

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА

Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису
УДК: [528.92:556.3]:556.5

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ ЗОН ЙМОВІРНИХ ПІДТОПЛЕНЬ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань 10 – «Природничі науки»
Спеціальність 103 – «Науки про Землю»
Освітня програма – «Картографія, географічні інформаційні системи,
дистанційне зондування Землі»

Кваліфікаційна робота бакалавра
студента 4 курсу
освітнього рівня бакалавр
Чайки Дениса Вікторовича

Науковий керівник – асистент
кафедри геодезії та картографії
Яценко Ольга Юріївна

Допущено до захисту:
Протокол засідання кафедри № ___ від «___» _____ 2025 року

Завідувач кафедри

проф. Даценко Л.М.

Київ-2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	8
1.1 Гідрогеологічне забезпечення.....	9
1.1.1 Гідрогеологічні основи водозабору і моніторингу свердловин.....	9
1.1.2 Гідрогеологічне середовище та цільові горизонти.....	10
1.1.3 Принципи експлуатації водозабірних свердловин.....	11
1.1.4 Роль свердловин у системі водопостачання та моніторингу	12
1.1.5 Гідрогеологічні основи процесів підтоплення територій.....	13
1.1.6 Інфільтрація та водопровідні властивості ґрунтів.....	14
1.1.7 Природні та техногенні фактори підтоплення.....	15
1.1.8 Можливі наслідки підтоплення для територій	16
1.2 Методики гідрогеологічного моделювання	17
1.3 Математичні моделі	19
1.4 Вибір моделі для дослідження.....	22
РОЗДІЛ 2. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК СЕРЕДОВИЩЕ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БАЗ ГЕОДАНИХ.....	25
2.1.1 Характерні відмінності функціоналу ГІС	28
2.2 Основні характеристики баз даних геоінформаційних систем	30
2.2.1 Бази даних та їх роль у ГІС.....	31
2.2.2 Особливості структури баз геоданих в ГІС.....	35
2.2.3 Менеджмент баз геоданих	37
2.2.4 Типи баз даних геоінформаційних систем	39
2.2.5 Особливості структури баз геоданих.....	41
РОЗДІЛ 3. ГІДРОГЕОЛОГІЧНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОСНОВА БАЗИ ДАНИХ ...	44
3.1 Гідрогеологічна сфера	44
3.2 Параметрична та атрибутивна складова БГД	45
РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА БАЗИ ГЕОДАНИХ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО ОБ’ЄКТУ .	50
4.1 Гідрогеологічний базис ділянки дослідження	50

4.2 Реалізація бази геоданих	56
4.2.1 Атрибутивна складова об'єкту	56
4.2.2 Моделювання та «візуалізація» бази геоданих свердловин	60
4.3 Атрибутивна складова зон підтоплень	63
4.3.1 Моделювання (визначення) зони ймовірних підтоплень	66
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ.....	78

ВСТУП

Стрімкий розвиток геоінформаційних технологій дозволив людині сучасності суттєво поглибити, пришвидшити та автоматизувати проведення дослідження та аналіз майже всіх геосфер Землі, що, в свою чергу, надало можливість отримання комплексних та інтегральних моделей «систем», які створюють наявні сфери оболонки планети. На сьогоднішній день використання геоінформаційних систем у поєднанні з базами геоданих, у якості одного з ключових компонентів, є необхідною та безумовною розповсюдженою практикою, що, зважаючи на сучасні тенденції розвитку архітектури комп'ютерних систем та систем керування географічними даними, має ознаки не тільки подальшого продовження експлуатування, а й більш поглиблених способів взаємодії в методах реалізації геопросторової інформації для користувача.

Бази геоданих є важливою складовою багатьох сучасних застосувань геоінформатики, таких як навігація, моніторинг довкілля, аналіз ризиків та природних катастроф, розвідка природних ресурсів, а також моделювання та дизайн інфраструктури, відстеження та аналіз зміни в навколишньому середовищі. Бази геоданих допомагають ефективно використовувати ці дані для створення точних карт та моделей, що є важливими інструментами для прийняття рішень у різних галузях. Застосування баз геоданих дозволяє використовувати великі обсяги даних та робити більш точні та швидкі розрахунки, що забезпечує більш ефективне прийняття рішень та планування. Також бази геоданих дозволяють інтегрувати різні джерела даних та отримувати більш повну картину стану геопросторових об'єктів.

Однією з ключових та нагальних потреб людини, на сьогоднішній день, є вирішення проблем, пов'язаних із проведенням оціночних, аналітичних та моніторингових робіт об'єктів гідрологічних та гідрогеологічних досліджень, серед яких, ураховуючи сучасні виклики поставлені перед людством, зокрема виокремлюючи контекст, у якому перебуває сьогоденна Україна (виклики

пов'язані із збройною агресією російської федерації, природні катаклізми, «усталений» антропогенний вплив), було обрано дві підкатегорії, що в розрізі своєї важливості є пріоритетними для «розгляду» та аналізу, а саме: свердловини, що є розповсюдженою практикою використання особливих, у контексті місця розташування, водних ресурсів, та зони підтоплення/затоплення ґрунтовими водами, що виникають внаслідок порушення та/або руйнації гідротехнічних споруд (дамби, греблі), несприятливих природних явищ, etc.

Одним із варіантів вирішення окресленої проблематики є створення концептуальної моделі спеціалізованої баз даних, які можуть бути редуковані, апроксимовані та адаптовані під потреби конкретної прикладної задачі, що дозволить проводити вищезазначені операції.

Дана тема залишається актуальною, зокрема:

- 1) Підземні води, що експлуатуються через діючі мережі (водозабори) водозабірних свердловин, в умовах особливого періоду становляться вкрай важливими альтернативними (у тому числі, резервними), а для окремих територій, практично безальтернативними (перетворюючись з резервних на основні) джерелами господарського і питного водопостачання населення, промислових, сільськогосподарських та інших об'єктів.
- 2) Вагома частина території України перебуває в кондиції локального підтоплення/затоплення», спричиненого елевацією ґрунтових вод [1]. Наслідками таких явищ, викликаних як природними так і антропогенно-техногенними умовами, можуть стати такі небезпечні процеси як зсуви, карст, просідання та осідання земної поверхні, зміна сольового стану, загальної та сейсмічної стійкості ґрунтів зони аерації, а також може мати місце ще один негативний процес – забруднення ґрунтових вод (хімічне, біологічне, радіоактивне) [2, с.36].
- 3) За результатами багатьох досліджень та експериментів у моделюванні в системах «стік-клімат/клімат-стік» було виявлено, що за різними

кліматичними сценаріями, найбільшого негативного впливу внаслідок глобального потепління клімату 2030-2040рр. водні ресурси зазнають саме в межах степової географічної зони України, що може призвести до зменшення водних запасів до 40 % (нестационарна модель GFDL) або, навіть, до 50 % (сценарій CCCM), що відповідає стану руйнації водогосподарської системи [3, с.87].

4) Впровадження сучасних ГІС-технологій, застосування яких в сфері гідрогеології базується на використанні великих масивів спеціалізованої гідрогеологічної інформації/параметричних даних по водозабірних свердловинах/водозаборах підземних вод (діючих, резервних, що знаходяться у тимчасовій консервації) з відповідним картографічним відображенням цих об'єктів дає змогу водокористувачеві ефективно та найбільш раціонально використовувати підземні водні ресурси.

5) Наявність змістовної, чітко структурованої бази даних (гідрогеологічні, експлуатаційно-гідрогеологічні) з постійним оновленням інформації, дає змогу відповідним спеціалістам дуже оперативного приймати управлінські рішення, спрямовані на оптимізацію існуючих схем водопостачання як на об'єктовому, так і на місцевому та регіональному рівнях.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи виступає модель бази геоданих об'єктів та процесів специфічних гідрологічних та гідрогеологічних досліджень для використання в геоінформаційних системах.

Предметом дослідження є засоби та методи проектування та розроблення змісту та структури моделі бази геоданих гідрологічних та гідрогеологічних об'єктів.

Отже, основною **метою** кваліфікаційної роботи є проведення аналітично-дескрипторної роботи стосовно (історичних та сучасних) методів, технологій, можливостей, інструментів, способів моделювання зазначених гідрологічних та гідрогеологічних об'єктів та процесів, а також розроблення та створення

оптимальної моделі бази даних для впорядкування геопросторових даних гідрологічних та гідрогеологічних об'єктів і процесів на прикладі півдня Запорізької області та відповідних районів.

Для досягнення мети необхідним є виконання таких завдань:

1. Проаналізувати існуючі джерела інформації про гідрогеологічні дослідження, картографічні дані, попередньо розроблені структури та моделі БГД, з метою визначення ключових параметрів і показників, які потрібно включити до бази даних.

2. Дослідити вимоги щодо функціональності бази даних. Визначити дані, які будуть найчастіше використовуватися, і забезпечити можливість ефективного пошуку та відображення інформації.

3. Спроекувати модель структури бази даних, включаючи таблиці для зберігання даних про гідрогеологічні дослідження, їх параметри, географічні координати, а також таблиці для зв'язків між різними типами даних.

4. Розробити (реалізувати) відповідну модель бази геоданих, що буде забезпечувати вимоги висунуті предметно-прикладним полем та середовищем застосування (геоінформаційні системи).

5. Виконати моделювання відповідних гідрогеологічних «об'єктів» та процесів.

Методологічною основою дослідження слугують спеціальні картографічні та загальнонаукові методи. Використані картографічний, географічний, системний підходи. Застосовані методи гідрогеологічного моделювання, просторового аналізу, візуалізації даних, порівняльно-статистичного аналізу, геоінформаційного картографування.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Мета даного розділу полягає в наданні матеріалів гідрогеологічного підґрунтя свердловин та територій підтоплень, а також виокремленні та поданні головних складових компонент, що використовуються або можуть бути використані в етапах моделювання гідрологічних та гідрогеологічних процесів і об'єктів, урахувуючи специфіку обраних категорій, якими обмежується представлена робота, а саме: гідрогеологічний аспект – свердловини, гідрологічний – зони підтоплень та затоплень, та потребу певного «спрощення» матеріалу до критично важливих параметрів задля його адаптування до обсягу, що необхідний для розуміння «вихідних точок» й додаткового обґрунтування подальших кроків дослідження, що будуть здійснюватися протягом виконання роботи в наступних пунктах.

Для виконання поставлених задач були опрацьовані різноманітні текстові (посібники, статті, методичні вказівки), графічні (карти, графіки, схеми), графоаналітичні джерела з орієнтуванням на спорідненість із сучасною проблематикою, окресленою у вступній частині, та, за потреби, доповненням відповідними матеріалами, які забезпечують додаткову наочність та актуальність даних процесів і важливість їх подальшого висвітлення та супроводження засобами картографії та геоінформаційних систем, які є ключовими в контексті належної та оптимальної репрезентації (візуалізації як фінального етапу експлуатації нами отриманих даних) в межах окреслених прикладних завдань гідрологічного та гідрогеологічного спрямування.

У розділі також надається мінімально-критично необхідна інформація щодо сумісного за потребами, але зі сторони картографічної науки, аспекту картографічного методу дослідження в контексті можливостей реалізації основних

понять геопросторового аналізу, географічних «моделей реального світу», концептуальних моделей, певних категорій, що знаходяться в сфері (або дотичні до неї) ГІС-аналізу.

1.1 Гідрогеологічне забезпечення

Зональні гідрогеологічні процеси, пов'язані з підвищенням рівнів ґрунтових вод та підтопленнями, становлять важливу проблему при плануванні та експлуатації міст і сільськогосподарських угідь. Підтоплення може призводити до зниження несучої здатності ґрунтів, корозії конструкцій, порушення санітарно-екологічного режиму (згідно з вимогами ДБН В.1.1-25:2009).

Водночас існуюча мережа водопостачання, що включає експлуатаційні водозабірні свердловини та спостережні моніторингові свердловини, забезпечує як видобуток підземних вод для господарських потреб, так і контроль за їхнім рівнем і якістю. Сучасні геоінформаційні системи дозволяють інтегрувати просторові дані про гідрогеологічні параметри й здійснювати моделювання процесів підтоплення на основі цих даних [4,5].

У наведених теоретичних розділах розглянуто основи функціонування водозабірних та моніторингових свердловин, а також гідрогеологічні принципи формування процесів підтоплення територій, що є підґрунтям для подальшого ГІС-моделювання таких явищ.

1.1.1 Гідрогеологічні основи водозабору і моніторингу свердловин

Типи водозабірних споруд

Водозабірна споруда – споруда гідротехнічного плану для відбору вод з підземного джерела/водоймища/водотоку, для їхньої подальшої експлуатації [6, с.177]. Для влаштування водозабору підземних вод використовують різні типи

споруд залежно від умов залягання водоносних горизонтів і очікуваних дебітів. Згідно з нормативами проектування водозабору, зазвичай виокремлюють такі види водозаборів та відповідних свердловин [7; 8, с. 27-33]:

Горизонтальні водозабори – влаштовуються біля поверхні в місцях, де ґрунтові води залягають неглибоко (зазвичай до 5–8 м). Наприклад, заплавні траншеї чи дренажні канали, що інфільтрують атмосферні опади чи річкові води в ґрунт [6, с.184, 292].

Вертикальні водозабори (свердловини) – це найпоширеніший тип, коли вода відбирається з глибших напірних або безнапірних водоносних горизонтів. Використовуються артезіанські свердловини (глибиною понад 10–20 м) з обсадними трубами і водоприймальною частиною (фільтром). Такі свердловини можуть бути трубчастими (з обсадною трубою) або шахтними (широкого перетину) колодязями. Для невеликого водопостачання часто достатньо однієї свердловини, для великих потреб планують систему із декількох свердловин[7;9].

Каптажні споруди та колодязі – використовуються в місцях виходу водоносних пластів на поверхню (ґрунтові джерела). Каптаж – це заглиблена споруда (камери або каптажні колодязі) для збирання підземних вод без потреби буріння [6, с.177].

Найчастіше в практиці будівництва використовують саме вертикальні свердловини, оскільки вони дозволяють відбирати ґрунтові води з потужних пластів на значних глибинах (особливо напірних) [7,9]. Вибір типу водозабору залежить від гідрогеологічних умов (глибини залягання та потужності водоносних горизонтів), необхідного обсягу відбору та санітарних вимог до охорони джерела.

1.1.2 Гідрогеологічне середовище та цільові горизонти

Водоносні горизонти – це товщі гірських порід, здатні зберігати і віддавати воду, що є основою для водозабору [6, с.180].

Залежно від геологічної будови, підземні води можуть залягати у вигляді ґрунтових (безнапірних) пластів, прикритих глинистими прошарками, або бути напірними (артезіанськими), зазвичай розміщеними під щільними водотривкими зверху покривами. Зазвичай в межах одного району наявні багатопластові системи, в яких різні горизонти розділені водотривкими прошарками. При проектуванні свердловини цільовим горизонтом може бути як верховодка (тимчасове підсилення ґрунтових вод біля поверхні), так і глибокі артезіанські пласти, залежно від потреб водокористування. У верхових водоносних горизонтах вода вільно стоїть у порах ґрунту на рівні, що відповідає дзеркалу ґрунтових вод. У напірних горизонтах вода знаходиться під тиском, вище фільтрувального горизонту. Останнє дозволяє артезіанським свердловинам самопливно видавлювати воду на поверхню при врізі в такий пласт. Гідрогеологічне середовище в цілому характеризується величиною фільтраційного коефіцієнта та водовіддачі порід, ємністю та анізотропією водопродуктивності пластів. Ці параметри визначають потенціал водозабору та реакцію системи підземних вод на експлуатацію. При цьому, як зазначено у ДБН, у дослідженнях необхідно враховувати «коефіцієнти фільтрації, водовіддачі, нехватки насичення й анізотропії, висоту капілярного підняття» [10].

1.1.3 Принципи експлуатації водозабірних свердловин

Експлуатація водозабірних свердловин передбачає тривалу відкачку води з цільового горизонту за допомогою насосного обладнання. При введенні свердловини в експлуатацію зазвичай проводять промивні роботи (прокачування) для зняття глинистих залишків і перевірки дебіту. Потім здійснюють випробування по колу гідрометричних досліджень: визначають стаціонарний дебіт, глибину забою та характеристики води (хімічний склад, температуру). Підбір насосного обладнання (з поверхневим електронасосом чи занурювальним

агрегатом) здійснюється з урахуванням продуктивності свердловини і необхідного напорю. Висота підйому води (напір насоса) залежить від проектного рівня підйому та опору у спорудах. При експлуатації важливими є режим роботи (наприклад, облікові цикли відкачування з чергуванням пауз для самовідновлення) та спостереження за динамікою рівнів у свердловині. Для забезпечення сталості водозабору рекомендується організовувати декілька свердловин в систему водозабору, що дозволяє при необхідності переключати відбір і підтримувати стабільне водопостачання. Важливо дотримуватися встановленого режиму відбору та проводити профілактичні роботи (коловий циклон, регенерація фільтру), щоб уникнути надмірного зниження рівня води або засмічення стінок фільтрів. Дотримання цих принципів забезпечує безперебійну роботу водозабору та збереження якості підземних вод [7, 9].

1.1.4 Роль свердловин у системі водопостачання та моніторингу

Водозабірні свердловини є ключовим елементом систем водопостачання населених пунктів і промислових підприємств, особливо там, де поверхневі джерела води недостатні або забруднені. Вони дозволяють отримати питну та технічну воду з-під землі з високою стабільністю й якістю (за органолептичними і хімічними показниками). Свердловини об'єднують у водозабірні вузли з насосними станціями, водопровідними резервуарами та системами очищення води. Систематичний відбір підземних вод також забезпечує контролювання стійкості їх ряду рівнів і виявлення можливих негативних тенденцій (наприклад, змін мінералізації чи агресивності вод). Моніторингові свердловини призначені для постійного спостереження за станом підземних вод. Такі свердловини не використовують для інтенсивного відбору, а обладнують пристроями для регулярного виміру рівнів і відбору проб води з метою контролю хімічного складу. Нормативи інженерно-геологічних вишукувань передбачають, що діаметр

свердловин для спостережень за рівнем ґрунтових вод має забезпечувати можливість відбору ґрунтових зразків і оснащення свердловини звичайною реєструючою апаратурою [7; 9; 8, с. 27-33].

Дані з таких спостережень (динамічні рівні, дебіти, склади води) можуть бути інтегровані у систему гідрогеологічного моніторингу, наприклад локальну/муніципальну/регіональну, що дозволяє вчасно виявлення «перевищень» або «аномалій» певних норм, які слугують фіксаторами змін відповідних режимів вод або інших параметрів, що спостерігаються.

