

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

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
магістра  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)  
на тему

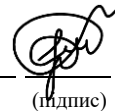
*Ідентифікація антропогенного впливу на підземні води міських і  
сільських територій із використанням стабільних ізотопів*

Виконала: студентка 2 курсу, групи МЕко 2024-1  
спеціальності 101 Екологія

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

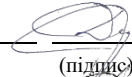
Білецька М.І.

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

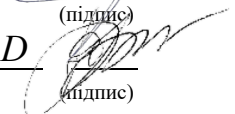
Керівник к.т.н., доц. Дядін Д.В.

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Рецензент Виставна Ю.Ю., PhD

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

м. Харків – 2025 рік

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

Інститут, факультет ІНІ будівництва, землеустрою та цивільної інженерії

Кафедра інженерної екології міст

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузь знань 10 Природничі науки

(шифр і назва)

Спеціальність 101 Екологія

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

канд. техн. наук, доц. Дядін Д. В.

“ \_\_\_ ”

2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**на кваліфікаційну роботу магістра**  
**студентки**

Білецька Маргарита Ігорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Ідентифікація антропогенного впливу на підземні води міських і сільських територій із використанням стабільних ізотопів

керівник проєкту (роботи) Дядін Д.В., канд. техн. наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом Університету від “02” жовтня 2025 року № 914-03.

2. Строк подання студентом проєкту (роботи): 15 грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) дані натурних гідрохімічних та ізотопних спостережень підземних і поверхневих вод; результати лабораторних аналізів стабільних ізотопів  $\delta^2\text{H}$  та  $\delta^{18}\text{O}$  і основних іонів; матеріали гідрогеологічних і кліматичних спостережень; нормативно-методична документація та наукові публікації з теми дослідження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) застосування методів ізотопної гідрології для аналізу антропогенного впливу на природні води; характеристика території досліджень; методи досліджень; ідентифікація антропогенних впливів на води міської та сільської території за ізотопними та гідрохімічними показниками; рекомендації та перспективи розвитку досліджень


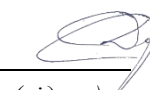
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація – 20 слайдів**6. Консультанти розділів проекту (роботи)**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			
5			

**7. Дата видачі завдання «04» листопада 2025****КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	04.10.25 – 07.10.25	
2.	Розділ 1. Застосування методів ізотопної гідрології для аналізу антропогенного впливу на природні води	08.10.25-16.10.25	
3.	Розділ 2. Характеристика території досліджень	17.10.25 – 25.10.25	
4.	Розділ 3. Вибір та опис методів дослідження	26.10.25 – 15.11.25	
5.	Розділ 4. Ідентифікація антропогенних впливів на води міської та сільської території за ізотопними та гідрохімічними показниками	16.11.25 – 25.11.25	
6.	Розділ 5. Рекомендації та перспективи розвитку досліджень	26.11.25 – 28.11.25	
7.	Висновки	29.11.25 – 30.11.25	
8.	Розробка презентаційного матеріалу	01.12.25 – 03.12.25	
9.	Підготовка кваліфікаційної роботи до захисту	04.12.25 – 05.12.25	

**Студентка**
  
 (підпис)
**Білецька М.І.**  
(прізвище та ініціали)**Керівник проекту (роботи)**
  
 (підпис)
**Дядін Д. В.**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 96 с., 8 табл., 21 рис., 2 дод., 57 джерела.

### ПІДЗЕМНІ ВОДИ, СТАБІЛЬНІ ІЗОТОПИ, ГІДРОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ, АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ, УРБАНІЗОВАНІ ТЕРИТОРІЇ, ВОДНІ РЕСУРСИ

Об'єкт дослідження – підземні та поверхневі води міської та сільської території.

Мета роботи – вивчення антропогенного впливу на підземні води міських і сільських територій із використанням стабільних ізотопів.

Розглянуто теоретичні засади застосування методів ізотопної гідрології для аналізу антропогенного впливу на природні води. Проаналізовано можливості використання стабільних ізотопів водню та кисню як індикаторів походження вод, умов їх формування та механізмів трансформації у природно-антропогенних системах. Обґрунтовано доцільність інтеграції ізотопних і гіdroхімічних методів для підвищення достовірності екологічних оцінок.

