Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фундаментальної та прикладної геології

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

В.о. декану факультету геології, географії, рекреації і туризму

_____ Катерина КРАВЧЕНКО

"22" серпня 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ГІДРОГЕОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

рівень вищої освіти	**перший (бакалаврський)**
галузь знань	**10. Природничі науки**
спеціальність	**103. Науки про Землю**
освітні програми	**Прикладна гідрогеологія**
спеціалізація	
вид дисципліни	вибіркова
факультет	геології, географії, рекреації і туризму

2025 / 2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету геології, географії, рекреації і туризму
«26» серпня 2024 року, протокол №8_____

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Петік В. О., к. геол. н., доцент кафедри фундаментальної та прикладної геології

Програму схвалено на засіданні кафедри фундаментальної та прикладної геології
Протокол від «26» серпня 2024 року № 14____

В.о. завідувача кафедри фундаментальної та прикладної геології

_____ _____Олена ХРІПКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантами освітньо-професійних програм:

Гарант ОПП «Прикладна гідрогеологія»
_____(Аліна КОНОНЕНКО)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією факультету геології, географії, рекреації і туризму
Протокол від «26» серпня 2024 року № 7_____

Заступник голови науково-методичної комісії
факультету геології, географії, рекреації і туризму

_____ __ (Юлія ПРАСУЛ)
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни **«Гідрогеологічне моделювання»** складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів,

спеціальність 103 Науки про Землю,

Освітня програма Прикладна гідрогеологія

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою навчальної дисципліни є сформувати у студентів компетентності стосовно сутності і механізмів гідрогеологічних і геофільтраційних процесів в гідрогеологічних системах, а також підходів та методів їх дослідження.

1.2. Основні завдання вивчення навчальної дисципліни:

- сформувати у студентів сучасну методологію у застосуванні математичних методів та ЕОМ у дослідженні фільтраційних процесів;
- сформувати у студентів знання та поняття про основні підходи та методи моделювання гідрогеологічних, інженерно-геологічних та геоекологічних процесів;
- сформувати у студентів вміння користуватися методами моделювання у дослідженні та аналізі процесів в гідрогеосистемах;
- сформувати у студентів компетентність стосовно використання моделювання та ЕОМ в гідрогеологічних дослідженнях.

1.3. Кількість кредитів – 5.

1.4. Загальна кількість годин – 150.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
вибіркова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-
Семестр	
7-й	-
Лекції	
24 год.	-
Практичні, семінарські заняття	
24* год.	-.
Лабораторні заняття	
-	-
Самостійна робота	
102 год.	-.

** у разі формування малочисельних груп обсяг аудиторного навчального навантаження, відведеного на вивчення навчальної дисципліни, зменшується відповідно до Положення про планування й звітування науково-педагогічних працівників Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.*

1.6. Перелік компетентностей, що формує дана дисципліна:

ЗК 3. Здатність оволодіти базовими знаннями та уміння застосовувати їх на практиці: використання гідрогеологічної та геологічної інформації та номенклатури у професійній

діяльності.

ЗК 5. Здатність використовувати знання державної та іноземної мови (як усно, так і письмово) у професійній діяльності в галузі гідрогеології і геології.

ФК 10. Здатність оволодіти понятійно-термінологічним апаратом, теоріями і концепціями, законами і закономірностями фундаментальних і спеціальних наук про Землю як комплексну природну систему; застосовувати їх в дослідженнях геологічних і гідрогеологічних явищ і процесів та аналізувати з точки зору фундаментальних теорій та концепцій геологічної науки як в глобальному і регіональному, так і в межах України і локальному рівнях; здатність виявляти взаємозв'язки між природним середовищем та діяльністю людини; розуміти та пояснювати стратегію сталого розвитку України.