1.1.5 Гідрогеологічні основи процесів підтоплення територій

Підняття рівня ґрунтових вод і вологість ґрунтів

Підтоплення територій в першу чергу пов'язане зі значним підвищенням рівня ґрунтових вод. У разі надмірного живлення (після тривалих опадів, паводків чи активізації поповнення артезіанських горизонтів) дзеркало води піднімається і наближається до поверхні на такі глибини, при яких порушуються санітарні та будівельні нормативи. Згідно з ДБН В.1.1-25:2009, «при підтопленні ґрунтовими водами територій відбувається збільшення вологості ґрунтів або підняття рівня ґрунтових вод до граничних глибин, за якими порушуються норми будівництва та експлуатації» [10].

Таким чином, підняття рівня води внаслідок підземного підживлення (або зниження водозабору) безпосередньо викликає підтоплення. Підняття рівня ґрунтових вод також спричиняє зміну вологості ґрунту навіть у неінтенсивних зонах. Збільшення вологості призводить до зменшення носійної здатності ґрунтів і небажаних деформацій фундаментів. При цьому процес підтоплення супроводжується фізико-механічними змінами: зниженням міцності й жорсткості ґрунту, активацією карстових і зсувних процесів (особливо в слабких породах) [10]. Безпосередні наслідки підняття рівнів (забруднення вод, загрози будівлям) розглядаються в наступних підрозділах.

1.1.6 Інфільтрація та водопровідні властивості ґрунтів

Інфільтрація – це процес переходу води з поверхні (атмосферні опади, річкові води, стічні колектори) в товщу ґрунтів і водоносних порід зони аерації під дією напорів. Води після опадів частково поглинаються ґрунтом, формуючи ґрунтову вологу та поповнюючи ґрунтові води. Швидкість і глибина інфільтрації залежать від вологості ґрунту, градієнта напору (різниці потенціалів води) та водопроникності порід. Закон Дарсі описує ламінарний рух води крізь пори: об'єм інфільтрату пропорційний градієнту напору та коефіцієнту фільтрації породи. В міських умовах техногенні витіки з водопровідних мереж або систем зрошення призводять до додаткової техногенної інфільтрації: штучного підживлення ґрунтових вод забрудненою чи чистою водою. Перекриття природної дренажності (асфальтування поверхні, будівництво котлованів тощо) часто спричинюють зворотний ефект – зниження стоку на поверхні та збільшення інфільтрації в існуючі водоносні пласти. Сумарне живлення ґрунтових вод визначає їхні режими. В ДБН підкреслюється необхідність оцінки «джерел і чисельних оцінок природного живлення підземних вод та техногенної інфільтрації» при обґрунтуванні інженерних рішень [10].

Інфільтрація стає важливим фактором підтоплення саме за умови наявності пронизливих шляхів (пористих відкладів) і капілярного підняття вод. Слабопроникні шари, особливо пошарове розташування водотривких пластів поблизу поверхні, затримують інфільтрацію, сприяючи формуванню локальних фронтів зволоження (верховодок). Водопровідні властивості порід (водоносність) визначають здатність ґрунту пропускати і накопичувати воду. До них належать: коефіцієнт фільтрації (показник швидкості просочування води), водовіддача (спроможність віддавати накопичену воду при зниженому напорі), коефіцієнт накопичення та інші. Чим вище водопровідність, тим інтенсивніше процес

поповнення і відбору водоносного пласта. Низька проникність (наприклад, суглинки, глини) ускладнює відведення надлишкової вологи і призводить до накопичення інфільтрату у верхніх горизонтах. При проектуванні систем захисту від підтоплення враховують фільтраційні коефіцієнти та висоту капілярного підняття ґрунту [10].

1.1.7 Природні та техногенні фактори підтоплення

Природні фактори. До природних умов, які сприяють підтопленню, належать наявність потужних, але мало проникливих (слабопроникних) ґрунтових шарів поблизу поверхні та гідрологічна бідність природного стоку. Такі ослаблені шари створюють «щільні днища» верхніх водоносних горизонтів, після опадів утримуючи надлишки води над ними. Як зазначає ДБН, «основними природними умовами, в яких формується процес підтоплення, є наявність слабопроникних ґрунтів і їх прошарків, розташування водотривких шарів близько до поверхні ґрунту, слабка дренажність територій» [10]. Крім того, регіональні гідрогеологічні особливості (архітектура багатопластових систем, наявність артезіанських резервуарів, рельєф місцевості) визначають природну схильність до підйому води. Наприклад, у передгірних чи заплавних районах інтенсивне живлення опадами при незначній інфільтрації може швидко підняти рівні вод.

Техногенні фактори. До антропогенних причин належать дії, які змінюють природну гідросистему чи укріпленість ґрунту. Наприклад:

Реконструкція рельєфу (забір ґрунту чи планування) може знизити природний ухил і погіршити стік до дренажних систем.

Забудова та імперміабілізація поверхні (дороги, дахи) збільшують стік поверхневих вод у колодязі чи знижують стік річок, сприяючи підсушенню берегів та підняттю поверхневих вод.

Порушення дренажу: закриття каналів, зниження ефективності існуючих водовідвідних систем.

Втрати з мереж водопостачання: текучки чи аварії водогонів на високому тиску безпосередньо додають воду у ґрунт.

Зміни водокористування: припинення водозабору (наприклад, зупинка промислових свердловин) призводить до відновлення під тиском рівнів, які раніше стримувалися інтенсивним відбором. Як вказує ДБН, техногенний вплив «обумовлений зміною відміток поверхні (плануванням) територій, що забудовуються, погіршенням природної дренажності, ефектом екранізації потоків» [10]. У міських умовах до природних факторів додаються ще «забруднення вод, порушення мереж водовідведення, нагромадження сміття» тощо, що ускладнює перезволоження територій.

1.1.8 Можливі наслідки підтоплення для територій

Підтоплення призводить до низки негативних явищ:

По-перше, зміна механічних властивостей ґрунтів. Розвиток процесу підтоплення супроводжується зменшенням несучої здатності ґрунтів і активізацією небезпечних геологічних процесів (карст, зсуви, суфозія) [10]. Це може викликати крен, осідання будівель, руйнування фундаментів і споруд.

По-друге, гідрохімічні зміни. Підвищена вологість і рух води сприяють зміні хімічного складу ґрунтових вод (розчиняються солі, виносяться продукти корозії). Підтоплення призводить до забруднення не тільки підземних, а й поверхневих вод (як відтік із насичених солями ґрунтів) [10]. Вода може ставати «агресивною» щодо матеріалів споруд (кислотні, солоні середовища), що викликає корозію труб, фундаментних блоків, іонно-пригнічуючий вплив на бетон. ДБН відзначає, що підвищення агресивності ґрунтових вод «викликає корозію, передчасне руйнування і деформацію будівель і споруд» [10].

По-третє, сільськогосподарські та екологічні втрати. Підтоплені поля втрачають родючий верхній шар, внаслідок чого можливе зниження урожайності. Надлишок вологи призводить до дефіциту повітря у кореневій зоні, гниття культур. Корозійні води можуть забруднювати ґрунти і поверхневі водойми. Збитки від підтоплення агропродукції та сільськогосподарської інфраструктури можуть бути значними, якщо заходи захисту не вжити вчасно. Загалом, підтоплення – це прояв шкідливої дії вод, що включає як фізичний, так і хімічний «негативний» вплив на природні й антропогенні структури [10]. Розуміння цих наслідків є необхідним при розробці систем захисту і стратегій управління ґрунтовими водами.

1.2 Методики гідрогеологічного моделювання

Першочерговими кроками необхідними для створення концептуальної моделі баз/бази геопросторових даних є окреслення суті досліджуваних процесів та об'єктів та наявних моделей (в їх загальному та предметному понятті), певний розгляд уже впроваджених рішень, які дозволяють оцінити наявні форми імплементації, її подальший відбір (як найбільш адекватної та функціональної) для інтеграції бази геоданих з визначенням параметричних атрибутів.

За категоризацією [11, с.72] є два ключових визначення «моделювання» (орієнтованих на застосування в середовищі геоінформаційних систем):

1) Перше визначає модель як набір орієнтовно-передбачуваних даних – шаблон, що передбачає встановлення необхідних категорій даних для експлуатації. Прикладом, який повсюдно використовується в геоінформаційних системах, може слугувати таблиця, де рядки таблиці відповідають групі або класу об'єктів реальної дійсності (дерева, будинки, дистрикти), а стовпці надають інформацію щодо параметричної характеристики відповідних об'єктів – надання атрибутивної складової [11, с.72].

2) Другий оперує моделлю як своєрідним «описом» або представленням певних (здебільшого конкретних) процесів, які мають місце в реальному світі, тобто моделлю є комп'ютерна програма, яка отримує цифровий «шаблон» одного або декількох аспектів реального світу і обробляє їх таким чином, щоб створити/відтворити нову принципову об'єктну сторону певного явища [11, с.72].

Виходячи з предметної орієнтованості даної роботи – гідрогеологічні процеси та об'єкти, доцільним є розгляд основних концептуальних моделей гідрогеологічного спрямування, представлених на сьогоднішній день.

На даному етапі розвитку наук зазвичай можуть бути класифіковані в три групи: фізичні, аналогові, математичні в зарубіжних джерелах [12, с.114], або натурні, фізичні й математичні моделі в вітчизняних [13, с.20].

Мінімально-необхідна характеристика даних моделей представлена в такому вигляді (класифікацію моделей подано за [13, с.20-21; 14, с.5]):

1) Натурні моделі

Натурна модель представляє собою певний визначений об'єкт або процес, які мають місце безпосередньо в природньому середовищі. Моделювання в натурі орієнтоване на проведення виробничих експериментів на таких об'єктах.

2) Фізичні моделі

Фізичні моделі, що мають відмінність від натурних в аспектах геометричних параметрів (суттєвим чином масштабуючи (зі знаком мінус) обрані процеси або об'єкти). Фізичне моделювання зазвичай проводиться в лабораторному середовищі із збереженням основної фізичної природи явищ, що моделюються.

3) Математичні моделі

Математичні моделі є математичною дескрипцією процесу або об'єкту, що досліджується. Зміст математичного моделювання полягає або в аналізі цього опису, або у розв'язку рівнянь, за допомогою яких цей опис репрезентований. Окремо, серед математичних моделей виділяють так звані постійно діючі математичні гідрогеологічні моделі, що вважається постійно діючою за умови

виконання таких головних параметрів: реалізація зворотного/оберненого зв'язку між розрахунковою схематичною моделлю об'єкта, який досліджується, ціллю й завданнями прогнозування; континуальність схематизації, завдяки чому забезпечується етапність польових експериментів, направлених на розширення відомостей про об'єкт та про його відповідні складові частини; адаптування моделі, що включає неперервне поліпшення її якісних параметрів внаслідок проведення додаткових польових досліджень і покращення засобів їх обробки та подальшого застосування. Усвідомлюючи глибину та комплексність вже наявного та розробленого математичного апарату, забезпеченість екстраполяційними, інтерполяційними та прогностичними функціями якого є деталлю, через яку, беручи до уваги зв'язок із предметною сферою, наступний розгляд головним чином фокусується на математичних гідрогеологічних моделях, через їх інтегрованість та антиципаційних можливостях до предметного поля.

1.3 Математичні моделі

Класифікація математичних моделей гідрогеологічних процесів подана нижче використовує матеріали подані в посібниках та статтях: [12, с.113-130; 14, с.5-9; 13, с.21-23; 15, с.75-87].

Беручи до уваги багатоаспектність та комплексність гідрогеологічних систем, процесів та об'єктів, а й відповідно складність спрямованих на них досліджень, сучасний науковий апарат виділяє три принципових типи математичних моделей, що диференціюються одна від одної за структурною складовою: статистичні моделі, детерміновані моделі та концептуальні моделі.

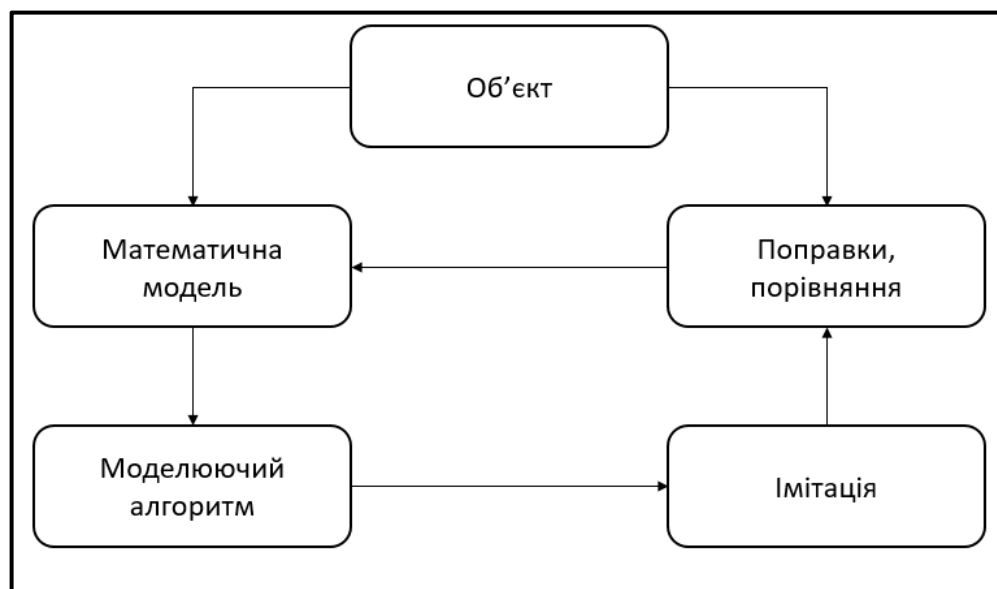


Рис. 1.1 Загальна схема математичного моделювання

Статистичні або емпіричні моделі (також відомі як моделі типу «чорної скриньки», англ. «Black box») функціонують без прямого урахування фізичних законів, що керують системою, а базуються виключно на статистичному узгодженні вхідних та вихідних даних. Вони не мають фізично обґрунтованої залежності між вхідними параметрами та результатами, натомість застосовують методи регресії, аналізу часових рядів, частотного аналізу тощо. У межах діапазону відомих даних (тобто при інтерполяції) ці моделі здатні забезпечити прийнятний або необхідний результат, оскільки в таких умовах їхня математична структура задовільно відображає поведінку реальної системи. Однак при спробах екстраполяції за межі відомих даних це узгодження порушується, і модель втрачає відповідність дійсності. З математичної точки зору, такі моделі не підходять для прогнозування через високий рівень невизначеності та непередбачуваність похибок.

Детерміновані моделі ґрунтуються на застосуванні складних фізичних теорій, зокрема в області геофільтрації – як крайові задачі. Хоча в таких моделях часто передбачається ряд спрощень щодо реальних природних умов, вони потребують великого обсягу вхідної інформації, що зумовлює високі фінансові витрати.

Нестача вхідних даних може спричинити значну невизначеність результатів. Попри це, саме детерміновані моделі забезпечують найвищу точність прогнозів. До того ж, процес їх створення сприяє поглибленню знань про досліджувану гідрогеологічну систему.

Концептуальні моделі розташовуються між статистичними та детермінованими і мають спрощену будову. Вони базуються на аналізі структурної схеми системи, що включає обмежену кількість компонентів. Кожен компонент представляє собою узагальнене зображення елемента процесу, що має місце у реальній системі. Елементи моделі інтерпретуються як нелінійні витoki, що дозволяє краще передати специфіку гідрогеологічних процесів, які зазвичай не піддаються точному опису лінійними моделями.

При виборі типу моделі доцільно дотримуватися таких правил:

- 1) чітке формулювання задачі;
- 2) модель повинна підбиратися відповідно до задачі, а не навпаки;
- 3) за однакової точності слід обирати простішу модель.

Слід також враховувати:

- 1) складність моделі не гарантує її точність;
- 2) будь-яка модель має обмеження, оскільки створюється на основі певних припущень;
- 3) необхідно завжди оцінювати похибки прогнозів.

Чим складніша модель, тим ширшими є її функціональні можливості. Водночас широке використання складних моделей або програм може бути ускладнене, оскільки багато таких продуктів не призначені для масового розповсюдження. Це створює проблеми для користувачів, які не мають прямого контакту з розробниками або повної технічної документації. В таких випадках вигідніше створити власний програмний засіб для реалізації конкретної моделі.

З позицій гідрогеологічного прогнозування і прийняття управлінських рішень, слід зазначити, що одних лише гідрогеологічних моделей недостатньо для

вироблення оптимального рішення. Необхідне поєднання таких моделей із управлінськими, оскільки інакше існує ризик отримання некоректних висновків через ігнорування або спрощення впливу технічних можливостей на об'єкт моделювання. Тому створення інтегрованих (комплексних) моделей наразі є пріоритетним напрямком у сфері гідрогеологічного прогнозування.

1.4 Вибір моделі для дослідження

Обґрунтування вибору моделі для проведення дослідницьких робіт базується на:

1) По-перше, актуальних проблемах і потребах людини в сферах гідрогеології, вирішення яких може бути розроблено, використовуючи копулу трьох наукових дисциплін: картографія, геоінформаційні технології та гідрогеологію в їх суміжних областях, де кожна частина «тріади» надає певну складову, що окреслює форму та визначає зміст процесу/об'єкта, де загалом дана схема має такий план: гідрогеологія – задає параметричну атрибутику та шляхи моделювання, картографія – засоби та способи відображення об'єктного складу на картографічному творі й аналітичному апараті (за методами картографічного метода дослідження), геоінформаційні технології – геоінформаційна система як середовище реалізації вищезазначених аспектів.

2) По-друге, відбір зумовлений наявними моделями в гідрогеології, що можуть бути використані в задачах, що пов'язані із оціночними, моніторинговими та дослідницькими роботами з свердловинами та «відображенням» зон підтоплення/затоплення ґрунтовими водами.

У умовах постійного розвитку інформаційних технологій, зокрема, геоінформаційних, а також розробленого інструментарію моделювання процесів та об'єктів гідрогеологічної сфери, та їх взаємну інтегрованість (в контексті розширення та доповнення можливостей) одне в одного, і потреби в належному

обробленні та представленні відповідної геопросторової інформації, яка має повноцінно охарактеризувати певну сторону/сторони предметного поля, що задані модельними установками. Отже, моделлю, що задовольняє критеріям висунутих вимог є математична гідрогеологічна модель, використання якої дозволить реалізацію складових дослідження.