Наведено характеристику території досліджень Харківської області, зокрема кліматичних умов, геологічної будови, рельєфу, поверхневих і підземних вод, а також систем водокористування в межах м. Харків і сільських населених пунктів. Показано, що поєднання природних гідрогеологічних умов та різної інтенсивності антропогенного навантаження формує просторово неоднорідні умови водообміну й якості вод.

Описано методи досліджень, що включають формування мережі точок спостережень, методу відбору проб підземних і поверхневих вод, лабораторні ізотопні та гіdroхімічні аналізи, а також способи статистичної та просторової обробки результатів. Обґрунтовано репрезентативність вибірки та наукову коректність застосованих методів для подальшої інтерпретації отриманих даних.

За результатами ізотопно-гіdroхімічного аналізу ідентифіковано просторово диференційований характер антропогенного впливу на води міських і сільських територій. Встановлено, що для окремих міських джерел характерне переважно природне інфільтраційне живлення, тоді як для урбанізованих ділянок зафіксовано ознаки змішаного живлення та гідравлічного зв'язку з поверхневими водами. У сільській місцевості виявлено підвищені концентрації нітратів і більшу варіабельність гіdroхімічних показників, що свідчить про слабший природний захист неглибоких водоносних горизонтів.

Сформульовано рекомендації щодо використання ізотопно-гіdroхімічного підходу в системах моніторингу водних ресурсів, управління джерелами водопостачання та контролю якості вод у сільській місцевості. Визначено перспективи подальших досліджень, пов'язані з розширенням просторово-часової мережі спостережень і впровадженням результатів у регіональні програми екологічного контролю.

**ЗМІСТ**

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІЗОТОПНОЇ ГІДРОЛОГІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПРИРОДНІ ВОДИ .....	11
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
2.1 Кліматичні умови .....	23
2.2 Геологічна будова .....	26
2.3 Ландшафт і рельєф .....	28
2.4 Поверхневі води.....	31
2.5 Підземні води.....	35
2.6 Системи водокористування .....	40
2.6.1. Місто Харків.....	40
2.6.2. Територія с. Черкаський Бишкін Чугуївського району.....	43
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	46
3.1 Точки та ділянки досліджень .....	46
3.2 Методика відбирання проб.....	52
3.3 Методи лабораторних досліджень.....	54
РОЗДІЛ 4 ІДЕНТИФІКАЦІЯ АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ НА ВОДИ МІСЬКОЇ ТА СІЛЬСЬКОЇ ТЕРИТОРІЇ ЗА ІЗОТОПНИМИ ТА ГІДРОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ.....	58
РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ	79
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ: .....	89
ДОДАТКИ .....	97

## ВСТУП

*Актуальність теми.* У сучасних умовах активного розвитку промисловості, урбанізації та сільського господарства зростає масштаб і складність антропогенного впливу на підземні води, які є стратегічним природним ресурсом та основним джерелом питного водопостачання для більшості населення України. Погіршення якості підземних вод призводить до екологічної деградації ландшафтів, зниження рівня санітарно-гігієнічної безпеки, а також становить реальну загрозу здоров'ю населення. Особливої актуальності набуває дослідження підземних вод у межах міських і сільських територій, де поєднання промислових, комунально-побутових і аграрних факторів формує складну систему джерел техногенного навантаження. Несанкціоновані звалища, фільтрація неочищених стоків, надмірне використання добрив і пестицидів, витіки каналізаційних мереж сприяють зміні природного гідрохімічного складу вод і порушенню гідродинамічної рівноваги водоносних горизонтів. У цих умовах виникає нагальна потреба у створенні науково обґрунтованих методів контролю, які дозволяють достовірно виявляти, оцінювати та прогнозувати масштаби впливу людини на підземні води.

Одним із найбільш ефективних сучасних підходів до оцінки стану підземних вод є використання стабільних ізотопів, які виступають природними маркерами процесів формування, циркуляції та змішування водних мас. Ізотопний аналіз із застосуванням ізотопів водню ( $^2\text{H}$ ) та кисню ( $^{18}\text{O}$ ) дозволяє з високою точністю ідентифікувати джерела походження води, визначати співвідношення природних і техногенних компонентів, а також простежувати динаміку забруднення у просторі й часі. Цей метод забезпечує можливість відокремити антропогенний вплив від природних геохімічних процесів і сформувати об'єктивну картину водообміну в межах досліджуваної території. Використання стабільних ізотопів у комплексі з гідрохімічними й геоекологічними дослідженнями створює наукову основу для розроблення системи моніторингу, запобігання деградації водоносних горизонтів і

впровадження принципів сталого управління водними ресурсами як у міських, так і в сільських регіонах.