ФК 11. Здатність застосовувати базові знання фізики, хімії, біології, екології, математики, інформаційних технологій при вивченні Землі та її геосфер і. орієнтуватися у світовому і національному гідрогеологічному і геологічному освітньо-науковому просторі в контексті розширення і актуалізації нових знань для підвищення професійної майстерності;

ФК 12. Здатність розуміти основні фізико-хімічні і геологічні процеси, що відбуваються у підземному середовищі у різних просторово-часових масштабах; розуміння причинно-наслідкових зв'язків розвитку та взаємодії підземного середовища і людини та уміння їх використовувати у професійній, виробничій та науковій діяльності.

ФК 14. Здатність застосовувати базові знання фундаментальних наук при всебічному вивченні природних та антропогенних процесів в геологічних і гідрогеологічних системах різного ієрархічного рівня; здатність інтегрувати польові та лабораторні спостереження з теорією у послідовності: від спостереження до розпізнавання, синтезу і моделювання.

ФК 16. Здатність самостійно проводити гідрогеологічну зйомку і розвідку різних підземних і поверхневих вод, досліджувати їх хімічний склад в польових і лабораторних умовах, описувати геологічні оголення і джерела, аналізувати гідрогеологічні умови, вірно інтерпретувати отримані результати, складати гідрогеологічні, геологічні документи, звіти і презентації досліджень.

1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисципліна:

ПР 1. Знання номенклатури та термінології сучасних геологічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних дисциплін; збирати обробляти та аналізувати інформацію в області наук про Землю; вибирати і застосовувати основні методики та інструменти у виробничих і наукових гідрогеологічних та інженерно-геологічних установах і підприємствах.

ПР 2. Вільно володіти і використовувати професійну українську мову (усно і письмово) при вивченні базових концепцій з геологічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних наук, об`єктно-предметної області, понятійно-термінологічного апарату, теорій і концепцій, законів і закономірностей, методів досліджень, написанні курсових робіт, виробничих звітів і презентацій.

ПР 3. Спілкуватися іноземною мовою за фахом; здатність вільно висловлювати власні думки і вміти доносити їх до фахівців і нефахівців, обґрунтовувати та пояснювати результати досліджень; здатність працювати в міжнародних організаціях, в глобальному інформаційному середовищі, приймати участь в міжнародних наукових і практичних конференціях.

ПР 4. Використовувати інформаційні технології, картографічні та геоінформаційні моделі в області наук про Землю; методи пошуку, створення, збереження, відтворення, обробки та передачі даних та інформації засобами обчислювальної та комунікаційної техніки; основні категорії програмних та апаратних засобів, базові принципи побудови архітектури і платформ обчислювальних систем.

ПР 8. Обґрунтовувати вибір та використовувати стандартні польові та лабораторні методи для аналізу природних підземних вод та антропогенних систем і об'єктів, які впливають на

них.
ПР 11. Ефективно застосовує базовий поняттєвий, термінологічний, концептуальний апарат геології, гідрогеології та інженерної геології, їх теоретичні та емпіричні досягнення на рівні, що дозволяє інтерпретувати природні та антропогенні явища і процеси, пов'язувати та порівнювати різні погляди на проблемні питання сучасної геології і гідрогеології.
ПР 18. Організовує співпрацю персоналу та ефективно працює в команді (колективі виробничого підрозділу, наукового закладу, інших професійних об'єднаннях), визначає оптимальні шляхи організації колективу в різних видах діяльності.
ПР 20. Уміє доносити результати діяльності до професійної аудиторії та широкого загалу, робити презентації та повідомлення.

1.8.Пререквізити: «Вища математика», «Інформаційні технології», «Динаміка підземних вод».

2. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ

ТЕМА 1. ОСОБЛИВОСТІ І СУТНІСТЬ МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ

Визначення математичних методів і моделювання. Моделювання як загальнонауковий метод дослідження. Історія застосування математичних методів, моделювання і ЕОМ в гідрогеології. Місце моделювання у сучасній методології геологічних досліджень.

Філософські основи методу моделювання. Теорія та експеримент у пізнанні дійсності. Факт, поняття, закономірність, закон, теорія, парадигма, логіка побудови науки. Модель як відображення певного фрагменту універсуму. Роль аналізу і синтезу, абстракції, конкретного і загального в моделюванні. Роль геосистемної парадигми у розвитку моделювання систем.