Визначивши базові засади вибору/побудови гідрогеологічних моделей, перейдемо безпосередньо до визначення параметрів. У основу майбутньої концептуальної математичної гідрогеологічної моделі покладено так званий поєднаний гідрологічний «поверхневий-підповерхневий» підхід до моделювання [16, с.5]. Модель можна визначити як симпліфіковану версію реальної системи (тут системи ґрунтових вод (Системний підхід гідрогеологічний об'єкт (гідрогеологічна система) береться як комплекс гідрогеологічних тіл, що подаються характерними співвідношеннями між собою та енвайронментом. Гідрогеологічні системи поділяються на: 1) елементарні, локальні та регіональні; 2) природні та природно-техногенні [13, с.25])), що наближено імітує відповідні співвідношення «збудження-реакції» реальної системи. Ураховуючи велику складність реальної/-их системи/-ем, виникає питання щодо використання/створення механізмів менеджменту та планування в «спрощеному вигляді». Спрощення задається як множина припущень, яка представляє сутність (природу) системи та ті визначальні риси її функціонування, які мають відношення до досліджуваного процесу/об'єкта (проблеми загалом). Ці припущення мають відношення до, серед інших факторів, геометрії досліджуваної області, методів/способів «пом'якшення» відповідних «гетерогенностей», властивостей рідини (або рідин), що використовуються, та типу досліджуваного режимів вод. Аксиоматичним є те, що модель є симпліфікованим модусом реальної системи [17, с.93], тобто відсутня можливість існування унікальної моделі для обраної системи ґрунтових вод (у контексті опціональних варіантів подальшого вдосконалення та покращення моделі та її «похідних»). Різні комбінації процедур

спрощення призводять до відмінних результатів (моделей), які по-різному апроксимують складові досліджуваної системи ґрунтових/підземних вод. Першочерговим етапом у процесі моделювання є конструювання такої концептуальної моделі, яка створюється з комплексу припущень, що виконують вербальну дескрипцію складових системи, транспортні процеси, які проходять в ній, механізми, що їх визначають, та відповідні властивості енвайронмента. Дані операції передбачаються або апроксимуються автором моделі з метою конструювання моделі, призначеної для надання інформації щодо аналізу, оцінки, вирішення для конкретної проблеми [18, с.2].

Одним із критеріїв, які повинна задовольняти висунута модель, є можливість її подальшої експлуатації та підтримки в середовище геоінформаційної системи та супутніх/суміжних баз геоданих, наявність яких забезпечує повноцінну реалізацію потенціалів моделі. Таким чином, окрім забезпечення суто технічного «існування» моделі (ураховуючи поточну заглибленість та інтегрованість людини в інформаційні (геоінформаційні) системи), надається опції для її подальшої оптимізації, а також вдосконалення в міру можливих потреб відповідних спеціалістів, фахівців або наявних експлуататорів. Програмним середовищем, що оптимально задовольняє висунуті вимоги, обрано геоінформаційну систему ArcGIS (ArcMap 10.5), що надає необхідний інструментарій в сфері геоінформаційного аналізу та супутніх засобах оперування базами геоданих. Необхідну мінімальну інформацію щодо обґрунтування використання даного програмного продукту, а саме: особливості відповідного функціоналу інструментів аналізу та керування, надано в наступних підпунктах першого та другого розділів, які головним чином висвітлюють аспекти, що пов'язані із реалізацією відповідних геопросторових даних в інформаційній сфері.

РОЗДІЛ 2. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК СЕРЕДОВИЩЕ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БАЗ ГЕОДАНИХ

Геоінформаційні системи це – програмно-апаратний простір, що використовує та підтримує потенціал та можливості баз географічних даних.

У цьому розділі розкривається та надається: визначення географічних інформаційних систем, а також їх основні складові компоненти, сфери та шляхи застосування геоінформаційних систем, роль баз геоданих в геоінформаційних системах.

2.1 Поняття про геоінформаційні системи

Винайдення універсального визначення геоінформаційної системи є доволі складним завданням, через їх надзвичайну комплексність, багатогранність, багаторівневність та постійний розвиток і вдосконалення.

Незалежно від формулювання визначення геоінформаційної системи, воно обов'язково має включати базові поняття, які становлять її основу. Серед них: поняття системи, картографічної проєкції, масштабу, структури просторових даних, а також процеси введення, збереження, перетворення й забезпечення точності даних. Також важливими є метадані, просторовий аналіз, проєктування, менеджмент та впровадження ГІС у практичну діяльність.

Науковці та практики в галузі геоінформаційних технологій сформулювали кілька десятків визначень ГІС, кожне з яких по-своєму розкриває її функціональні особливості. У своїй сукупності ці визначення дозволяють виділити певні фундаментальні риси, які характеризують геоінформаційні системи. Нижче наведено деякі з них.

Michael H. ДеМерс: «Геоінформаційні системи – це інструменти для обробки просторової інформації, зазвичай явно прив'язаної до деякої частини земної

поверхні і використовувані для управління нею. Як і у випадку з географією, термін Географічна інформаційна система (ГІС) складно визначуваний. Він представляє інтеграцію багатьох предметних галузей. Тому немає загальноприйнятого визначення ГІС» [19, с.8].

Michael F. Goodchild: «Існує дві окремі думки відносно питання «Що є ГІС?»:

1) ГІС – це реальне застосування, яке включає апаратне забезпечення, дані, програмне забезпечення і людей, необхідне для вирішення проблем (ГІС-застосування);

2) ГІС – це тип програмного забезпечення, що продається розробниками. Ми фокусуватимемо на першому визначенні» [20].

NSGIA: «Широко поширене визначення ГІС: ГІС – це система апаратних засобів, програмного забезпечення і процедур, сприяюча управлінню, маніпулюванню, аналізу, моделюванню, представленню і відображенню геореференцних даних для вирішення комплексних проблем планування і управління ресурсами» [21].

Ці та ряд інших відомих визначень дозволяють синтезувати визначення, яке відповідає найбільш поширеному розумінню цієї області:

«ГІС – це система, яка:

- по-перше, є комплексом взаємодіючих п'яти компонентів, що складається з комп'ютерних засобів, програмного забезпечення, географічних даних, регламенту і користувачів;
- по-друге, виконує функції введення, інтеграції, зберігання обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації». [22, с.29;]

З урахуванням сучасних тенденцій і напрямів розвитку геоінформаційних технологій можна узагальнити уявлення про сутність геоінформаційних систем. Геоінформаційна система – це спеціалізована комп'ютерна технологія, що зазвичай включає програмне забезпечення та бази даних (які функціонують відповідно до певних правил – регламенту), й містить просторову інформацію

(наприклад, картографічні дані, відомості про ландшафт, клімат, демографію, транспортні мережі тощо). Основне призначення ГІС полягає у зборі, збереженні, аналізі та поданні географічної інформації у візуальній формі.

Географічні або геопросторові дані описують об'єкти, які мають певне місце розташування в певній реальній або фіктивній дійсності. Такі дані поділяються на дві взаємопов'язані складові: просторову – що визначає координати, форму та розміри об'єкта, та семантичну – яка характеризує змістовні властивості об'єкта [22, с.26, 27]. ГІС поєднує просторові дані з картографічною основою, інтегруючи відомості про місцезнаходження з описовою інформацією різного типу. Це створює базу для створення карт та просторового аналізу, які знаходять широке застосування як у науковій сфері, так і в багатьох галузях діяльності [23]. Для наочності геоінформаційних систем створено графічні схеми, що демонструють їхню структуру та принцип дії (рис. 1.1, рис. 1.2).

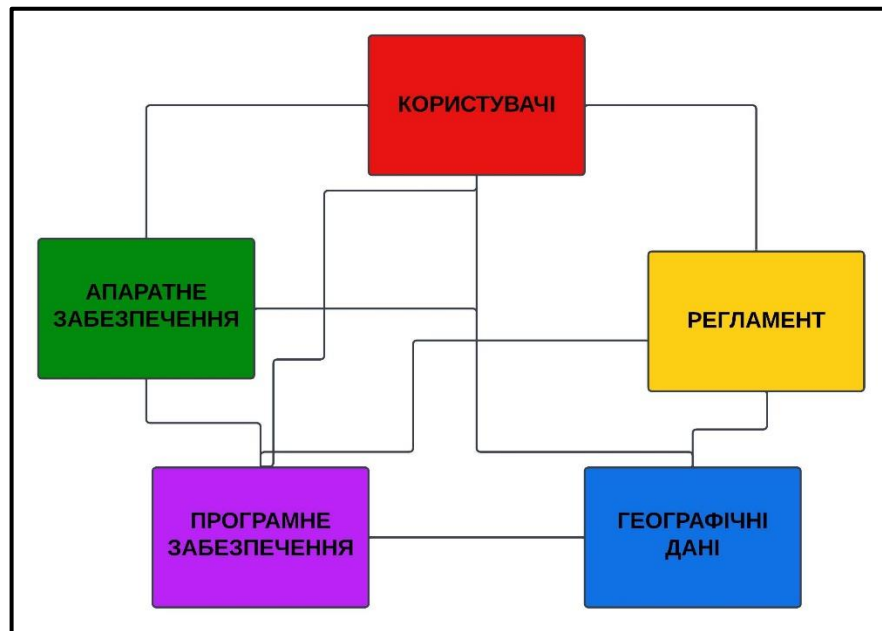


Рис. 2.1 Графічне представлення взаємодій геоінформаційної системи

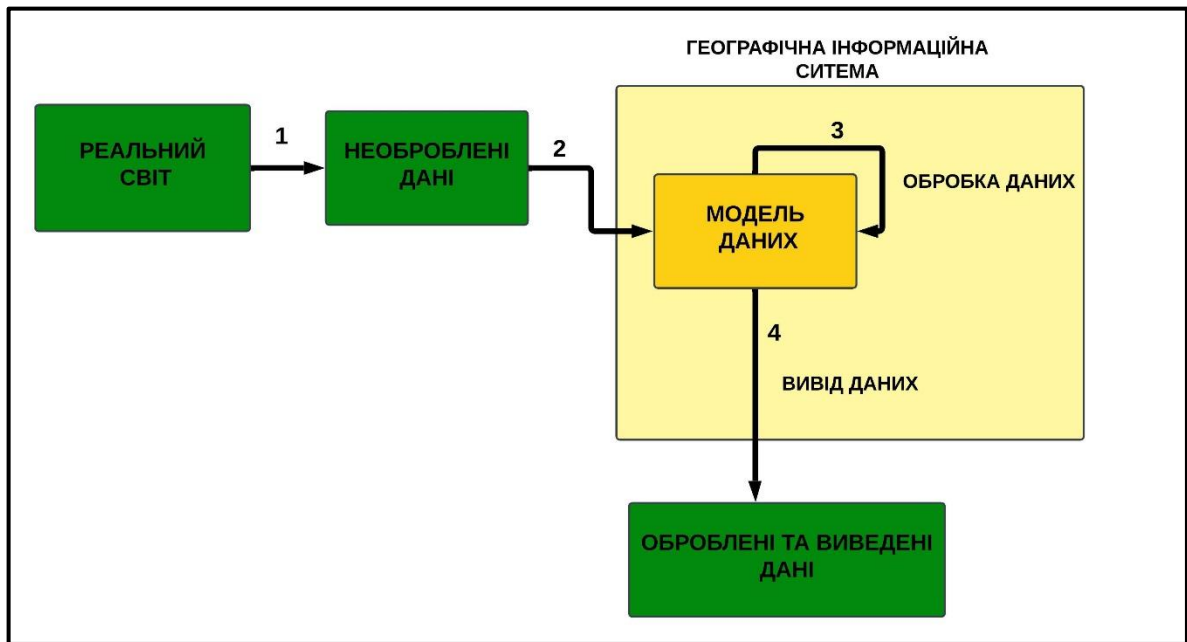


Рис. 2.2 Узагальнене графічне представлення геоінформаційної системи

2.1.1 Характерні відмінності функціоналу ГІС

Виокремлюючи та характеризуючи функціонал геоінформаційних систем у вигляді способів та шляхів уведення, інтеграції, зберігання, обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації, можна виділити такі засоби, що виділяють ГІС в особливий клас інформаційних систем. Специфічними функціями виступають інтеграція, аналіз і візуалізація географічної інформації.

1. Інтеграція

Сутність інтеграції в геоінформаційних системах полягає у поєднанні різнорідних даних і технологій задля створення максимально повного, точного та інформативного уявлення про просторові об'єкти. Це передбачає збір, обробку та аналіз інформації з багатьох джерел і її об'єднання в єдину базу даних.

Технологічна складова інтеграції охоплює використання різноманітного обладнання та методів збору даних: супутникові зображення, аерофотознімання, GPS/GNSS-технології, зйомка БпАК, датчики та інші засоби. Ці інструменти

забезпечують отримання інформації про просторові характеристики, атрибутивні властивості, екологічний стан території, динамічні процеси тощо.

Крім того, інтеграція охоплює використання методів просторового аналізу та статистики для виявлення закономірностей між різними характеристиками територій. Зокрема, це методи геоінформатики, геостатистики та інші підходи, що дозволяють аналізувати та прогнозувати просторові явища у різних сферах застосування ГІС. Це сприяє раціональному управлінню природними ресурсами й обґрунтованому прийняттю рішень у господарській, екологічній, інженерній та інших сферах.

2. Аналіз

Операції з аналізу просторових даних становлять одну з основних функцій геоінформаційних систем. Суть цього процесу полягає у можливості ефективної обробки великих обсягів геоданих та їх представлення в зручній для користувача формі. Саме тому ГІС часто називають інструментом просторового аналізу, а сам просторовий аналіз – «серцем» ГІС [22, с. 38].

Програмне забезпечення ГІС надає змогу виконувати широкий спектр аналітичних завдань, серед яких:

1. Просторові запити – наприклад, пошук усіх об'єктів (шкіл, лікарень тощо) у заданому радіусі від певної точки.
2. Статистичний аналіз – наприклад, розрахунок середніх висот, щільності населення або розподілу температури в межах певної території.
3. Просторове моделювання – створення прогнозів на основі геоданих, таких як поширення захворювань, повеней або урбаністичних змін.
4. Аналіз мереж – обчислення найоптимальніших маршрутів пересування транспортних засобів або потоку ресурсів.
5. Геокодування – трансформація адрес чи назв об'єктів у координати на карті [23].

Основні напрями просторового аналізу зазвичай поділяють на п'ять груп:

- Аналіз розміщення;
- Визначення просторової відповідності;
- Аналіз часових змін;
- Виявлення просторових структур;
- Оцінка різноманітних сценаріїв [22, с. 39–40].

3. Візуалізація

З огляду на потребу людини в наочному представленні великої кількості складних і багаторівневих даних, геоінформаційна система дозволяє перетворювати інформацію у вигляд картографічних образів, що легко сприймаються. Це дає змогу оперативно відповідати на численні запити користувачів, представляючи інформацію у доступній візуальній формі – через мову карт [22, с. 41].

Візуалізація вважається ключовим компонентом ГІС, адже дозволяє створювати графічне уявлення просторових даних – як у вигляді карт, так і інших візуальних інтерфейсів. Цифрові карти, створені за допомогою ГІС, мають перевагу над традиційними паперовими аналогами: вони масштабуються, комбінуються за потребою та можуть бути миттєво змінені. [6, с.5-9] Завдяки візуалізації географічних даних стає можливим не лише їх представлення, а й глибше розуміння взаємозв'язків, трендів та змін у просторовому середовищі, що значно розширює аналітичні можливості користувачів геоінформаційних систем.

2.2 Основні характеристики баз даних геоінформаційних систем

Потужним та ефективним способом збереження та обробки просторової інформації є використання ГІС баз даних. Зазнаючи постійного розвитку та модифікацій, вони, тим не менш, продовжують залишатися однією із головних та ключових складових майже будь-якої ГІС.

У цьому розділі виконана аналітично-оглядова робота з визначення та розкриття характерних особливостей баз даних у ГІС, що включає у себе такі питання як: типи баз даних геоінформаційних систем, переваги та недоліки моделей даних, проектування бази даних, розробка структури бази даних та її складових, особливості проектування баз даних геоінформаційних систем.

2.2.1 Бази даних та їх роль у ГІС

ГІС, як і більшість існуючих систем, для своєї коректної та повноцінної роботи, ідею та принципи якої закладені розробником, потребує певного інструментарію та засобів, що дозволяють та реалізують надходження, наповнення та зберігання різноформатних типів даних та різноманітної інформації. Універсальним способом, що є відповіддю на поставлені задачі, є використання баз даних, функціонал яких, здатен до поставлених проблем.

У загальному випадку базою даних можна вважати будь-який впорядкований набір даних. Беручи до уваги повну інтегрованість ГІС в комп'ютерні системи та її залежність від них, скористаємося такими визначеннями:

1. База даних – сукупність даних, організованих відповідно до концепції, яка описує характеристику цих даних і взаємозв'язки між їх елементами; ця сукупність підтримує щонайменше одну з областей застосування (за стандартом ISO/IEC 2382:2015).

2. База даних – це організована колекція даних, яка зберігається та управляється з допомогою комп'ютерних програм та систем управління базами даних. [25]

База даних складається з таблиць, які містять інформацію про конкретні об'єкти, такі як клієнти, продукти, замовлення тощо.

Кожна таблиця бази даних складається зі стовпців та рядків. Кожен стовпець містить певний тип даних, такий як текст, числа або дати, а кожен рядок містить

дані про конкретний об'єкт, який описується цією таблицею. Таблиці можуть бути пов'язані між собою за допомогою ключів, що дозволяє виконувати операції зв'язування даних та забезпечувати цілісність даних в системі.

До переваг використання баз даних можна віднести (в наступному переліку використані матеріали подані в працях [25]):

1.Забезпечення доступності даних: Бази даних дозволяють зберігати великий обсяг даних та забезпечувати доступ до них за допомогою запитів із різних джерел. Це забезпечує ефективність та швидкість доступу до даних, що може бути важливо в багатьох галузях.

2.Забезпечення цілісності даних: Бази даних дозволяють зберігати дані у структурованому форматі та виконувати різні правила, які забезпечують цілісність даних. Наприклад, база даних може бути налаштована таким чином, щоб не дозволяти додавати некоректні дані до таблиць.

3.Підвищення продуктивності: бази даних можуть забезпечити оптимізацію роботи з даними та ефективність їх використання. Наприклад, вони можуть підтримувати індексацію даних, що забезпечує швидкий доступ до певних записів.

4.Підвищення безпеки даних: бази даних можуть забезпечити захист від несанкціонованого доступу до даних, шляхом налаштування прав доступу до таблиць. Наприклад, вони можуть дозволяти доступ до даних лише обраним користувачам.

5.Забезпечення можливості зберігати історію даних: бази даних можуть зберігати інформацію про зміни в даних, що може бути корисно в багатьох галузях. Наприклад, вони можуть зберігати інформацію про зміни в замовленнях клієнтів, що може бути корисно для аналізу роботи підприємства.

Показавши основні та ключова особливості баз даних як таких, можемо перейти до їх ролі в ГІС. Бази даних в геоінформаційних системах відіграють важливу роль у зберіганні та управлінні геопросторовими даними, такі як картографічні дані, топографічні дані, геодезичні дані, дані про клімат, рівень

води, ґрунти та інші. Ці дані можуть бути збережені у різних форматах, таких як векторні та растрові, та відображені на географічному просторі за допомогою ГІС. Бази даних в ГІС також дозволяють виконувати аналіз та операції з геопросторовими даними, такі як пошук, фільтрація, сортування та об'єднання даних, що дозволяє вирішувати різнопланові проблеми.