*Аналіз останніх досліджень.* Вивчення антропогенного впливу на підземні води та розроблення методів його ідентифікації посідають провідне місце в сучасних гідрологічних і геоекологічних дослідженнях. Поглиблення урбанізаційних процесів, розширення промислових зон і сільськогосподарське навантаження зумовлюють необхідність створення інструментів, що дозволяють відокремити природні зміни гідрохімічного складу від техногенних факторів. В останні десятиліття у світі активно впроваджуються ізотопні методи дослідження водних систем, які надають можливість достовірної оцінки джерел, шляхів руху та часу формування підземних вод.

Серед українських учених, які працюють у галузі ізотопної гідрології, окреме місце посідають дослідження Дядіна Д. та Виставної Ю. Ю., присвячені аналізу взаємозв'язку між кліматичними чинниками, ізотопним складом атмосферних опадів і формуванням підземних та поверхневих вод Східної України [25,26]. У їхніх роботах на основі довготривалих метеорологічних спостережень і комплексного аналізу стабільних ізотопів  $\delta^2\text{H}$  та  $\delta^{18}\text{O}$  обґрунтовано високу чутливість водних систем Харківського регіону до кліматичних змін, а також показано можливості ізотопного методу для оцінки водного балансу урбанізованих територій і виявлення порушень природного режиму водообміну. Також значний внесок у вивчення гідрохімічних та ізотопних характеристик підземних і поверхневих вод зробила Виставна Ю. Ю., яка дослідила ізотопний склад водних систем Харківського регіону, визначивши просторові закономірності варіацій  $\delta^2\text{H}$  та  $\delta^{18}\text{O}$ , а також виявивши вплив урбанізованих зон на водообмін і хімічний склад підземних горизонтів [2]. У працях Лободи Н. С. та Отченаш Н. Д. детально описано механізми забруднення підземних вод, роль антропогенних джерел у трансформації азотного циклу, а також наголошено на необхідності інтеграції ізотопних і гідрохімічних методів для підвищення достовірності оцінок екологічного стану водних об'єктів [9]. Гриб О. М. у своїх лекційних матеріалах систематизував типи техногенного

впливу на водні екосистеми та підкреслив важливість моніторингу стану підземних вод у промислових регіонах України [4]. Регіональні звіти Департаменту екології та природних ресурсів Харківської ОВА [6,7] містять сучасні статистичні дані про якість підземних і поверхневих вод, підтверджуючи актуальність дослідження деградаційних процесів унаслідок військових дій та руйнування інфраструктури.

На міжнародному рівні вагомі результати отримано у працях Carreira P. M. [18], Gourcy L. [30], Petelet-Giraud E. [30], Kaminsky E. [34], Li B. [38], Wei X. [50], Scandellari F. [46] та інших, які розвинули концепцію використання стабільних ізотопів водню ( $^2\text{H}$ ) та кисню ( $^{18}\text{O}$ ) як природних маркерів гідрологічних процесів. Зокрема, дослідження Kaminsky E. et al. [34] показало, що аналіз ізотопного складу води в урбанізованих територіях дозволяє кількісно визначати частку техногенного водообміну та ступінь змішування підземних і поверхневих вод. Li B. et al. [38] застосували мультиізотопний підхід для ідентифікації джерел нітратного забруднення у міських акваторіях, що підтвердило ефективність комбінування  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  і  $\delta^{15}\text{N}$  у моніторингових програмах. У роботах Scandellari F. та Penna D. [46] підкреслено важливість інтеграції ізотопних даних із гідрохімічними показниками для розроблення стратегій сталого управління водними ресурсами. Дослідження Wei X. et al. [50] доводять, що ізотопні індикатори є надійним засобом для виявлення процесів випаровування, змішування та антропогенного впливу у підземних водах гірських і міських районів.

Актуальним напрямом сучасних досліджень є застосування ізотопних методів у поєднанні з хімічними індикаторами забруднення – нітратами, хлоридами, фосфатами, а також із показниками електропровідності та мінералізації [18]. Такі комплексні підходи дозволяють не лише встановлювати джерела і масштаби техногенного впливу, але й моделювати процеси міграції забруднюючих речовин у водоносних горизонтах. Сучасна наукова думка також акцентує на важливості використання ізотопних технологій у регіонах із

нестабільною екологічною ситуацією, де порушено водний баланс і зростає ризик деградації водних ресурсів [19, 25, 45].