Математичний опис гідрогеологічних систем і процесів. Диференційні рівняння як найбільш універсальна форма опису процесів. Інваріантна форма опису процесів. Умови однозначності та їх значення у моделюванні (геометрична подібність, подібність розподілу параметрів середовища, подібність крайових умов). Граничні умови у моделюванні гідродинамічних і гідрохімічних процесів. Універсальний запис граничних умов. Поняття про точність рішення.

Основи теорії подібності і моделювання. Основні поняття теорії подібності та аналогії. Подібність, аналогія, їх принципові відмінності. Принципи класифікації моделей за подібнбістю і аналогією. Види подібності і аналогії. Константи, критерії та індикатори подібності. Основні теореми подібності і їх роль у моделюванні.

Прикладне значення теорії подібності та аналогії. Метод суперпозиції, лінійні та нелінійні процеси у гідрогеосистемах. Принципи синергетики у дослідженні гідрогеосистем. Уявні та матеріальні (натурні, фізичні, математичні) моделі в гідрогеології. Класифікації моделей у гідрогеології (статистичні і детерміновані, статичні і динамічні, концептуальні і експериментальні). Типи задач, що розв'язуються методом моделювання. Прямі, обернені, інверсні, граничні, методичні задачі.

Принципи гідрогеологічного моделювання. Принципи моделювання в гідрогеології. Загальна методика гідрогеологічного моделювання. Зміст підготовчої стадії. Стадія епігнозного моделювання. Стадія прогнозного моделювання. Заключна стадія моделювання.

ТЕМА 2. СПЕЦИФІКА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Основні особливості формалізації гідрогеологічних об’єктів. Специфіка формування і розвитку гідрогеологічних об’єктів. Гідрогеологічні об’єкти як гідрогеологічні системи. Декомпозиція та інтеграція гідрогеосистем. Багатофакторність гідрогеологічних процесів. Особливості інтерпретації причинно-наслідкових зв’язків у гідрогеосистемах. Особливості гідрогеологічної інформації (просторово-часова неоднорідність, похибки вимірів, методичні похибки, похибка аналогії, проблема статистичної незалежності визначення параметрів гідрогеологічних процесів).

Визначення та опис стану гідрогеологічних систем. Комплексування методів дослідження гідрогеологічних систем. Визначення геометричних параметрів гідрогеосистем. Визначення гідрофізичних характеристик гідрогеосистем. Дослідно-фільтраційні дослідження. Режимні спостереження, обробка результатів і використання у моделюванні. Еволюція гідрогеологічних систем з точки зору теорії інформації. Прогнозування змін стану гідрогеологічних об’єктів і процесів. Оцінка точності гідрогеологічного прогнозу.

Схематизація гідрогеологічних об’єктів та систем. Основні принципи схематизації природних умов. Схематизація геометричних характеристик області фільтрації. Критерії схематизації геологічної будови і параметрів фільтраційного середовища. Методи схематизації гідродинамічного, гідрохімічного і гідрогеохімічного режиму гідрогесистем. Схематизація крайових умов. Вихідна та прогнозна гідродинамічна схеми.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ

ТЕМА 3. ОГЛЯД МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ В ГІДРОГЕОЛОГІЇ

Мисленеве, натурне і фізичне моделювання. Мисленеві моделі, їхні особливості і роль у процесі моделювання. Приклади уявних моделей. Матеріальні моделі, їх місце у гідрогеологічному моделюванні. Гідрогеологічні системи як об’єкти моделювання і як моделі. Узагальнення результатів натурних експериментів. Фізичні моделі і їх можливості. Узагальнення результатів фізичного моделювання.

Аналогове моделювання. Загальна характеристика аналогових моделей в гідрогеології. Гідравлічні моделі, реалізація гідравлічної аналогії. Електричні моделі, метод ЕГДА. Сіткові електричні моделі, технології і технічні засоби моделювання. Історія використання електричних моделей в гідрогеологічних дослідженнях. Приклади використання електричних моделей.