Отже, бази даних в ГІС дозволяють ефективно зберігати та управляти геопросторовими даними, а також виконувати аналіз та операції з цими даними. Вони є невід'ємною частиною ГІС та допомагають вирішувати проблеми, пов'язані з геопросторовими даними, у різних галузях.

Геоінформаційна система, як і більшість сучасних інформаційних систем, для коректної та повноцінної роботи, реалізації закладених розробником методів і принципів, потребує наявності спеціальних засобів та інструментів. Ці засоби забезпечують надходження, накопичення й збереження різноманітних типів даних та різноформатної інформації. Одним з найбільш універсальних рішень для виконання таких завдань є використання баз даних, функціональні можливості яких дозволяють вирішення відповідних задач.

У широкому розумінні базу даних можна визначити як структурований набір інформації. Враховуючи широку інтеграцію ГІС із комп'ютерними технологіями та її залежність від них, доречно звернутися до наступних формулювань:

1. База даних – це впорядкована сукупність даних, організована за певною концепцією, що описує їх властивості та взаємозв'язки; ця система підтримує щонайменше одну область застосування (за стандартом ISO/IEC 2382:2015).
2. База даних – це структурована сукупність даних, яка зберігається та керується за допомогою програмного забезпечення та систем управління базами даних [25].

Структура бази даних складається з таблиць, у яких зберігається інформація про певні сутності – наприклад, клієнтів, товари, замовлення тощо. Кожна таблиця

містить стовпці (поля) та рядки (записи). У стовпцях зазначено типи даних (текст, числа, дати), а кожен рядок – це інформація про конкретний об'єкт. Таблиці можуть бути пов'язані між собою через ключі, що дозволяє реалізовувати зв'язки між даними та підтримувати їх цілісність у межах системи.

До основних переваг використання баз даних, згідно з [25], належать:

- Доступність даних – бази даних дозволяють ефективно зберігати великі обсяги інформації та забезпечувати зручний доступ до неї з різних джерел, що підвищує ефективність роботи з даними.
- Цілісність даних – завдяки структурованості бази даних забезпечують дотримання правил, які запобігають внесенню помилкової чи некоректної інформації.
- Підвищення ефективності – за рахунок можливостей оптимізації, зокрема індексації, бази даних дозволяють швидко отримувати доступ до потрібних записів, що покращує загальну продуктивність.
- Забезпечення безпеки – за допомогою механізмів керування правами доступу можна обмежити перегляд чи зміну інформації для окремих користувачів, що захищає дані від несанкціонованих дій.
- Зберігання історії змін – бази даних дозволяють фіксувати зміни, що відбувалися з часом, наприклад, в історії замовлень або зміні даних користувачів, що корисно для аналітики та звітності.

Описавши основні функції та особливості баз даних, можна перейти до аналізу їхнього значення в геоінформаційних системах. У контексті ГІС бази даних відіграють ключову роль у зберіганні та керуванні геопросторовою інформацією, зокрема картографічними, геодезичними, топографічними, кліматичними даними, а також відомостями про водні ресурси, ґрунти та інші природні компоненти. Дані можуть зберігатися у векторному або растровому вигляді та візуалізуватися у просторовому середовищі завдяки інструментам ГІС.

Крім того, за допомогою баз даних у ГІС можна здійснювати широкий спектр операцій над просторовими даними – фільтрування, пошук, сортування, поєднання тощо. Це дозволяє ефективно вирішувати практичні завдання в різних сферах діяльності. Таким чином, бази даних є невід’ємною складовою геоінформаційних систем. Вони забезпечують надійне зберігання та управління географічною інформацією, підтримують аналіз та обробку даних, що значно розширює функціональність ГІС і підвищує ефективність її використання в найрізноманітніших галузях.

2.2.2 Особливості структури баз геоданих в ГІС

Розробка структури бази геоданих є ключовим етапом при роботі з геоінформаційними системами. Структура бази даних визначає те, які дані будуть зберігатись та організовуватись у ГІС, а також як будуть взаємодіяти різні складові системи, такі як програмне забезпечення, обладнання та мережі.

До основних компонентів структури бази даних у ГІС належать:

1. Геодані – це просторові дані, серед яких можуть бути карти, знімки з дронів або супутників, цифрові моделі місцевості тощо. Такі дані можуть бути представлені у форматах растрових або векторних структур.
2. Атрибутивна інформація – це властивості об’єктів, що зображені на карті, наприклад, назва, функціональне призначення, площа, висота тощо. Такі характеристики зазвичай зберігаються у вигляді табличних даних.
3. Метадані – це відомості, які описують самі геодані та атрибути, такі як дата збирання, масштаб, точність, джерело інформації тощо. Метадані, як правило, фіксуються у таблицях.

4. Схема бази даних – це загальна структура, що визначає логіку зберігання та розміщення даних у відповідних таблицях.
5. Індокси – це допоміжні структури, які оптимізують пошук записів у таблицях. Зокрема, вони можуть бути застосовані до полів, що містять просторову інформацію про розташування об'єктів на карті.

Під час створення структури бази геоданих слід враховувати такі важливі аспекти:

- Розмір і складність проекту. Для простих або невеликих проектів зазвичай використовуються базові структури, у той час як масштабні й комплексні задачі потребують більш гнучких і розгалужених структур баз даних.
- Типи даних і їх обсяги. Варто визначити, які саме дані зберігатимуться в базі, та обрати відповідні формати і типи даних. Крім того, слід врахувати об'єм інформації, оскільки великі дані можуть знижувати загальну продуктивність системи.
- Продуктивність та швидкість обробки. При створенні бази необхідно орієнтуватися на технічні вимоги щодо продуктивності. Наприклад, для обробки великих масивів геоданих доцільно застосовувати розподілені бази даних, які забезпечують кращу швидкодію.
- Вибір системи керування базами даних (СКБД). Важливо підібрати таку СКБД, яка відповідатиме специфіці задач проекту та надаватиме необхідні інструменти для реалізації функціональних можливостей.
- Програмна сумісність. Створюючи структуру бази даних, необхідно враховувати особливості програмного забезпечення, яке буде з нею працювати. Зокрема, варто вибрати формати та схеми, які добре підтримуються відповідними ГІС-програмами.

Таким чином, правильне проектування структури бази геоданих є критично важливим етапом у розгортанні геоінформаційної системи. Воно сприяє

ефективному зберіганню великих обсягів просторової інформації, підтримує високу продуктивність та забезпечує надійну і швидку роботу системи.

2.2.3 Менеджмент баз геоданих

Для виконання ефективного менеджменту великих за обсягом та вмістом структур даних ГІС необхідно використовувати належні механізми маніпуляції, що забезпечують відповідні функції та критерії. На даному етапі розвитку геоінформаційних технологій таким інструментом виступають СКБД.

Даний розділ має на меті розгляд основних СКБД, що представлені у географічних інформаційних системах, та порівняння моделей даних, які опрацьовуються даними.

Використаємо таке визначення СКБД (у наступному розгляді використані матеріали подані в працях [26, с.6, с.44-45, с.229; 27, с.40-7; 22, с.24; с.26; с.27; с.29; с.38-41; с.230; 28, с.37-393]):

Система управління базами даних – набір взаємопов'язаних даних (база даних) і програм для доступу до цих даних.

Система керування базами даних – це сукупність пов'язаних між собою даних (база даних) та програмних засобів, що забезпечують доступ до цих даних.

Архітектура СКБД:

СКБД організовується за трирівневою схемою, яка дозволяє ізолювати програму від специфіки зберігання даних на нижчих рівнях. Ці рівні включають:

1. Зовнішній рівень – відображення бази даних з позиції користувача.
2. Концептуальний рівень – загальна модель бази даних, в якій визначено, які дані зберігаються та які між ними існують взаємозв'язки. Цей рівень підтримує зовнішні уявлення і спирається на внутрішній рівень.
3. Внутрішній рівень – фізичне збереження бази даних у комп'ютерній системі.

Логічна незалежність означає, що зовнішні уявлення не змінюються при модифікаціях концептуальної моделі.

Фізична незалежність передбачає, що зміни внутрішнього рівня не впливають на концептуальний рівень.

СКБД виконує такі функції:

- централізоване управління інформацією;
- підтримка відповідності стандартам;
- забезпечення безпеки та цілісності інформації;
- зменшення дублювання даних;
- уникнення суперечностей у даних;
- підтримка одночасного доступу до окремих записів;
- організація спільного використання інформації в розподіленому середовищі;
- адміністрування та регламентування прав доступу;
- створення копій даних.

З технічного боку СКБД забезпечує: підтримку процесів проектування, реалізації та обробки баз даних.

Проектування бази даних – це етап формування її початкової структури, в якій ще немає даних. Необхідно визначити типи даних (наприклад, числа, текст, дати), дозволені значення або допустимі межі (наприклад, значення віку повинне бути позитивним), а також встановити взаємозв'язки між елементами в базі.

Реалізація бази даних – це процес заповнення створеної структури фактичними даними. СКБД використовує свої інструменти для запису і зчитування значень на пристрої збереження даних.

Операції над базою даних включають можливості вибору, оновлення або видалення записів у базі. СКБД має забезпечувати ці дії з максимальною ефективністю та точністю.

СКБД повинна гарантувати зручне, надійне та безпечне збереження великих обсягів постійної інформації в умовах одночасної роботи кількох користувачів.

Базу даних необхідно захищати від системних збоїв та несанкціонованого втручання. У багатьох великих СКБД значну роль відіграють функції резервного копіювання, реплікації та відновлення інформації.

СКБД також повинна включати механізми контролю доступу, щоб забезпечити дані від несанкціонованих дій. Наприклад, одним користувачам може бути надано повний доступ до редагування, а іншим – лише для перегляду. Це реалізується шляхом створення облікових записів з іменами, паролями та відповідними правами доступу (читання, редагування, запис тощо). Складний або обмежений доступ до даних для користувача знижує загальну ефективність системи. СКБД повинна мати зручний вбудований інтерфейс з простими командами для роботи з інформацією.

2.2.4 Типи баз даних геоінформаційних систем

Однією з ключових особливостей ГІС є наявність в їх структурній будові такого важливого компонента або механізму як бази геоданих. Цей інструментарій, набір засобів та реалізацій, є визначним в методах та шляхах роботи з просторовою інформацією. База геоданих – це сукупність географічних наборів даних різних типів, що містяться в загальних папках файлової системи або в реляційній базі даних. Модель даних ГІС База геоданих базується на принципах реляційних таблиць [22, с.230].

Основним елементом бази геоданих є набір даних. У структурі бази геоданих виділяють три головні типи наборів:

- 1) класи просторових об'єктів (Feature classes);
- 2) растрові набори даних (Raster datasets);
- 3) непросторові таблиці (Tables).

Ці набори можуть бути інтегровані до бази геоданих з розширеними функціональними можливостями (наприклад, через створення мережевої топології або підтипів), що дозволяє моделювати поведінку об'єктів, зберігати цілісність інформації та працювати з ключовими просторовими зв'язками. База геоданих надає змогу:

- отримувати доступ до значних обсягів географічної інформації та керувати нею, незалежно від того, зберігається вона у файлах чи в базі даних;
- працювати з різними форматами даних і об'єктами;
- застосовувати складні просторові правила та зв'язки в межах ГІС.

Існує кілька варіантів баз геоінформаційних систем, що відрізняються структурою та способом збереження інформації. Основні типи баз геоінформаційних систем на даний момент (класифікація на основі джерел [26, с.6, с.44-45, с.229; 27, с.40-71; 22]):

Моделі даних можуть реалізовуватись як у вигляді локальних персональних баз, так і у форматі багатокористувацьких рішень, з можливістю як локального розміщення, так і використання серверних або хмарних платформ.

1. Реляційні бази даних – це бази, у яких дані структуруються у вигляді таблиць з рядками та стовпцями. У таких базах зберігаються просторові об'єкти у вигляді точок, ліній, полігонів тощо.
2. Об'єктно-орієнтовані бази даних – використовують об'єкти для представлення даних. Географічні об'єкти описуються разом із їхніми атрибутами та геометричними характеристиками.
3. Об'єктно-реляційна модель – комбінує властивості реляційного підходу та об'єктно-орієнтованого, поєднуючи їхні основні принципи.
4. Бази даних на основі геомедіа (Geomedia-based databases) – використовуються в програмному середовищі Geomedia для візуалізації

та аналізу просторової інформації, включаючи додаткові ресурси, як-от зображення та відео.

5. Бази даних на основі хмар точок – зберігають тривимірну інформацію у вигляді хмар точок. Використовуються в геоінформатиці для аналізу просторових даних з високою деталізацією.
6. Бази даних на основі документів – призначені для зберігання документів, що містять просторові дані. Поширені формати – JSON або XML, у яких фіксуються геометричні характеристики об'єктів та їх атрибути.
7. Графові бази даних – використовують структуру графа для представлення геоінформації. Вузли відповідають географічним об'єктам, а зв'язки між ними описуються як ребра графа.
8. Ієрархічні бази даних – базуються на деревоподібній структурі з різними рівнями, де групи геооб'єктів організовані за ієрархією. Це дозволяє оптимізувати зберігання та спростити доступ до інформації.
9. Розподілені бази даних – функціонують на кількох серверах, що гарантує безперервність роботи навіть при виході з ладу одного з них. Вони підтримують великі обсяги геоданих і швидке виконання запитів завдяки паралельній обробці.

Загалом, вибір моделі бази геоінформаційної системи залежить від конкретних завдань, обсягів даних, вимог до обробки та доступу до геоданих. Водночас варто враховувати витрати на налаштування системи, її обслуговування та технічну складність.

2.2.5 Особливості структури баз геоданих

Розробка структури бази геоданих є ключовим етапом при розробці геоінформаційної системи. Структура бази даних визначає те, які дані будуть

зберігатись та організовуватись у ГІС, а також як будуть взаємодіяти різні складові системи, такі як програмне забезпечення, обладнання та мережі.

Формування структури бази геоданих є одним із основоположних етапів створення геоінформаційної системи. Від цієї структури залежить, які саме дані будуть зберігатися та як вони будуть організовані в ГІС, а також визначається взаємодія між компонентами системи, зокрема програмним забезпеченням, технічним оснащенням і мережевими ресурсами.

Складові структури бази геоданих у ГІС включають:

1. Геодані – це просторові дані, наприклад, карти, супутникові знімки, цифрові моделі місцевості тощо. Вони можуть бути представлені у вигляді векторних або растрових форматів.
2. Атрибути – це описові характеристики об'єктів, розташованих на карті, зокрема назва, категорія, площа, висота й інші властивості. Такі дані зазвичай зберігаються в табличному вигляді.
3. Метадані – це інформація, що описує самі геодані та атрибути, включаючи дату збору, масштаб, точність, автора тощо. Як і атрибути, метадані організовуються у вигляді таблиць.
4. Схема бази даних – це структура, яка регламентує спосіб збереження й організації даних у таблицях бази.
5. Індокси – це спеціальні структури, які дозволяють швидко здійснювати пошук потрібних записів у таблицях. Вони можуть бути створені для полів, які містять дані про розташування об'єктів на карті.

Під час створення структури бази геоданих слід брати до уваги наступні аспекти:

1. Масштаб і складність системи. Для невеликих проектів підійдуть прості структури, а для об'ємних і складних – необхідна більш деталізована організація даних.

2. Типи даних і їх обсяг. Важливо враховувати, які саме дані зберігатимуться, і відповідно до цього обирати формати та типи, які забезпечать ефективну обробку. Значний обсяг інформації може впливати на продуктивність системи.
3. Параметри продуктивності та швидкодії. Вимоги до швидкодії мають враховуватися при проектуванні. Для масштабних проєктів можливе використання розподілених баз, здатних працювати з великими масивами даних і забезпечувати високу продуктивність.
4. Система управління базами даних (СКБД). Вибір відповідного СКБД повинен базуватися на його функціональності та сумісності з обраною архітектурою ГІС.
5. Програмне забезпечення. Створюючи структуру бази, слід враховувати вимоги програмних засобів, які з нею працюватимуть. Необхідно обрати формати та структури, які найкраще інтегруються з цими інструментами.

Отже, розробка структури бази геоданих є важливим етапом проєктування ГІС. Вона дозволяє забезпечити ефективну роботу системи та зберігання великих об'ємів даних, а також забезпечити високу швидкодію та продуктивність системи.

РОЗДІЛ 3. ГІДРОГЕОЛОГІЧНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОСНОВА БАЗИ ДАНИХ

Основною задачею даного розділу є показ обраних («створених») взаємозалежностей, вимог, правил, регламентів та зв'язків між предметно-прикладним полем (гідрогеологічна сфера) і геоінформаційною системою як середовищем реалізації баз геоданих. Результатами виступатимуть знайдені панівні сфери можливого прикладного застосування та ймовірна параметрична атрибутика, що є ядром для наповнення баз геоданих.

3.1 Гідрогеологічна сфера

Ураховуючи постійну зацікавленість, зростаючий попит людини у водних ресурсах, перманентну потребу в проведенні їх моніторингу, аналізу, експлуатації та дослідженню взаємодії із різноманітними геологічними процесами, геоінформаційна система як засіб реалізації баз даних гідрогеологічного прикладного спрямування, що має набір функціональних можливостей, які дозволять виконання вищенаведених операцій, є пріоритетною для використання, через її релевантність та доцільність у вирішенні поставлених задач. Спираючись на попередній досвід проєктів, вишукувань та робіт, проведених із залученням ГІС-технологій, і, визначивши основні технічні та практичні недоліки/особливості у виконанні даних операцій, було вирішено розробити структуру БГД, що спрямована на обробку «гідрогеологічних та супутніх» даних та їх належну репрезентацію відповідними фахівцями в гідрогеологічній сфері ГІС-картографування.

Перевагами даної структури БГД є: актуальність предметної області її застосування (що передбачає подальше довготривале експлуатування системи),

спрямованість на вирішення конкретних прикладних задач, що забезпечується відповідним інструментарієм або засобами ГІС.

Майбутня(-і) БГД має спрямування на роботу з даними комплексу гідрогеологічних вишукувань, досліджень та вимірювань (із залученням додаткових матеріалів). Наприклад: моніторинг підземних вод, моніторинг свердловин, прогностичні дані підземних вод.

Орієнтований функціонал майбутньої бази геоданих безпосередньо орієнтований та підпорядкований сфері застосування, що передбачає роботу з даними комплексу гідрогеологічних вишукувань. Наприклад: розрахунок дебіту свердловин, подання класифікації свердловин, оціночні роботи водозабору.

Очікувана модель бази геоданих орієнтована під експлуатацію фахівцями сфер картографії, геодезії, гідрогеології, інженерами з буріння. БГД передбачає володіння операторами знань та умінь в галузях географії, просторового аналізу та планування, безпосередньо предметної сфери роботи.