Таким чином, аналіз літературних джерел засвідчує, що питання ідентифікації антропогенного впливу на підземні води із використанням стабільних ізотопів є науково обґрунтованим і перспективним напрямом сучасних досліджень. Попри значний внесок як українських, так і зарубіжних учених, залишається потреба у проведенні регіональних робіт, спрямованих на деталізацію процесів змішування, оцінку ступеня техногенного навантаження та визначення джерел забруднення підземних вод у специфічних умовах міських і сільських територій Харківської області та зокрема міста Харків.

*Метою дослідження* є вивчення антропогенного впливу на підземні води міських і сільських територій із використанням стабільних ізотопів.

Для досягнення мети було визначено наступні завдання:

- описати застосування методів ізотопної гідрології для аналізу антропогенного впливу на природні води;
- навести характеристику території досліджень м. Харків а також системи водокористування м. Харків та територія с. Черкаський та Нижній Бишкин Чугуївського району, Харківської області.
- описати методи досліджень, а саме визначити точки та ділянки досліджень, навести методіку відбирання проб, описати методи лабораторних досліджень;
- ідентифікувати антропогенні впливи на підземні та поверхневі води міської та сільської території за ізотопними та гідрохімічними показниками;
- навести рекомендації та перспективи розвитку досліджень.

*Об'єкт дослідження* – підземні та поверхневі води міської та сільської території.

*Предмет дослідження* – зміни гідрохімічного та ізотопного складу підземних і поверхневих вод в умовах комплексних антропогенних впливів забудованих територій.

*Практична значущість дослідження.* Практична значущість роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для підвищення ефективності управління водними ресурсами міських і сільських територій, зокрема у сфері локального водопостачання. Запропонований комплексний ізотопно-гідрохімічний підхід дозволяє оперативно оцінювати стан підземних вод, визначати ступінь їх гідрогеологічної захищеності та виявляти ранні ознаки антропогенного впливу, що є особливо важливим в умовах порушення централізованих систем водопостачання, зокрема під час воєнних дій. Результати дослідження можуть бути використані органами місцевого самоврядування, екологічними та водогосподарськими службами для обґрунтування рішень щодо експлуатації джерел, свердловин і колодязів, а також для формування програм моніторингу та охорони водних ресурсів.

*Наукова новизна дослідження.* Наукова новизна роботи полягає у застосуванні комплексного аналізу стабільних ізотопів водню та кисню ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , d-excess) у поєднанні з гідрохімічними показниками для ідентифікації антропогенних впливів на підземні води міських і сільських територій Харківського регіону. Уперше для низки локальних джерел підземних вод у межах урбанізованих і позаміських територій виконано детальну інтерпретацію ізотопного складу з позицій механізмів живлення, ступеня ізотопної трансформації та гідрогеологічної відкритості водоносних горизонтів. Отримані результати розширюють наукові уявлення про особливості формування ізотопного сигналу підземних вод в умовах різного антропогенного навантаження та формують основу для подальшого розвитку ізотопно-гідрохімічних досліджень на регіональному рівні.

## РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІЗОТОПНОЇ ГІДРОЛОГІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПРИРОДНІ ВОДИ

Традиційні гідрохімічні методи дослідження якості води залишаються основним інструментом оцінки стану водних об'єктів в умовах антропогенного навантаження. Вони застосовуються для визначення комплексу фізико-хімічних параметрів, що відображають вплив промисловості, комунального господарства та урбанізованої інфраструктури на водне середовище [8]. Основними показниками є водневий показник (рН), вміст розчиненого кисню, біохімічне споживання кисню (БСК<sub>5</sub>), хімічне споживання кисню (ХСК), електропровідність, загальна мінералізація, твердість, а також концентрації азотистих сполук (нітратів, нітритів, амонійного азоту), фосфатів, сульфатів і хлоридів [15, 33]. Ці показники відображають процеси окиснення органічних речовин, ступінь евтрофікації та рівень антропогенного забруднення водних систем [14].