ТЕМА 4. МЕТОД СІТОК

Просторова дискретизація фільтраційного потоку. Суть сіткового методу. Дискретизація неперервних диференційних рівнянь, що описують фільтраційні процеси. Методи просторової дискретизації фільтраційних потоків (математичні, фізичні). Інтегро-інтерполяційний метод просторової дискретизації. Елементи розв’язувальної сітки. Принципи складання системи водно – балансових рівнянь. Методи рішення систем водно-балансових рівнянь.

Часова дискретизація фільтраційних процесів. Дискретизація часової похідної «кроком вперед» і «кроком назад». Отримання явної розрахункової схеми, її переваги і недоліки. Отримання неявної розрахункової схеми, її переваги і недоліки. Явно-неявна розрахункова схема. Реалізація розрахункових схем на комп’ютерах. Ітераційні методи розв’язання систем рівнянь на ПК.

ТЕМА 5. КОМП’ЮТЕРНО-ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Особливості цифрових моделей. Технології комп'ютерного моделювання. Підготовка бази вихідних даних, організація збереження проміжних результатів. Планування сценарію моделювання. Розрахункові проблеми комп'ютерного моделювання. Вимоги до сучасних пакетів прикладних програм комп'ютерного моделювання. Методи візуалізації результатів цифрового моделювання. Постійно діючі цифрові моделі гідрогеологічних об'єктів.

Інтеграція цифрових моделей і ГІС – технологій. Передавання результатів цифрового моделювання у програми ГІС-технологій. Проблеми узгодженості пакетів програм цифрового моделювання і ГІС-технологій. Візуалізація вихідних даних, проміжних і кінцевих результатів моделювання. Додаткові можливості аналізу результатів моделювання.

Огляд існуючих програмних продуктів, що використовуються для гідрогеологічного моделювання. Основні прикладні пакети реалізації ГІС-технологій на ПК і їх можливості в обробці результатів моделювання. SURFER. PMWIN. Visual Modflow. Aquaveo GMS. ModelMuse. Interactive Ground Water. AnAqSim.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	ср		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Теоретичні основи моделювання												
Тема 1. Особливості і сутність методу моделювання	26	4	4	-	-	18				-	-	
Тема 2. Специфіка гідрогеологічних об'єктів	32	6	6	-	-	20				-	-	
Разом за розділом 1	*58*	*10*	*10*	*-*	*-*	*38*				*-*	*-*	
Розділ 2. Методи моделювання												
Тема 3. Огляд методів моделювання в гідрогеології	30	6	4	-	-	20				-	-	
Тема 4. Метод сіток	28	4	4	-	-	20		-		-	-	
Тема 5. Комп'ютерно -цифрове моделювання	34	4	6	-	-	24				-	-	
Разом за розділом 2	*92*	*14*	*14*	*-*	*-*	*64*				*-*	*-*	
Усього годин	**150**	**24**	**24**	**-**	**-**	**102**				**-**	**-**	

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна ФН	Заочна ФН
1.	Огляд інтерфейсу користувача SURFER і AUTOCAD (Р1, Т1)	2	
	Нанесення на карту фактичного матеріалу точкових	2	

	об'єктів (свердловин) у заданих координатах (Р1, Т1)		
2.	Задання значень досліджуваної властивості шляхом редагування атрибутів блоків (Р1, Т2)	2	
	Вилучення цифрової інформації з креслення AUTOCAD та її адаптація з Excel (Р1, Т2)	2	-
3.	Підготовка вихідної цифрової інформації у програмі Excel. Вивчення функцій сортування, фільтру, умовного форматування (Р2, Т3)	1	-
	Створення і збереження файлу з просторовими даними у програмі SURFER (Р2, Т3)	1	
4.	Огляд методів інтерполяції, інтегрованих у програмний пакет SURFER (Р2, Т4)	4	-
	Створення сіткових файлів методами Krige, Inverse Distance to a Power, Polynomial Regression (Р2, Т4)	4	
5.	Побудування та редагування карт в ізолініях (Р2, Т5)	2	
	Експорт даних у формат DWG. Редагування та оформлення креслення (Р2, Т5)	4	-
Разом		**24**	

