються розвитком ореолів підземних вод з підвищеними мінералізацією і вмістом сульфат-іону $\text{SO}_4^{2-}$ , які характеризуються просуванням їх контурів в напрямку річкової мережі переважно в межах тріщинуватої зони кристалічних порід.

Для зниження фільтраційних втрат із чаші проєктованого хвостосховища і запобігання потрапляння води з підвищеними мінералізацією і вмістом сульфат-іону до розвинених в межах досліджуваної території водоносних горизонтів рекомендовано збереження у якості протифільтраційного екрану шару глини і суглинків, а також застосування їх у якості матеріалу верхових укосів огорожувальних дамб.

Кваліфікаційна робота виконана самостійно, результати досліджень мають елементи наукової новизни та практичну цінність. Поставлені задачі вирішені коректно в повному обсязі, робота відповідає вимогам вищої школи і заслуговує на оцінку «відмінно», а її автор присвоєння кваліфікації магістр зі спеціальності 103 Науки про Землю ОП «Гідрогеологія».

Професор кафедри гідрогеології  
та інженерної геології, д.т.н., проф.

Садовенко І.О.