3.2 Параметрична та атрибутивна складова БГД

Даний підпункт розглядає можливі та прогнозовані параметричні атрибути майбутньої бази геоданих, що є узагальненою моделлю репрезентації відбору та розрахунку необхідних складових у якості ключових елементів БГД, таким чином цей процес є певним створенням генералізованого набору специфічних характеристик, які можуть бути редуковані, апроксимовані та адаптовані під потреби конкретної прикладної задачі.

Передбачена підтримка та використання гібридної моделі архітектури просторових даних (із застосуванням конкретної моделі під відповідну задачу/функцію) для подання повноти географічної інформації, що, в якості основи, забезпечується тріадою географічних даних: геопросторові дані (із інструментарієм нанесення точкових, лінійних, полігональних та поверхневих

об'єктів), семантичні дані (із відповідним функціоналом збереження та відображення атрибутивної складової), часові дані (за потреби). Представлення моделей просторових даних передбачено в гібридному форматі (растровому, векторному, растрово-векторному, тривимірному) із забезпеченням показу семантичної/атрибутивної частини.

Результатом є створення «рисунок» гідрогеологічної складової досліджуваного об'єкту із акцентом на впровадженні відповідно адаптованої бази геоданих, що забезпечує потреби та вимоги, які були продиктовані умовами прикладної задачі.

Основні атрибутивні дані, запропоновані для реалізації та відображення для узагальненої (концептуальної) моделі БГД:

Гідрогеологія

для водозаборів питних підземних вод

(Основні дані, що не змінюються або мало змінюються під час експлуатації)

1. Найменування водозабору (прив'язка до населеного пункту або об'єкту)
2. Кадастровий номер за державною реєстрацією
3. Географічні координати центроїду водозабору
4. Місце розташування за фактичною адресою
5. Відомча підпорядкованість водозабору
6. Тип водозабору:
 - груповий
 - поодинокий
7. Тип водозабору за розташуванням свердловин
 - площинний
 - лінійний ряд
8. Загальна кількість свердловин на водозаборі
9. Цільовий водоносний горизонт, його геологічний індекс
10. Глибина свердловин (м, від... до...)

- 11.Робочий діаметр свердловин (мм, від... до..)
- 12.Наявність балансових запасів, затверджених за Протоколом ДКЗ України
- 13.Наявність впорядкованих I (першого), II (другого) та III (третього) поясів ЗСО (зон санітарної охорони)
- 14.Наявність ліцензії на експлуатацію водозабору (вказати номер, термін дії)

Моніторингові

(або прогностні дані, що змінюються під час експлуатації)

- 1.Сумарний водовідбір водозабору
 - щодобовий (тис. м³)
 - щомісячний (тис. м³)
 - щорічний (тис. м³)
- 2.Рівневий режим в межах водозабору (динаміка рівнів – (м, від... до..)
- 3.Якість підземних вод за основними показниками (щорічно)
 - мінералізація (мг-екв/дм³)
 - сухий залишок (мг/дм³)
 - відхилення від державних норм за окремими показниками (вказати які)
 - санітарний показник
 - радіаційна безпека
- 4.Кількість свердловин за категоріями (діючі, резервні, спостережні)
- 5.Перспективний видобуток підземних вод за планом (щоквартально, щорічно)

Гідрогеологія

для окремих свердловин питних підземних вод

основні дані, що не змінюються або мало змінюються під час експлуатації

- 1.Номер свердловини за технічним паспортом
- 2.Кадастровий номер за державною реєстрацією
- 3.Географічні координати свердловини
- 4.Відомча належність (підпорядкованість)

5. Абсолютна відмітка гирла свердловини (м)

6. Тип свердловини за цільовим призначенням:

- експлуатаційна
- розвідувально-експлуатаційна
- спостережна

7. Рік буріння

8. Цільовий водоносний горизонт, його індекс

9. Глибина свердловини (м)

10. Робочий діаметр свердловини (мм)

11. Наявність впорядкованих I (першого) та II (другого) поясів ЗСО

12. Сучасний стан свердловини (діюча, на консервації, резервна, підлягає тампонажу)

13. Дебіт свердловини за паспортними даними (м³/год)

14. Рівень води (статичний, динамічний) на початок експлуатації (м)

15. Мінералізація (або сухий залишок) води на початок експлуатації (мг-екв/дм³)

16. Режим експлуатації (постійний, перервний)

17. Тип насосного обладнання (марка насосу)

18. Тип надкаптажної споруди (підземна, наземна, приповерхнева)

Моніторингові

(або прогностичні дані, що змінюються під час експлуатації)

1. Водовідбір із свердловини

- щодобовий (м³)
- щомісячний (м³)
- щорічний (тис. м³)

2. Рівневий режим (динаміка рівнів – 3 рази на місяць (від... до..))

3. Якість підземних вод за основними показниками (не менш 1 раз на квартал)

- мінералізація (мг-екв/дм³)

- сухий залишок (мг/дм³)

- відхилення від державних норм за окремими показниками

- санітарний показник

4. Відомості щодо профілактичних ремонтів (заміна насосів та ін.)

5. Перспективний видобуток підземних вод за планом (щоквартально, щорічно)

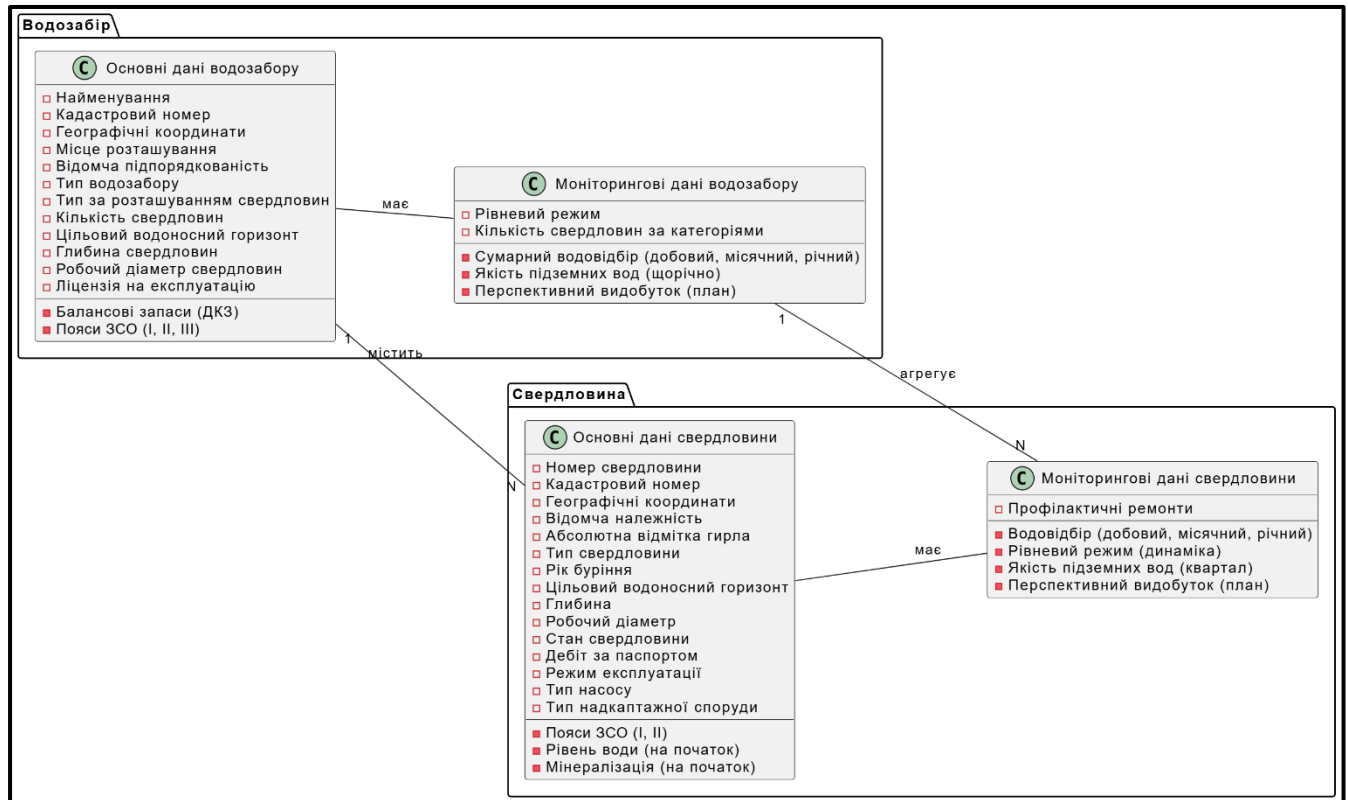


Рис. 3.1 Апроксимовані «взаємозв'язки/взаємозалежності» параметрично-атрибутивної складової

РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА БАЗИ ГЕОДАНИХ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ

Метою даного розділу є представлення алгоритму та схеми розробки бази геоданих для використання в конкретному предметно-прикладному полі, а саме: побудова бази геоданих свердловин, територіально приурочених до Запорізької області.

Основними етапами для досягнення окресленої задачі виступають відбір або адаптація параметричних атрибутів зі спроектованої узагальненої моделі бази геоданих та безпосереднє створення БГД та відображення її в середовищі геоінформаційної системи.

Необхідними базовими складовими для побудови майбутньої бази геоданих виступають геологічні та водоносні горизонти регіону дослідження та функціональні засоби й інструменти геоінформаційної системи в контексті створення, керування, інтегрування та відображення БГД.

4.1 Гідрогеологічний базис ділянки дослідження

Запорізька область розташована на південному заході України, між $46^{\circ}15'$ і $48^{\circ}08'$ північної широти та $34^{\circ}10'$ і $37^{\circ}15'$ східної довготи. У адміністративному відношенні область має межі з:

на півночі й північному заході з Дніпропетровською;

на південному заході – з Херсонською;

на сході – з Донецькою областями.

На півдні область має природну межу (омивається) з Азовським морем та, загалом, має протяжність з півночі на південь майже на 200 км та з заходу на схід – на 235 км.

В геоморфологічному плані Запорізька область територіально розміщена на «ділянці», що обмежується північно-східною частиною Причорноморської низовини й Азовсько-Придніпровської височини, Придніпровська височина займає північну частину території області (Рис. 3.1). Висотна основа області диференційована в залежності від географічних особливостей території. Так, абсолютні відмітки варіюються в межах 120 – 140 м, на границі з Дніпропетровською областю, досягають 170 – 180 м. Рівнинні поверхні різні за розчленованістю. Відносна елевация вододілів над лінією ерозійних врізів 20 – 40 м. Приазовська височина займає південно-східну частину області. Абсолютні відмітки поверхні досягають 200 – 234 м. Височини сильно розчленовані внаслідок розвинутої ерозійної мережі. Глибина ерозійного врізу 140 – 160 м.[29, с.59-62]

Дві великі геолого-тектонічні структури, в межах яких розташована Запорізька область, Причорноморська западина та Український кристалічний щит. На території області згідно з геолого-тектонічної будови, яка визначає регіональні умови формування підземних вод, визначені наступні гідрогеологічні басейни першого порядку – Причорноморський артезіанський басейн і Український басейн тріщинних вод (Рис. 3.2). Наявна система розломів Запорізької області пов'язана з гідрографічною сіткою, що майже цілком була сформована в період неогену; визначними особливостями геологічної будови річкових долин, терас, лиманів області є приуроченість річкової мережі до ліній тектонічних порушень [30, с.11].

Придніпровський басейн тріщинних вод, Приазовський басейн тріщинних вод і Кінксько-Ялинський дрібний артезіанський басейн – гідрогеологічні басейни другого порядку, які визначені в межах Українського басейну тріщинних вод на території Запорізької області. Основною закономірністю Українського басейну тріщинних вод і Причорноморського артезіанського басейну є приуроченість ґрунтових і міжпластових підземних вод не тільки до дискретних

стратиграфічних відкладів, а й до їх повноцінних комплексів (Рис. 3.2) [29, с.59-62].

Основні водоносні горизонти Причорноморського артезіанського басейну, а саме підземні води якого використовуються для господарського, питного й технічного водопостачання в кордонах області, приурочені до осадових крейдових, палеогенових, неогенових і четвертинних відкладів [29, с.59-62; 31, с. 32-37].

Одним із головних джерел забезпечення населення якісною питною водою в межах області є водоносні горизонти неогенових і палеогенових відкладів. Підземні води неогенових відкладів поширені майже на всій території області, за винятком районів Приазовського та Придніпровського масивів. Серед усіх водоносних горизонтів найбільше практичне значення мають палеогенові відклади – за якістю води, її насиченістю та обсягами експлуатаційних запасів [29, с.59-62; 31, с. 32-37].

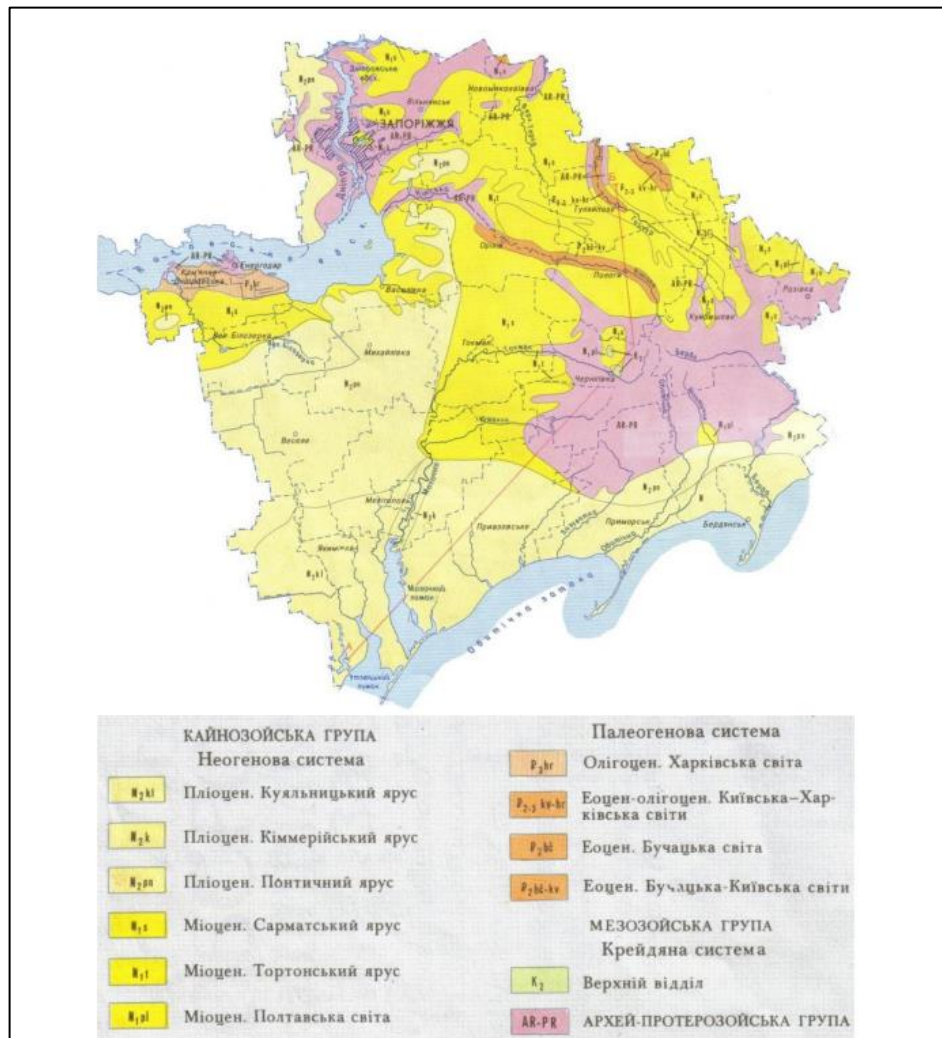


Рис. 4.1. Геологічна будова Запорізької області [12, с.16]

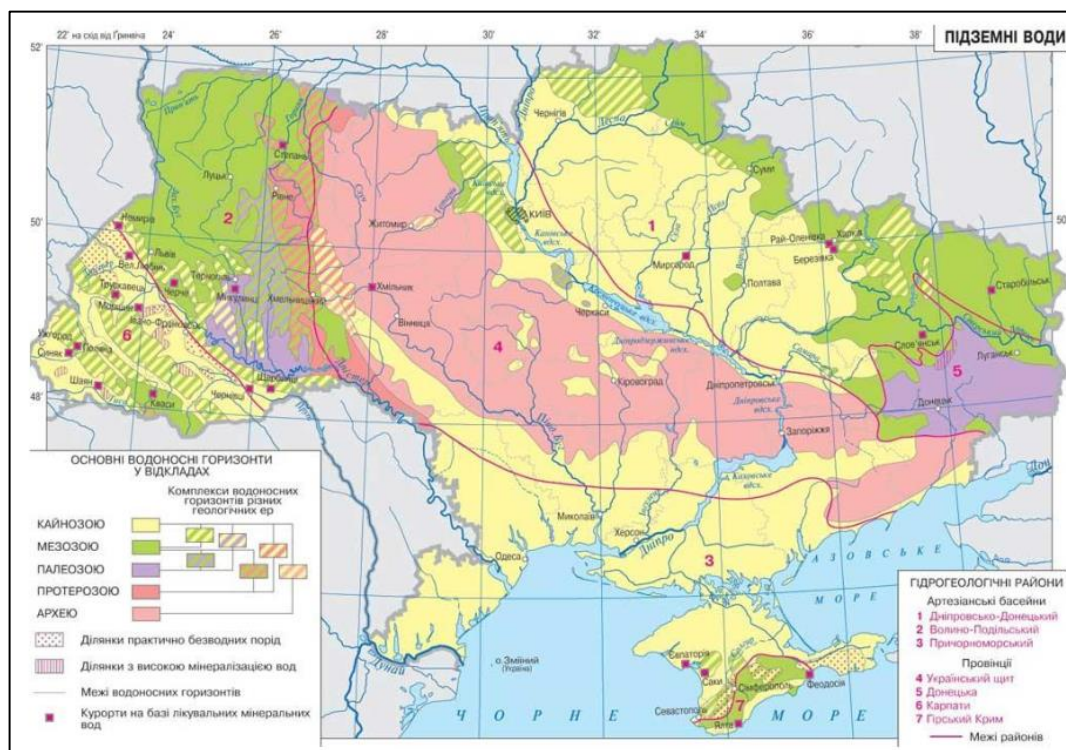


Рис. 4.2. Карта підземних вод України [29, с.60]

Майже вся територія Запорізької області вкрита родючим ґрунтовим шаром. Основним типом ґрунтів у регіоні є чорноземи, формування яких відбувалося під впливом багатой степової рослинності, що існувала тут у минулому. Особливо значну роль у ґрунтоутворенні відіграли трав'янисті рослини, зокрема степові злаки – ковила, типчак – та різноманітні дводольні види, завдяки яким чорноземи набули своїх високих агрономічних якостей. Умови формування ґрунтів змінюються з півночі на південь, що зумовлює зональну зміну типів ґрунтового покриву. У північних і північно-східних районах поширені звичайні чорноземи зі середнім або низьким вмістом гумусу, причому його концентрація зростає в напрямку зі заходу на схід. У центральній частині області переважають перехідні типи чорноземів, а також звичайні та південні їх різновиди. Південна зона представлена темнокаштановими ґрунтами зі слабким проявом солонцюватості, тоді як у прибережній смузі переважають солонцюваті ґрунти [30, с.120].