У лабораторних умовах застосовують титриметричні, фотометричні, потенціометричні та гравіметричні методи аналізу, регламентовані державними та міжнародними стандартами (ДСТУ ISO 10523:2008 – визначення рН, ДСТУ ISO 5815-1:2019 – визначення БСК<sub>5</sub>, ДСТУ 4078:2001 – визначення сухого залишку. Для аналізу нітратів і нітритів використовують фотометричний метод із реактивом Грісса, для визначення амонійного азоту – реакцію Несслера, а для вмісту заліза й марганцю – титриметричні методи з індикаторами окисно-відновних реакцій [37]. В умовах міських територій, зокрема Харкова, такі методи дозволяють простежити вплив каналізаційних скидів, поверхневого зливого стоку, транспортних викидів та промислових підприємств на хімічний склад поверхневих і підземних вод.

Отримані результати гідрохімічного аналізу дають змогу оцінити не лише поточний екологічний стан водних об'єктів, але й тенденції їх деградації або відновлення. Це важливо для обґрунтування стратегій моніторингу, проєктування систем очищення та планування заходів із мінімізації техногенного навантаження [40]. За сучасними підходами гідрохімічні методи часто

поєднуються з ізотопними дослідженнями для верифікації джерел забруднення та простеження динаміки взаємодії між підземними та поверхневими водами [47].

В табл.1.1 представлено основні показники гідрохімічного та ізотопного аналізу води та методи їх визначення.

Таблиця 1.1 – Основні показники гідрохімічного та ізотопного аналізу води та методи їх визначення

№	Показник / Метод	Одиниця вимірювання	Характеристика та значення показника	Метод визначення
1	2	3	4	5
1.	рН (водневий показник)	од. рН	Відображає кислотно-лужну рівновагу води; відхилення від нейтрального значення свідчить про техногенний вплив.	Потенціометричний метод (ДСТУ ISO 10523:2008)
2.	Розчинений кисень (O <sub>2</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	Показник інтенсивності біохімічних процесів; низькі значення вказують на забруднення органічними речовинами.	Йодометричний метод (Вінклер)
3.	Біохімічне споживання кисню (БСК <sub>5</sub> )	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Характеризує ступінь органічного забруднення.	Титриметричний метод (ДСТУ ISO 5815-1:2019)
4.	Хімічне споживання кисню (ХСК)	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Визначає вміст органічних і неорганічних речовин, що піддаються окисненню.	Фотометричний метод із дихроматом калію
5.	Нітрати (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	Показник впливу аграрних стоків і побутових вод; високі концентрації свідчать про антропогенне навантаження.	Фотометричний метод (реактив Грісса)
6.	Амонійний азот (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	Ознака свіжого органічного забруднення; типовий для урбанізованих територій.	Колориметричний метод із реактивом Несслера
7.	Фосфати (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	Визначають рівень евтрофікації водойм, надлишок свідчить про стоки побутового походження.	Фотометричний метод (молібденово-синій комплекс)

1	2	3	4	5
8.	Загальна мінералізація	мг/дм <sup>3</sup>	Сумарний вміст розчинених солей; відображає природну та техногенну складову води.	Випарювання і гравіметричне зважування (ДСТУ 4078:2001)
9.	Електропровідність	мкСм/см	Непрямо відображає вміст розчинених іонів; використовується для швидкої оцінки мінералізації.	Кондуктометричний метод
10.	Ізотопний склад води ( $\delta^2\text{H}$ , $\delta^{18}\text{O}$ )	‰ (промиле, відносно VSMOW)	Відображає природні процеси випаровування, конденсації та змішування підземних і поверхневих вод; дозволяє ідентифікувати джерела живлення, напрям руху вод і вплив антропогенних факторів.	Мас-спектрометрія або лазерна спектроскопія; інтерпретація за ізотопною лінією GMWL

Джерело: складено автором на основі [18-21, 52, 56].

Отже, аналіз наведених показників свідчить, що поєднання традиційних гідрохімічних і сучасних ізотопних методів є найбільш ефективним підходом до комплексного вивчення стану водного середовища. Традиційні показники – рН, БСК<sub>5</sub>, ХСК, концентрації нітратів, фосфатів, амонійного азоту, а також електропровідність і мінералізація – дозволяють визначити поточний рівень забруднення, характер і джерела техногенного навантаження на поверхневі та підземні води [17]. Водночас ізотопні показники  $\delta^2\text{H}$  та  $\delta^{18}\text{O}$  забезпечують можливість простежити походження вод, механізми їх змішування, динаміку інфільтраційного живлення та вплив антропогенних чинників на водообмін [47]. Такий комплексний підхід формує наукову основу для моніторингу екологічного стану водойм, оптимізації систем водопостачання й розроблення стратегій раціонального управління водними ресурсами, зокрема у межах урбанізованих територій Харківського регіону, де спостерігається посилений вплив промислових і комунальних об'єктів на гідрогеохімічний баланс [8, 11, 18].