5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна ФН	Заочна ФН
1.	Константи, критерії та індикатори аналогії	4	
2.	Виведення диференційних рівнянь геофільтраційних процесів (Лапласа, Пуассона, Фур'є, Бусінеска)	6	
3.	Методи ЕГДА та ГА	4	
4.	Масштабний ефект у моделюванні геофільтрації	4	
5.	Комп'ютерна графіка	4	
6.	Аналітичне моделювання гідрогеологічних процесів	6	
7.	Оцифрування растрових зображень	4	
8.	Типи граничних умов, їх математичне вираження	6	
9.	Рішення рівняння в кінцевих різницях	8	
10.	Виведення рівняння балансу напірного фільтраційного потоку	4	
11.	Вплив сезонних змін гідродинамічної обстановки на точність результатів моделювання	6	
12.	Виведення рівняння балансу безнапірного фільтраційного потоку	6	
13.	Геоміграційні параметри	6	
14.	Уведення вихідних модельних даних за принципом cell-to-cell	6	
15.	Принцип задавання граничних умов на сіткових моделях	6	
16.	Рішення зворотних задач на моделях геофільтрації	6	
17.	Принципи калібрування моделей	6	
18.	Постійно діючі моделі. Основні принципи створення та завдання, що вирішуються	6	

19.	Принципи побудування регулярних масивів даних	6	
20.	Обробка результатів моделювання	6	
Разом		**102**	

6. Індивідуальні завдання – не передбачені

7.Методи навчання

За дистанційної форми роботи заняття проводяться на платформі Zoom. Викладення навчального матеріалу здійснюється із використанням електронного навчального середовища Moodle у вигляді лекційних матеріалів, презентацій, та матеріалів для самостійної роботи.

.

8.Методи контролю

Система поточного та підсумкового контролю з навчальної дисципліни «Гідрогеологічне моделювання». Поточний контроль знань передбачає усне експрес-опитування під час лекцій, виконання практичних робіт, проведення письмової контрольної роботи. Максимальна кількість балів, отриманих протягом семестру, становить 60 балів. Залікова письмова робота оцінюється в 40 балів. Студент допускається до залікової письмової роботи, якщо набрав протягом семестру мінімум 10 балів.

9. Схема нарахування балів, які отримують студенти

Поточний контроль, самостійна робота							Сума
Розділ					Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Залік	
ПР1	ПР2	ПР3	ПР4	ПР5	30	40	100
6	6	6	6	6			

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Критерії оцінювання практичних робіт ПР1-ПР5

Максимальна кількість балів – 6.

6 балів – робота правильно виконана, оформлена, здана вчасно та захищена;

5 балів – робота правильно виконана, не оформлена відповідним чином, здана вчасно та захищена;

4 бали – робота містить несуттєві помилки, здана вчасно та захищена;

3 бали – в роботі є помилки, проте простежується знання матеріалу, здана вчасно, захищена;

2 бали – в роботі є помилки, здана не вчасно, не захищена;

1 бал – робота здана, більша частина роботи неправильно виконана, не містить висновків, незахищена;

0 балів – робота невиконана.

Контрольна робота оцінюється в 30 балів

- 3 питання, що передбачають розгорнуті відповіді (есе) (10 балів за кожне питання).

9-10 балів – правильна відповідь, яка передбачає знання матеріалу, послідовність викладення, наведення прикладів, приведення розрахунків (за необхідністю) аргументованість висновку;
7-8 балів – правильна відповідь, але є непослідовність у викладенні;
5-6 балів – правильна відповідь, але є непослідовність викладення, відсутні приклади, розрахунки та аргументація висновку;
4 бали – неправильна відповідь, проте простежується знання матеріалу, володіння основними термінами;
3-2 бали – неправильна відповідь;
0 балів – відсутність відповіді.