В межах області чітко виділяються три основні ґрунтові підзони: малогумусні чорноземи (північні та південні), звичайні середньогумусні чорноземи і чорноземи перехідні від звичайних до південних (Рис. 3.3).

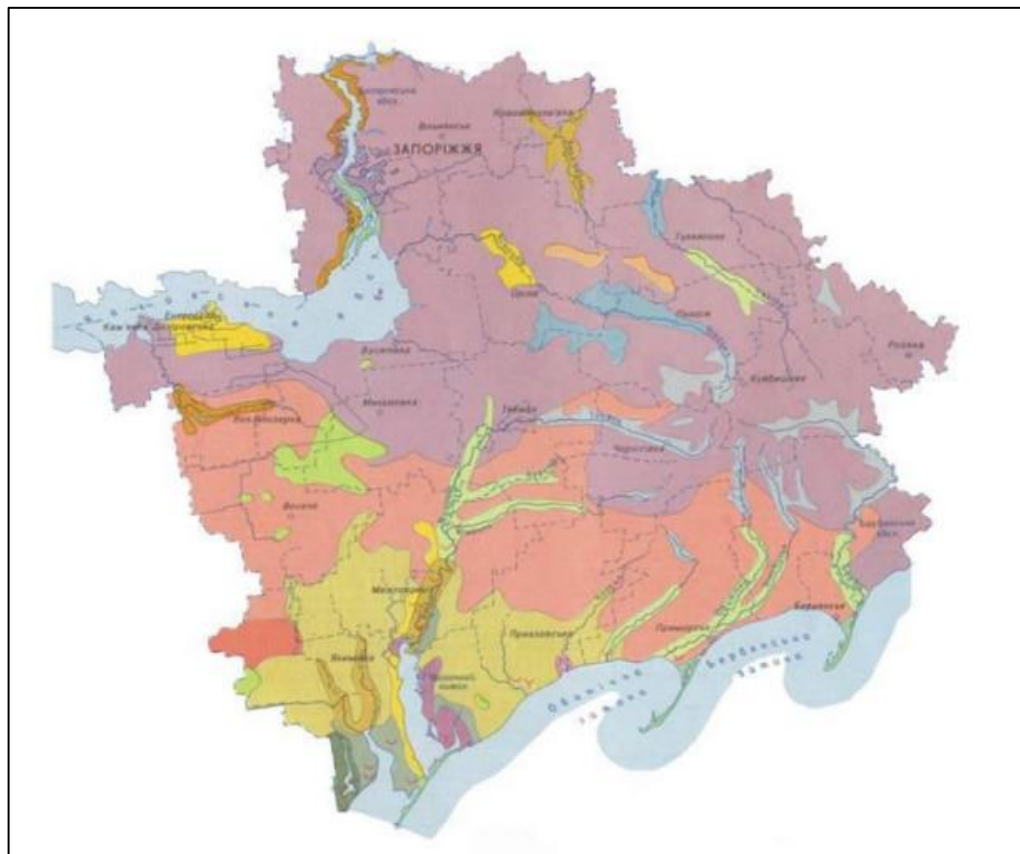


Рис. 4.3 Ґрунти Запорізької області [30, с.123]

4.2 Реалізація бази геоданих

Районом проведення робіт, який буде забезпечувати необхідну об'єктну матеріальну базу – набір свердловин, було обрано межі населеного пункту Велика Білозерка. У адміністративному-територіальному відношенні ділянка розташована на заході Запорізької області Василівського району, що межує з Херсонською областю, у степовій зоні, в межах Приазовсько-Причорноморської рівнини та знаходиться на березі річки Велика Білозерка, займає 0,47тис.км². Географічні координати селища – 47°16'2'' пн. ш. 34°42'36'' сх. д.

У якості інструментів для роботи із даними були обрані такі програмні продукти:

1. «Microsoft Excel» – як засіб для аналізу даних із використанням електронних таблиць та попередньої компоновки й обробки атрибутивної складової майбутньої бази геоданих.

2. «Microsoft Access» – як система управління базами даних.

3. «ArcGIS Desktop 10.5» – геоінформаційна система, яка виступає середовищем реалізації бази геоданих та спеціальним інструментарієм для інтеграції, подальшого експлуатування та функціонування й підтримки розробленої БГД за принципами, методами та алгоритмами впровадженими розробником.

4.2.1 Атрибутивна складова об'єкту

Параметричні атрибути, що були отримані внаслідок аналізу та відбору відповідно до географічних та гідрогеологічних особливостей обраної ділянки дослідження.

Обрані параметричні атрибути:

I.

1) Номер свердловини – кадастровий номер, який буде внесено до водного кадастру. Є унікальним ідентифікатором для свердловини.

2) Географічні координати свердловини.

3) Глибина свердловини.

4) Дата відбору проби вод.

5) Статичний рівень (R) – рівень води у свердловині у стані спокою.

6) Зниження(N) – зниження води у свердловині при відкачуванні води, м.

7) Дебіт (продуктивність свердловини) – кількість води, що видобувається із свердловини за певний час, м. куб/год.

II. Фізичні властивості вод

1) Інтенсивність запаху – показник якості води, який визначається органолептичним методом за допомогою нюху на підставі шкали сили запаху; встановлюється в холодному або гарячому стані; сила запаху вказується за 5-бальною шкалою:

0 – немає запаху;

1 – дуже слабкий запах;

2 – слабкий запах;

3 – виразний запах;

4 – сильний запах;

5 – дуже сильний запах.

2) Смак, бали

3) Кольоровість – показник якості води, виражений в одиницях кольоровості, тобто в градусах шкали (1° відповідає кольоровості, яку дає 1 мг солі Pt, розчиненої в 1 дм³ води). Кольоровість води викликається присутністю кольорових речовин, що потрапляють у воду разом зі стічними водами, органічними речовинами з ґрунту, сполуками заліза, колоїдами або цвітінням.

4) Прозорість – показник якості води, який визначається мутноміром Бейліса шляхом порівняння досліджуваної води з відповідним чином підготовленими зразками.

5) Окислюваність, мг/дм^3 – умовний показник якості води, що визначає вміст у воді речовин, що окислюються перманганатом калію KMnO_4 .

III. Якісні реакції, мг/дм^3

1) рН – виражає ступінь кислотності або лужності води і кількісно визначається концентрацією іонів водню. Визначення рН виконується колориметричним або електрометричним методом. Вода з низькою реакцією рН відрізняється корозійністю, вода з високою реакцією рН виявляє схильність до піноутворення.

2) NH_4 – наявність хлоридів у воді може бути викликано вимиванням ґрунтовими водами покладів хлоридів. Нітрити виникають, головним чином, внаслідок окислення аміаку в воді, можуть також проникати разом з дощовою водою внаслідок розчинення нітратів ґрунту.

3) NO_2 – це продукт біохімічного окислення аміаку і нітритів.

4) Fe – присутність іонів заліза. Вміст заліза у воді може викликати розвиток марганцевих залізобактерій, розмноження яких може бути причиною зношування водопровідних мереж та наносити шкоду технологічним процесам.

IV. Жорсткість, ммоль/дм^3

1) Загальна – властивість, викликана наявністю розчинених у воді речовин = в основному солей кальцію і магнію.

2) Карбонатна – викликана наявністю розчинених у воді хлоридів, сульфатів і силікатів кальцію і магнію (не розчиняються і не випадають в осад із розчиненого стану при нагріванні води).

V. SiO_2 , мг/дм^3 – Диоксид кремнію може бути присутнім у воді як результат різних процесів, таких як ерозія ґрунту, розчинення кремнезему з водорозчинних мінералів чи присутність кремнієвих сполук у ґрунтових водах.

VI. Сухий залишок, мг/дм^3 – залишок після випаровування води, висушений при температурі 105°C і перерахований на 1 дм^3 води. Складається з усіх постійних, розчинених і суспендованих речовин у воді.

VII. Мінералізація, мг/дм^3 – вказує на кількість розчинених мінеральних солей у воді.

VIII. Катіони – Катіони води, такі як Ca (кальцій), Mg (магній), K (калій) та Na (натрій), є основними мінеральними компонентами, які можуть бути присутні у воді свердловини. Подані у відсотковому співвідношенні.

1) Ca, Mg – Кальцій (Ca) і магній (Mg) є двома з найбільш поширених катіонів у воді. Вони можуть мати великий вплив на твердість води та можуть бути факторами утворення вапняних та магнезійних відкладень.

2) K + Na – Калій (K) та натрій (Na) також можуть бути присутні в воді, часто разом. Ці катіони є важливими для підтримки електролітного балансу в організмах тварин та людей, а також для регуляції рівня рН води.

IX. Аніони – HCO_3 (гідрокарбонат), Cl (хлорид), SO_4 (сульфат), CO_3 (карбонат) та NO_3 (нітрат). Подані у відсотковому співвідношенні.

1) HCO_3 – У воді гідрокарбонати можуть бути результатом деяких хімічних реакцій, таких як реакція вуглекислого газу з водою. Вони можуть впливати на рівень рН води та зворотної осмосу.

2) Cl – солі хлору можуть бути присутні у воді через різноманітні джерела, включаючи забруднення води, морську воду або застосування хлоридних солей у сільському господарстві або промисловості.

3) SO_4 – солі сірки можуть бути присутні у воді як результат різних геохімічних та антропогенних процесів, таких як розчинення мінералів, забруднення води або викиди промислових стоків.

4) CO_3 – солі вуглецю можуть бути присутні у воді як результат різних геохімічних процесів або від впливу людської діяльності.

5) NO_3 – солі азоту та кисню можуть бути присутні у воді як результат природних процесів (наприклад, використанням азоту рослинами) або внаслідок антропогенних дій, таких як використання мінеральних добрив або стічних вод.

X. Тип води – тип води за хімічним складом (переважний тип солей). С – сульфатні. Х – хлоридні. Г – гідрокарбонатні. Наприклад, сульфатно-хлоридні (СХ).

4.2.2 Моделювання та «візуалізація» бази геоданих свердловин

Формування вихідних параметричних даних подано в додатку А.

Формування електронних таблиць для попередньої обробки даних в «Microsoft Excel» (Рис. 3.4).

1	sv_number	x	y	depth	sdate	stat_riven	znihn	debit	zapah	taste	color
2	757-в	47,28333333	34,71666667	50	21.03.2001	21,1	7,5	0,9	0	0	5
3	570-в	47,3	34,61666667	53	04.05.2001	37,0	2,0	0,6	0	0	5
4	567-в	47,28333333	34,61666667	50	03.06.2001	16,0	22,0	1,4	0	0	5
5	542-в	47,26666667	34,66666667	37	01.07.2002	34,0		0,5	0	0	5
6	541-в	47,26666667	34,73333333	50	13.11.2002	35,0		0,6	0	0	5
7	532-в	47,28333333	34,75	72	02.09.2002	29,0		1,1	0	0	5
8	536-в	47,28333333	34,66666667	50	23.04.2003	26,0		0,9	0	0	5
9	535-в	47,3	34,78333333	53	16.04.2003	24,0		9,5	0	0	5
10	534-в	47,3	34,76666667	53	02.08.2001	34,0		9,6	0	0	5

Рис. 4.4. Фрагмент електронної таблиці «Microsoft Excel».

Наступні етапи виконання завдання виконані в середовищі «ArcGIS Desktop 10.5».

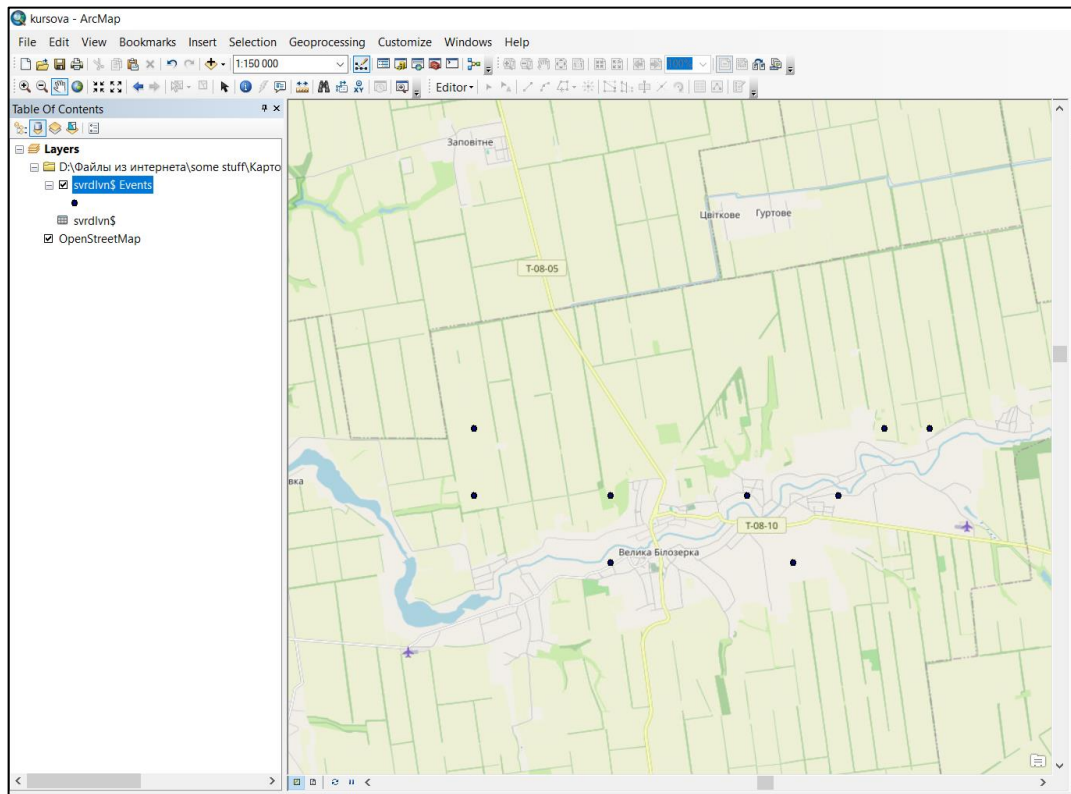


Рис. 4.5. Внесення електронної таблиці в середовище ГІС

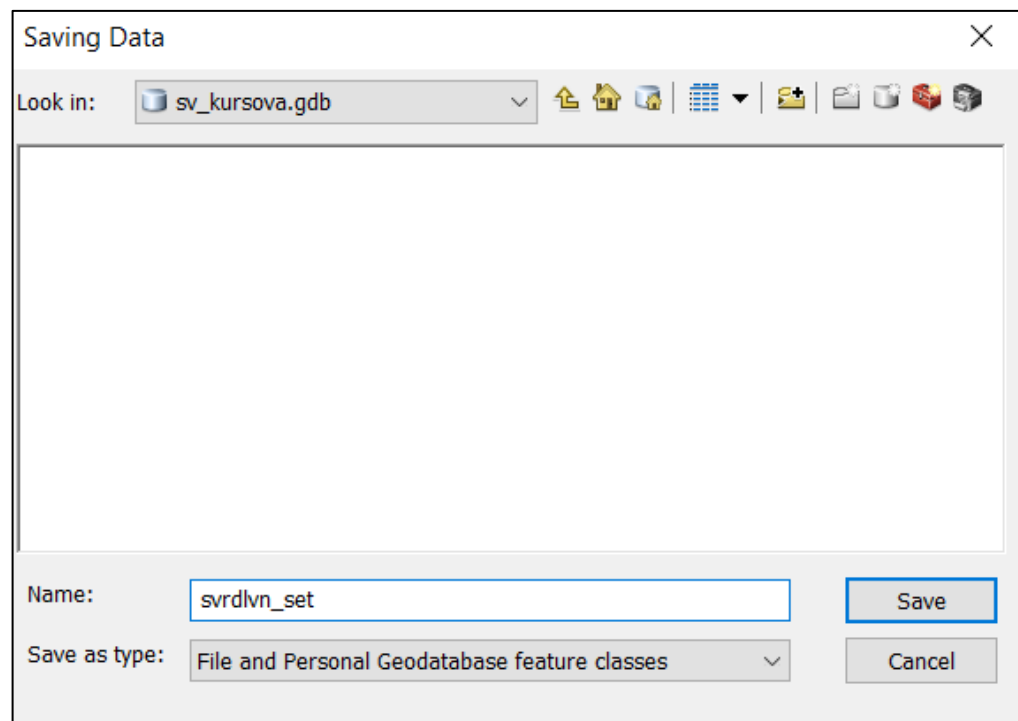


Рис. 4.6 Експорт даних в базу даних

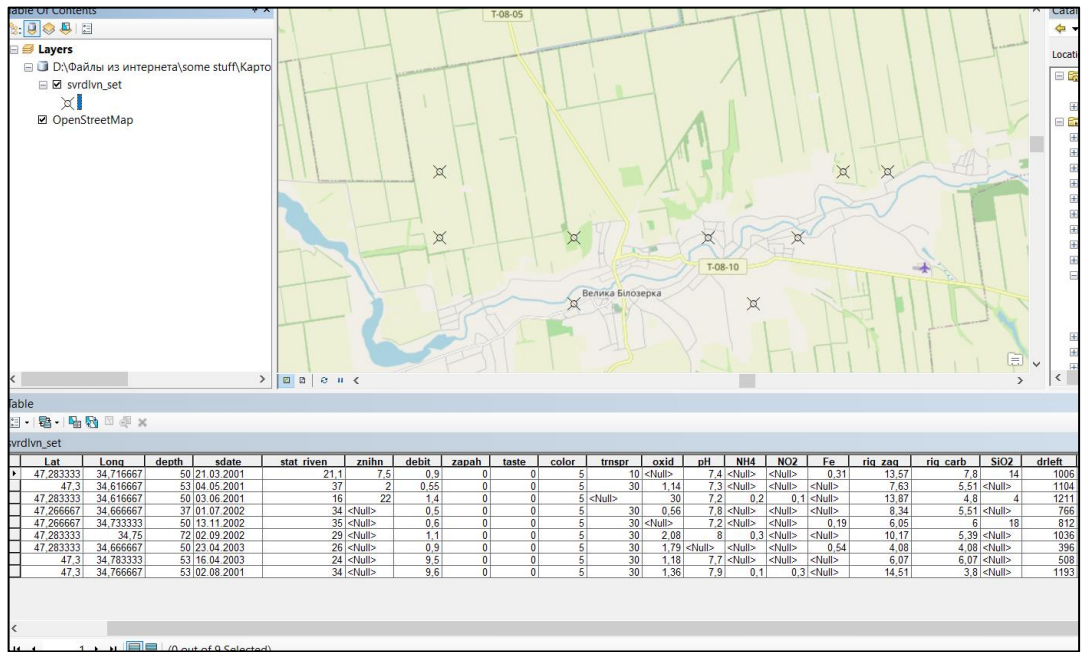


Рис. 4.7 Візуалізація вмісту бази даних

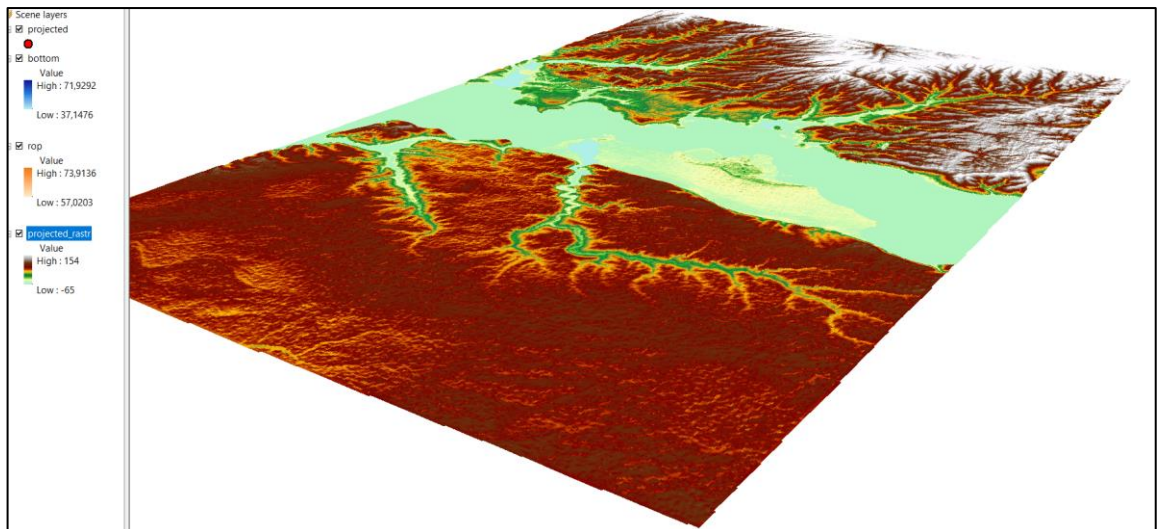


Рис. 4.8 Побудована ЦМР

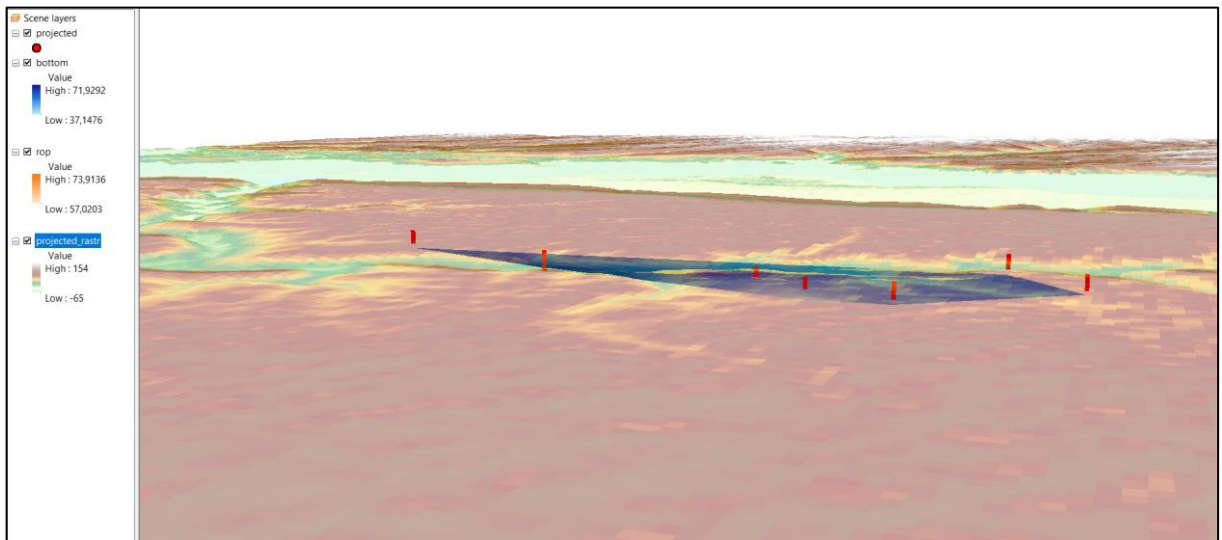


Рис. 4.8а Ділянка пробуру свердловин та змодельований водоносний горизонт

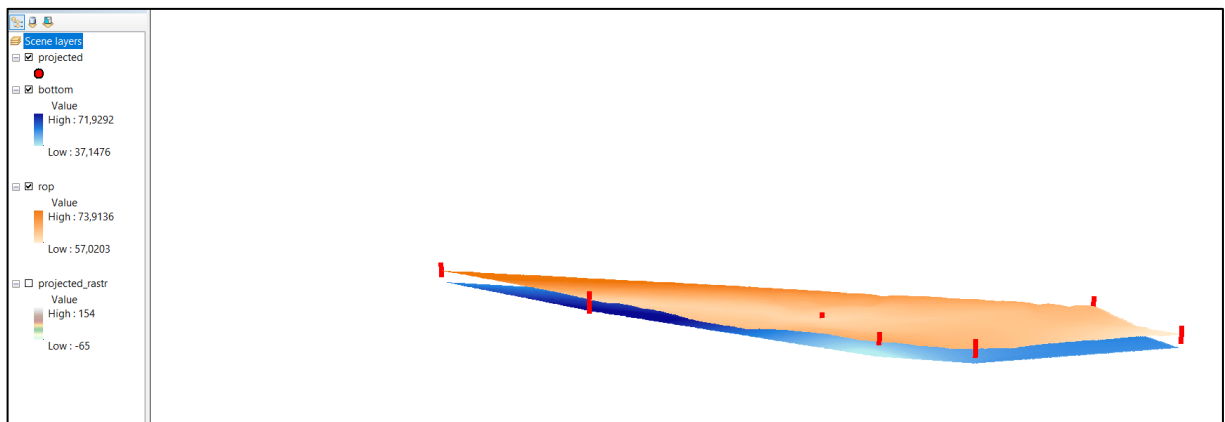


Рис. 4.8б Ділянка пробуру свердловин та змодельований водоносний горизонт

4.3 Атрибутивна складова зон підтоплень

Моніторинг ґрунтових вод щодо підтоплення територій

Загальні параметри

1. Найменування (реєстраційний номер) ділянки спостережень (територій спостережень)

2. Категорія територій, ступінь техногенного навантаження: селитебні території (щільність забудови), промислові, сільсько-господарські угіддя, природні території.

3. Визначення території, як геоморфологічного елементу або його частини (рівнина, долина, надзаплавна тераса та інш.)

4. Контури та площа ураження території, рівень дії (локальний, місцевий, регіональний).

5. Характер та походження підтоплення: постійне, періодичне (сезонне), тимчасове, короткочасне катастрофічне; природного походження, техногенне, природно-техногенне.

6. Режимно-спостережна мережа: номери та місцезнаходження режимно-спостережних точок (у тому числі, абсолютні відмітки гирла), обладнаних на першій від поверхні горизонт (свердловини, колодязі, шурфи, витоки ґрунтових вод на поверхні, а також водомірних пунктів на наявних водних об'єктах); номери та місцезнаходження (+ абс. відм.) контрольних пунктів-реперів на місцевості

7. Найменування (геологічний індекс) першого від поверхні водоносного горизонту.

Основні параметри

8. Глибина залягання рівня ґрунтових вод – РГВ (абсолютні відмітки) – за встановленим графіком спостережень.

9. Амплітуда коливань РГВ (за даними спостережень, за сезонами року тощо)

10. Потужність зони аерації по площі (абс. відм., м)

11. Вектор напрямку руху ґрунтових вод (ґрунтового потоку) з виділенням зон живлення та зон розвантаження ґрунтових вод.

12. Хімічний склад ґрунтових вод, ступінь агресивності до будівельних матеріалів.

Додаткові параметри

13. Основні джерела живлення ґрунтових вод: природні – атмосферні опади, розвантаження та підпір збоку природних водойм; техногенні – витоки з комунікаційних мереж, підпір збоку штучних каналів та інш.

14. Наявність в межах території систем та споруд інженерного захисту території від підтоплення, їх коротка характеристика (площинні системи – дрени та інші; системи вертикального дренажу – свердловини, колодязі та інші).

15. Наявність потенційних джерел забруднення ґрунтових вод під час підтоплення.

16. Присутність на території інших ЕГП (зсуви, обвали, карстові явища, суфозія, активізованих під впливом підтоплення таких, що ускладнюють екологічну ситуацію.

17. Щільність та розвиненість орогідрографічної мережі (контури та інш.).

18. Коефіцієнт фільтрації порід, швидкість фільтрації ґрунтових вод: у горизонтальному напрямку, у вертикальному напрямку.

Моніторинг поверхневих водних об'єктів щодо підтоплення суміжних територій

Основні параметри

- Найменування та категорії водного об'єкту або ділянки спостережень (річка, лиман, водосховище, море, озеро, став)

- Загальна площа об'єкту (водне дзеркало)

- Глибина водойми: мінімальна, максимальна

- Номера та місце розташування спостережних водомірних пунктів, режим спостережень

- Номера та місце розташування спостережних контрольних берегових створів, режим спостережень

- Мінімальне річне значення рівня водойми (межень, абс. відм.)

- Максимальне річне значення рівня водойми (межень, абс. відм.)

- Середнє значення рівня по сезонах року (абс. відм.)

- Абс. відм. рівня – за встановленням графіком спостережень (1 раз на добу, 1 раз в місяць та інш.)

- Амплітуда коливань рівня (добова, щомісячна, за сезонами року)

- Абс. відм. рельєфу по берегових контрольних створах за встановленим графіком спостережень

Додаткові параметри

- Наявність гідротехнічних споруд на водному об'єкті у зоні впливу (стосовно ділянки спостережень) – дамби, пропускні шлюзи, ГЕС та інш.

- Хімічний склад поверхневих вод (основні показники + каламутність, кількість завислих речовин тощо)

- Кліматичні фактори

- Середньорічний індекс випарування

- Середньорічна кількість опадів

- Кількість опадів за сезонами року

- Вітровий режим: змінно-нагінні явища за напрямками вітру

- Наявні інші ЕГП (екзогенні геологічні процеси), які впливають або можуть вплинути на ступінь підтоплення території ділянки спостережень.

4.3.1 Моделювання (визначення) зони ймовірних підтоплень

Середовищем моделювання виступає «ArcGIS Desktop 10.5». Основними вхідними даними було визначено такі параметри: рельєф, віддаленість від річкової мережі, віддаленість від дорожньої мережі, рослинний покрив території, кількість опадів, «щільність» дренажу (Drainage density) [33]. Дані щодо визначених категорій отримано з джерел із відкритим доступом, які відповідають окресленим параметрам.

Як основні засоби обробки та моделювання – використано наявний інструментарій геоінформаційної системи, а саме: інструменти гідрологічного моделювання та аналізу растрової складової.

З гідрологічного набору застосовано «Fill», «Flow Accumulation», «Flow Direction», «Stream Order», «Stream to Feature». Іншим інструментами аналізу стали методи визначення евклідової відстані, класифікації, рекласифікації, калькуляції та «зваження» растрових датасетів.

«Fill». Заповнює западини в растровій поверхні, щоб видалити невеликі недоліки в даних [33].

«Flow Accumulation». Створює растр накопиченого потоку в кожному комірку [33].

«Flow Direction». Створює растр напрямку потоку від кожної комірки до її сусідньої комірки вниз по схилу [33].

«Stream Order». Призначає числовий порядок сегментам растра, що представляють гілки лінійної мережі [33].

Завершальним етапом моделювання є використання «Weighted Overlay» [34] для «зіставлення» обраних критеріїв зі створенням відповідної поверхні, яка задовольняє «наявність» зон придатності, які відображають ділянки ймовірних підтоплень.

Попередньо виділена ділянка дослідження зони ймовірних підтоплень була окреслена, спираючись на результати проведеної роботи по свердловинам (які, для наочності, залишилися винесені в плані). Відповідні межі було побудовано, використавши площинний шейп-файл, який охоплює визначену територію.

Загальна етапність проведених робіт:

Завантаження цифрової моделі рельєфу (далі ЦМР), створення елеваційної та схилової моделі. Перехід до гідрологічної складової: створення моделі «щільності» дренажу території шляхом обробки ЦМР інструментами «Fill», «Flow

Accumulation», «Flow Direction», «Stream Order», «Stream to Feature» та «Line density».

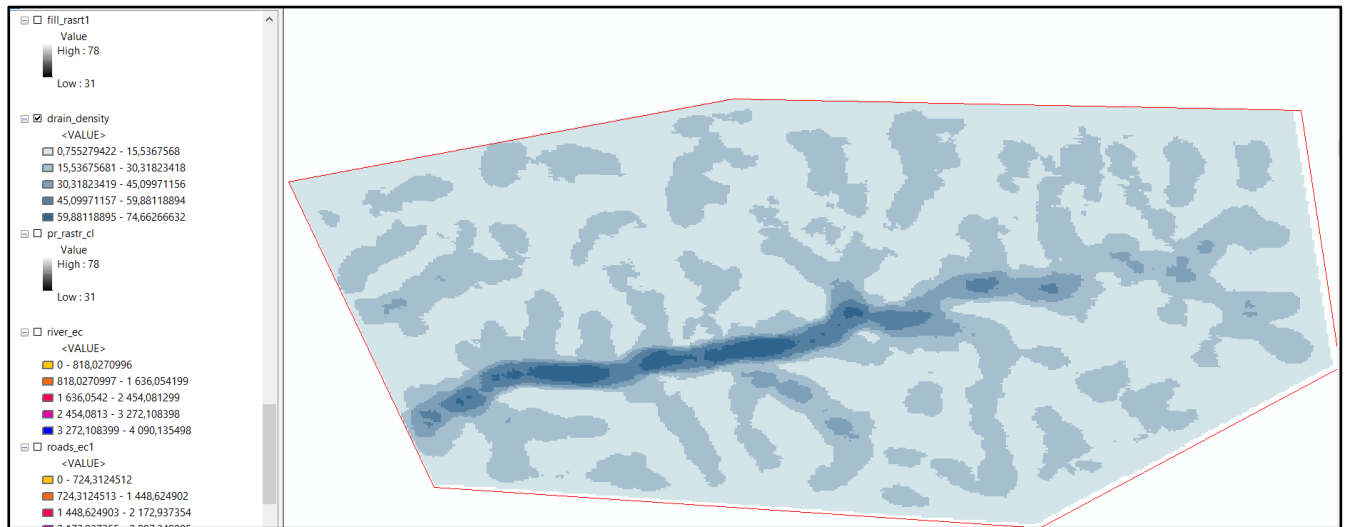


Рис. 4.9 Створений «Drainage density»

Створення поверхні NDVI (супутникові знімки взяті за березень 2024) шляхом обробки доступних каналів за формулою $NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4)$ [35].

Створення поверхні опадів (дані взяті за березень 2024).

Обрахування відстаней від водних об'єктів та доріг.

«Компіляція» побудованих поверхонь за допомогою «Weighted overlay».

Градація «схильності» зони до ймовірного підтоплення виконана за 4-ма класами.

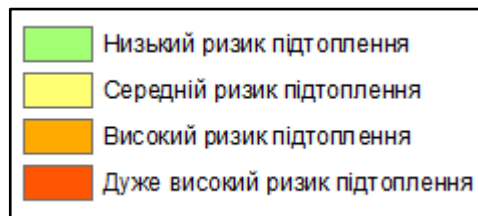


Рис. 4.10 Класифікація зон ймовірних підтоплень

Відсоткове співвідношення обраних параметрів в «Weighted overlay»:

Відстань до водних об'єктів – 20.

Нахил поверхні – 20.

Елевація – 20.

«Щільність» дренажу – 10.

Опади – 15.

Відстань до дорожньої мережі – 10.

NDVI – 5.

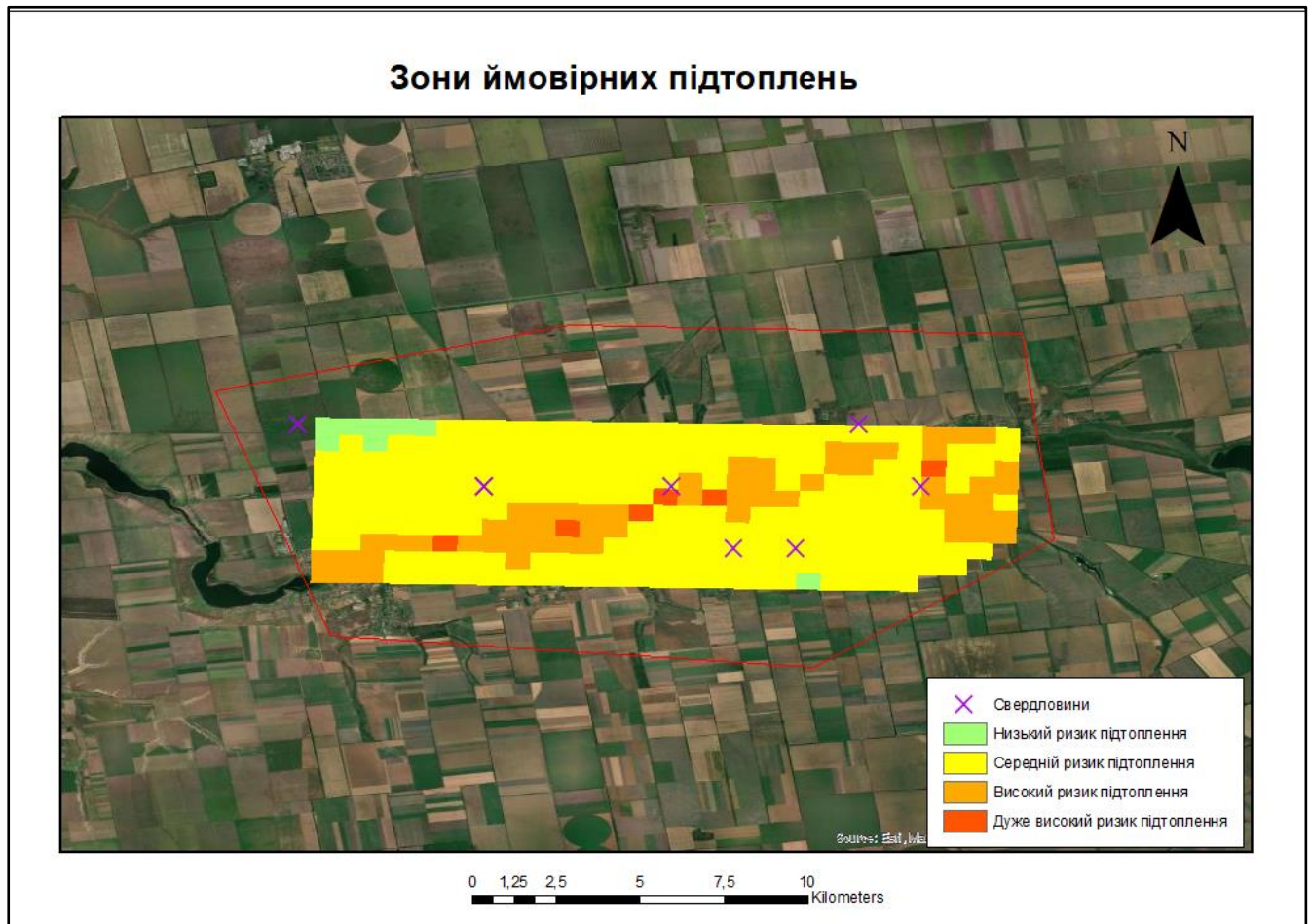


Рис. 4.11а Змодельовані зони ймовірних підтоплень

Введення додаткового параметра.