Залікова робота має форму тестів множинного вибору та частково відкритих питань, на які здобувачам необхідно дати відповідь. Максимальна кількість балів, яку здобувач може отримати за відповідь на кожне питання, вказана в заліковій (екзаменаційній) роботі.

- 0 – 40 % від максимальної оцінки – здобувач слабко орієнтується в навчальному матеріалі, його відповіді неструктуровані, матеріал викладено уривчасто та неповно, здобувач не володіє термінологічним апаратом;
- 40 – 70 % від максимальної оцінки – здобувач орієнтується в навчальному матеріалі, але його обсяг чітко в межах матеріалу, прослуханого в аудиторії, наявне слабке володіння термінологічним апаратом, матеріал подано в достатньому обсязі, але він неструктурований;
- 70 – 100 % від максимальної оцінки – здобувач добре орієнтується в навчальному матеріалі, його обсяг виходить за межі матеріалу, прослуханого в аудиторії (прослідковується самостійна підготовка), наявне ґрунтовне володіння термінологічним апаратом, матеріал подано в повному обсязі, він структурований та чітко викладений.

Для допуску до складання екзамену здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 10 балів з навчальної дисципліни протягом семестру.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	зараховано
70 – 89	
50 – 69	
1 – 49	не зараховано

9. Методичне забезпечення

1. Нємець К.А. Навчальна програма ***Depres*** для розрахунку системи взаємодіючих свердловин. 2009. (архів кафедри).

2. Нємець К.А. Інструкція до навчальної програми Depres/ 2006. (архів кафедри).

3. Панасюк А.В., Лисенко А.В. Методичні вказівки до теоретичного, практичного та самостійного вивчення предмету «Геоінформаційні системи в маркшейдерії» для студентів гірничоекологічного факультету спеціальності “Маркшейдерська справа” (денної та заочної форм навчання). – Житомир: ЖДТУ, 2012. – 12 с.

10. Рекомендована література

Базова

1. Кошляков О. Є. Гідрогеологічне моделювання : підручник. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2003. 79 с.
2. Рудаков Д. В. Моделювання в гідрогеології : навч. посіб. Дніпро : Національний гірничий університет, 2011. 88 с.
3. Anderson M. P., Woessner W. W., Hunt R. J. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. 2nd ed. London : Academic Press, 2015. 564 p.
4. Wang H. F., Anderson M. P. Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods. San Diego : Academic Press, 1995. 237 p.
5. Hill M. C., Tiedeman C. R. Effective Groundwater Model Calibration: With Analysis of Data, Sensitivities, Predictions, and Uncertainty. Hoboken : John Wiley & Sons, 2007. 455 p.
6. Zheng C., Bennett G. D. Applied Contaminant Transport Modeling. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 2002. 621 p.

Допоміжна

7. Bear J. Hydraulics of Groundwater. New York : McGraw-Hill, 1979. 569 p.
8. Freeze R. A., Cherry J. A. Groundwater. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1979. 604 p.
9. Domenico P. A., Schwartz F. W. Physical and Chemical Hydrogeology. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1998. 506 p.
10. Fitts C. R. Groundwater Science. 3rd ed. London : Academic Press, 2013. 672 p.
11. Harbaugh A. W. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: The Ground-Water Flow Process. Reston : U.S. Geological Survey, 2005. 253 p.
12. Spitz K., Moreno J. A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1996. 461 p.
13. Kinzelbach W. Groundwater Modelling: An Introduction with Sample Programs in BASIC. Amsterdam : Elsevier, 1986. 333 p.
14. Encyclopedia of European and Asian regional geology / Edited by Eldridge M. Moores and Rhodes W. Fairbridge. – London: Chapman & Hall, 1997. – 804 p.

11.Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Сайт наукової бібліотеки Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Режим доступу: http://www-library.univer.kharkov.ua/ukr
https://periodicals.karazin.ua/geoeco/

2. Мережа Інтернет