Створення поверхні TWI (Topographic wetness index) [36], що зазвичай використовують для кількісної оцінки топографічного контролю над гідрологічними процесами. Загальна формула $TWI = \ln \frac{\alpha}{\tan b}$, де α – локальна площа висхідного схилу, що дронується через певну точку на одиницю довжини контуру, а $\tan b$ – локальний ухил у радіанах.

Відсоткове співвідношення обраних параметрів в «Weighted overlay»:

Відстань до водних об'єктів – 20.

Нахил поверхні – 15.

Елевація – 15.

«Щільність» дренажу – 10.

Опади – 15.

Відстань до дорожньої мережі – 10.

NDVI – 5.

TWI – 10

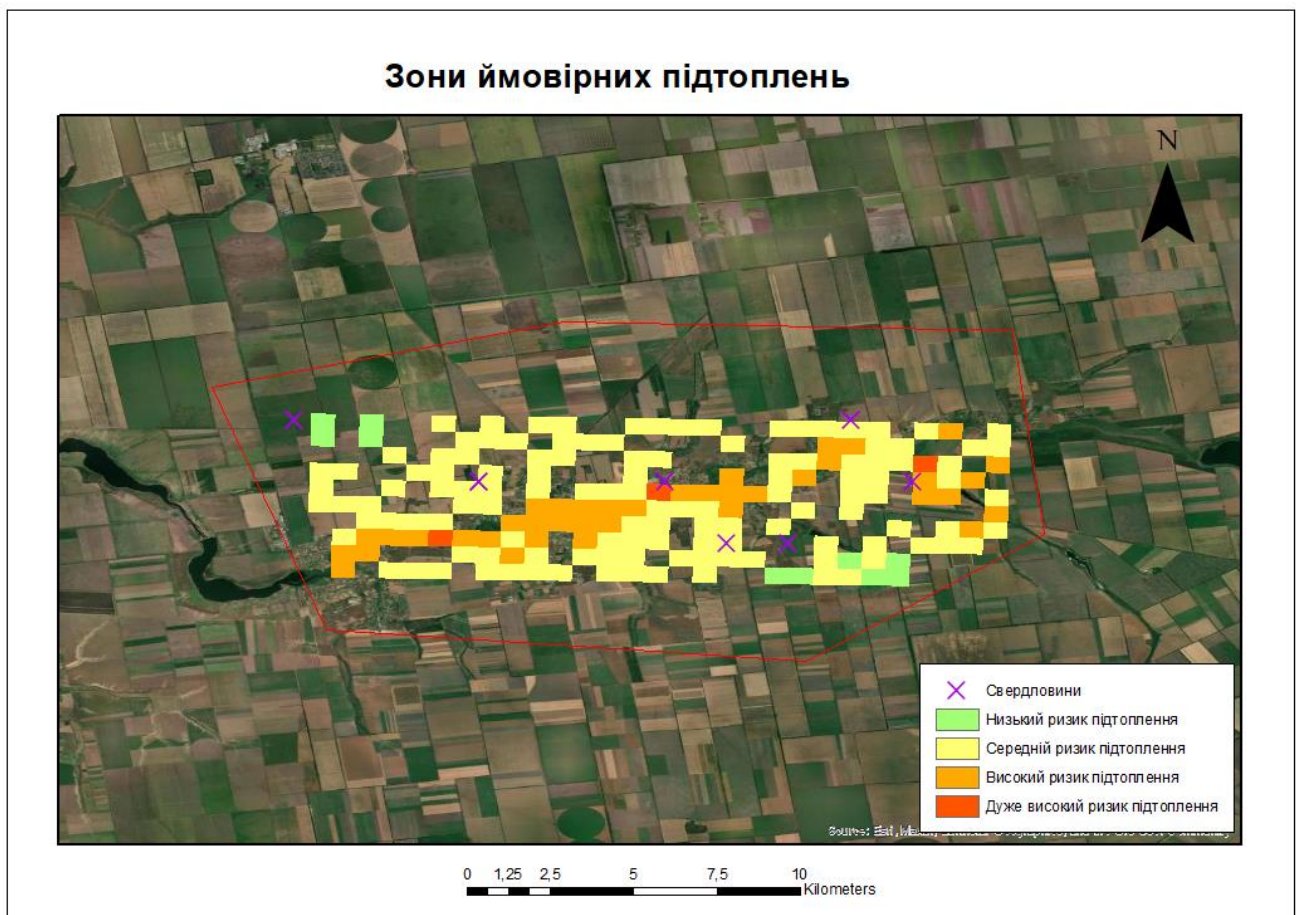


Рис. 4.11б Змодельовані зони ймовірних підтоплень

Отже, результатами моделювання є два растра «придатності», що репрезентують зони ймовірних підтоплень обраної території та класифіковані в градації від найменш ймовірної до найбільшої.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було проведено дослідження сутності та організації інформації, що була отримана в результаті гідрогеологічних досліджень, і її інтеграції в сучасні системи аналізу, обробки, зберігання та візуалізації геопросторової інформації.

Особлива увага приділена найбільш поширеним типам баз даних в ГІС. Було розглянуто особливості ОРБД, гібридної та об'єктно-орієнтованих баз даних, їх недоліки та переваги перед іншими типами баз даних, такі як більш висока гнучкість та масштабованість. Також було розглянуто СКБД, які є програмним забезпеченням для управління базами даних. Було висвітлено особливості СКБД, які забезпечують ефективне збереження та обробку геоданих.

Структура бази даних об'єктів гідрогеологічних досліджень є ключовим елементом для забезпечення доступу до надійної та актуальної інформації про водні ресурси. Вона має включати ретельно обрані параметри та показники, що відображають основні аспекти гідрогеологічної інформації, такі як глибина свердловин, характеристики води, географічні координати тощо.

Одним із головних етапів аналітично-описової складової роботи стало дослідження окремої ОТГ (її обраної території) Запорізької області в контексті гідрогеологічної сфери, що забезпечила подальше формування моделі структури бази даних.

Під час виконання поставлених задач була спроектована узагальнена модель структури бази даних, яка, у разі необхідності (вирішення конкретного прикладного завдання), може бути редукована та/або адаптована під відповідні потреби та вимоги спеціалістів.

Модель попередньо спроектованої структури бази геоданих була використана для побудови БГД, що функціонально забезпечує зберігання, керування та обробку даних свердловин в адміністративно-територіальних межах селища Велика Білозерка Василівського району Запорізької області.

Результатами дослідження є спроектована та побудована модель структури та бази геоданих геоінформаційних систем конкретного прикладного-практичного поля та описово-аналітичний матеріал, який слугує підґрунтям для вже розроблених та майбутніх БГД. Виконано моделювання зон ймовірних підтоплень із представленням відповідних матеріалів, що у своїй основі побудовані за «відібраними» параметричними атрибутами.

За результатами роботи вбачаємо перспективним (у контексті продовження наукового дослідження в даному напрямку) подальший аналіз розроблених моделей структур а середовищі ArcGIS з додатковим введенням доменної частини та інструментів моделювання динаміки потоків підземних вод, та наступну інтеграцію спеціалізовані програмні продукти HEC-RAS, HEC-HMS, MODFLOW для виконання порівняльного аналізу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення. Київ : Держстандарт України, 2016.
2. Biliaiev M. M., Kozachyna V. V. MODELING OF GROUNDWATER HYDRODYNAMICS IN FLOODED AREAS. Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture. 2025. № 2 (014). С. 36–41.
3. Гопченко Є. Д., Шакірзанова Ж. Р., Овчарук В. А. Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках та прогнозах: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2015. 195с.
4. Davybida L., Karpinskyi B. Geoinformation analysis and modelling groundwater conditions within the Ivano-Frankivsk region (Ukraine). 18th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, м. Kyiv, Ukraine,. 2019. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902086> (дата звернення: 16.05.2025).
5. GIS analysis of the hydrogeological conditions as the factor of the development and activation of landslide processes (by the example of Ivano-Frankivsk region) / L. Davybida та ін. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2020», м. Lviv, Ukraine,. 2020. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20205754> (дата звернення: 16.05.2025).
6. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2013. — Т. 1 : С — Я. — 644 с.
7. Проектування водозабору | Aquatoria. Aquatoria. URL: <https://aquatoria.kiev.ua/blog/burinnia-sverdlovyn/1374-proektuvannia-vodozaboru> (дата звернення: 16.05.2025).
8. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2013. — Т. 3 : С — Я. — 644 с.
9. Свердловини у водогосподарському будівництві: навч. посіб. / М. П. Босак, О. Г. Гвоздецький ; Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Львів: Вид-во Львів.

політехніки, 2016. — 159 с. : іл., табл., портр. — Присвяч. 200-річчю Нац. ун-ту «Львів. політехніка». — Бібліогр.: с. 157 (10 назв).

10. ДБН В 1.1-25:2009 "Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення" №ДБН В 1.1-25:2009. Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074293124562945479?doc_type=2 (дата звернення: 16.05.2025).

11. Географічні карти та картографічний метод дослідження (1 том — Географічні карти) (2 том — Картографічний метод дослідження) / Т. В. Дудун, С. В. Тітова.// упоряд. С. В. Тітова. – К., 2017. – 150 с.

12. Baalousha H (2008) Fundamentals of groundwater modelling. In: Konig LF, Weiss JL (eds) Groundwater: modelling, management and contamination. Nova Science Publishers, Inc.: New York, С. 113–130; ISBN 9781604568325

13. Гідрогеологічне моделювання О.Є.Кошляков Гідрогеологічне моделювання : Підручник.- К.: ВПЦ “Київський університет”, 2003. – 113 с.

14. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. Elsevier Science & Technology Books, 2015. 602 с.

15. Гопченко Є. Д., Шакірманова Ж. Р., Овчарук В. А. Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках та прогнозах: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2015. 195с.

16. Flood Modeling and Groundwater Flooding in Urbanized Reclamation Areas: The Case of Rome (Italy) / С. Р. Mancini та ін. Water. 2020. Т. 12, № 7. С. 2030.

17. Асланикашвили А.Ф. Метакартография. Основные проблемы. – Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 126 с.

18. Bear J. Fundamentals of ground-water modeling. Ada, Okla : Superfund Technology Support Center for Ground Water, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, 1992. 11 с.

19. DeMers M. N. Fundamentals of Geographic Information Systems / Michael N. DeMers. – [S. 1.] : Wiley & Sons, Incorporated, John, 2008.

20. Goodchild M. F. Geographical information science [Електронний ресурс] / Michael F. Goodchild // International journal of geographical information systems. – 1992. – Т. 6, № 1. – С. 31–45. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>.

21. Analysis N. C. f. G. I. a. NCGIA core curriculum. / National Center for Geographic Information and Analysis. – California : National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, 1990.

22. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: [навч. посібник] / В. Д. Шипулін. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 313 с.

23. What is GIS? | Geographic Information System Mapping Technology [Електронний ресурс] // GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics | Esri. – Режим доступу: <http://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview> (дата звернення: 06.04.2025).

24. Геоінформаційні системи : навчальний посібник / Л. А. Павленко. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 260 с.

25. Берко А. Ю. Організація баз даних: практичний курс: Навч. посіб. для студ. / А. Ю. Берко, О. М. Верес. – Л. : Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2003. – 149с.

26. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин. : НДУ ім. М. Го-голя, 2014. 492с.

27. Reznichenko V. A. 60 Years of Databases [Електронний ресурс] / V. A. Reznichenko // PROBLEMS IN PROGRAMMING. – 2021. – № 3. – С. 040–071. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/pp2021.03.040> (дата звернення: 06.04.2025).

28. Silberschatz A. Database Systems Concepts / Abraham Silberschatz, S. Sudarshan, Henry F. Korth. – 5th ed. – [S. l.]: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2005. – 1168 p.

29. Іванова В.М. Непша О.В., Гідрогеологічні умови формування ресурсів підземних вод Запорізької області // Меліорація та водокористування – екологічна безпека водних об'єктів: матеріали наук.-прак. конф. Мелітополь, 2018. С.59-62.

30. Фізична географія Запорізької області: Хрестоматія / Відп. ред. Л.М. Даценко. – Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – 200 с.

31. Непша О.В. Гідрогеологічна характеристика територій Мелітопольського, Михайлівського та Токмацького районів Запорізької області/О.В. Непша, І.Л. Князькова// Регіональні проблеми розвитку приморських територій: теорія і практика// Збірник наукових праць. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. – Мелітополь, 2014. – С.32-37.

32. Horton R. E. Drainage-basin characteristics. Transactions, American Geophysical Union. 1932. Т. 13, №. 1. С. 350 – 361. URL: <https://doi.org/10.1029/tr013i001p00350>

33. An overview of the Hydrology toolset–ArcMap | Documentation. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm> (дата звернення: 31.05.2025).

34. Weighted Overlay (Spatial Analyst)–ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/weighted-overlay.htm> (дата звернення: 31.05.2025).

35. Landsat Normalized Difference Vegetation Index. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index> (дата звернення: 28.05.2025).

36. Sørensen R., Zinko U., Seibert J. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. Hydrology and Earth

System Sciences. 2006. T. 10, № 1. C. 101–112. URL: <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>

ДОДАТКИ

Додаток А

Номер рядка	Номер свердловини	Глибина свердловини	Дата відбору проби води	Фізичні властивості				Окислюваність води, мг/дм ³	рН	Якісні реакції, мг/дм ³			Жорсткість, ммоль/дм ³		SiO ₂ , мг/дм ³	запишок, мг/дм ³	Мінералізація, мг/дм ³	Одиниця виміру	Катіони			Аніони					Тип води
				Інтенсивність запаху, бали	Смак, бали	Кольоровість, градуси	Прозорість, см			NH ₄	NO ₂	Fe загальне	загальна	карбонатна					Ca	Mg	K + Na	НСО ₃	Cl	SO ₄	CO ₃	NO ₃	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	195 2-ре	50	21.03.0 1.	0	0	5	10	н.в.	7,4	н.в.	н.в.	0,31	13,5 7	7,80	14	100 6	917	мг/дм ³	183	54	64	476	92	286	н.в.	н.в.	СГМК
																		мг-екв/дм ³	9,13	4,44	2,78	7,80	2,59	5,95	н.в.	н.в.	
																		%-екв.	55,8	27,2	17,0	47,7	15,9	36,4	н.в.	н.в.	
2	196 8-ре	53	04.05.0 1.	0	0	5	30	1,14	7,3	н.в.	н.в.	відс.	7,63	5,51		110 4	102 3	мг/дм ³	64	54	222	336	142	373	н.в.	н.в.	ГСМН
																		мг-екв/дм ³	3,19	4,44	9,65	5,51	4,00	7,76			
																		%-екв.	18,5	25,7	55,8	31,9	23,2	44,9	н.в.	н.в.	
3	196 9-ре	50	03.06.0 1.	0	0	5	н.в.	30	7,2	0,2	0,1	відс.	13,8 7	4,80	4	121 1	119 5	мг/дм ³	128	91	143	293	99	587	н.в.	16	СНКМ
																		мг-екв/дм ³	6,39	7,48	6,22	4,80	2,79	12,21	н.в.	0,26	
																		%-екв.	31,8	37,3	31,0	23,9	13,9	60,9	н.в.	1,3	
4	937- В	37	01.07.0 2.	0	0	5	30	0,56	7,8	н.в.	н.в.	відс.	8,34	5,51		766	762	мг/дм ³	70	59	119	336	96	250	н.в.	н.в.	СГКМ Н
																		мг-екв/дм ³	3,49	4,85	5,17	5,51	2,71	5,20			
																		%-екв.	25,8	35,9	38,3	41,1	20,2	38,8	н.в.	н.в.	

5	939-В	50	13.11.0 2.	0	0	5	30	н.в.	7,2	н.в.	н.в.	0,19	6,05	6,00	18	812	803	мг/дм ³	47	45	189	366	164	175	н.в.	н.в.	СХГМ Н
																		мг- екв/дм ³	2,35	3,70	8,22	6,00	4,63	3,64			
																		%-екв.	16,4	25,9	57,6	42,1	32,4	25,5	н.в.	н.в.	
6	944-В	72	02.09.0 2.	0	0	5	30	2,08	8	0,3	н.в.	н.в.	10,1 7	5,39		103 6	101 5	мг/дм ³	100	63	167	329	110	410	10	н.в.	ГСКМ Н
																		мг- екв/дм ³	4,99	5,18	7,26	5,39	3,10	8,53	0,33		
																		%-екв.	28,6	29,7	41,7	31,1	17,9	49,1	1,9	н.в.	
7	953-В	50	23.04.0 3.	0	0	5	30	1,79	н.в.	н.в.	н.в.	0,54	4,08	4,08		396	382	мг/дм ³	62	12	70	311	41	41	н.в.	н.в.	ГНК
																		мг- екв/дм ³	3,09	0,99	3,04	5,10	1,16	0,85			
																		%-екв.	43,4	13,9	42,7	71,7	16,3	12,0	н.в.	н.в.	
8	952-В	53	16.04.0 3.	0	0	5	30	1,18	7,7	н.в.	н.в.	н.в.	6,07	6,07		508	497	мг/дм ³	82	24	75	372	69	61	н.в.	н.в.	ГНК
																		мг- екв/дм ³	4,09	1,97	3,26	6,10	1,95	1,27			
																		%-екв.	43,9	21,2	35,0	65,5	20,9	13,6	н.в.	н.в.	
9	197 1-ре	53	02.08.0 1.	0	0	5	30	1,36	7,9	0,1	0,3	відс.	14,5 1	3,80		119 3	118 2	мг/дм ³	210	49	146	232	364	297	н.в.	314	ХНК
																		мг- екв/дм ³	10,48	4,03	6,35	3,80	10,27	6,18	н.в.	5,06	
																		%-екв.	50,2	19,3	30,4	15,0	40,6	24,4	н.в.	20,0	