Ізотопні методи є сучасним напрямом гідрологічних і екологічних досліджень, який дозволяє отримувати фундаментальні знання про походження,

динаміку та взаємодію різних типів вод – атмосферних, поверхневих і підземних. Вони ґрунтуються на вивченні стабільних ізотопів гідрогену ( $^2\text{H}$  або  $\text{D}$  – дейтерій) та кисню ( $^{18}\text{O}$ ), що входять до складу молекули води ( $\text{H}_2\text{O}$ ), і на аналізі їх ізотопного складу у різних зразках [45]. На відміну від традиційних гідрохімічних методів, які фіксують поточний стан якості води, ізотопні дослідження дозволяють встановити її походження, часові межі перебування в системі, ступінь змішування джерел і напрямок міграції у водоносних горизонтах. Це робить їх незамінним інструментом для вивчення сучасних процесів у гідросфері, особливо за умов посиленого антропогенного впливу.

Ізотопна гідрологія розвинулась у середині ХХ століття завдяки роботам Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та ЮНЕСКО, які впровадили стандартизовану методологію визначення ізотопного складу води [27, 46]. В основі підходу лежить принцип того, що природні процеси випаровування, конденсації, танення льоду, інфільтрації та змішування водних мас призводять до фракціонування ізотопів – тобто до зміни співвідношень між важкими ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) та легкими ( $^1\text{H}$ ,  $^{16}\text{O}$ ) ізотопами у молекулі води. Це співвідношення виражається у проміле (‰) за формулою

$$\delta (\text{D або } \text{O}^{18}) = \left[ \frac{R_{\text{зраз}}}{R_{\text{ст}}} - 1 \right] * 10^3, \quad (3.1)$$

де  $R_{\text{зраз}}$  та  $R_{\text{ст}}$  – відношення  $\text{D/H}$  або  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в досліджуваному зразку та в стандарті SMOW відповідно [18].

Співвідношення (1.1) дозволяє обчислити абсолютні концентрації дейтерію або кисню-18 в пробі, якщо замість  $R_{\text{ст}}$  підставити відповідне значення співвідношення  $\text{D/H}$  або  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в SMOW.

Важкі ізотопи гідрогену й кисню діють як природні «мітки», що не змінюють хімічний склад води, але фіксують її історію. Під час випаровування легкі ізотопи ( $^1\text{H}$ ,  $^{16}\text{O}$ ) переходять у пару швидше, ніж важкі ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ), тому дощова або річкова вода має ізотопний склад, збагачений легкими ізотопами порівняно з морською [23]. Цей ефект лежить в основі вивчення циркуляції води в природі, встановлення джерел живлення річок і підземних вод, а також визначення частки антропогенних джерел у міських гідросистемах.

Наприклад, у роботі Carreira P. M. та співавт. [18] показано, що співвідношення  $\delta^2\text{H}$  і  $\delta^{18}\text{O}$  дозволяє розрізняти води атмосферного, поверхневого та ґрунтового походження, а також визначати ступінь випаровування водою. Дослідження Kaminsky E. et al. [34] підтверджують, що ізотопний склад є надійним маркером міського впливу: води з територій із щільною забудовою демонструють збагачення важкими ізотопами внаслідок інтенсивного випаровування та техногенних теплових ефектів.

Вимірювання ізотопного складу здійснюється за допомогою двох основних технологій: мас-спектрометрії із ізотопним співвідношенням (IRMS) та лазерної спектроскопії (CRDS – Cavity Ring-Down Spectroscopy) [18, 21, 52]. Мас-спектрометрія забезпечує найвищу точність аналізу, однак потребує складної підготовки проб і використання стандартів (VSMOW, SLAP). Лазерна спектроскопія є сучасною альтернативою – вона дає змогу проводити безперервний моніторинг і використовуватись у польових умовах, що особливо актуально для досліджень урбанізованих територій [34].

Отримані значення  $\delta^2\text{H}$  і  $\delta^{18}\text{O}$  наносять на діаграму ізотопного співвідношення, де за відхиленнями від GMWL визначаються процеси випаровування, змішування або підземного живлення. Наприклад, лінії ізотопної залежності з меншим нахилом (менше 8) свідчать про випаровування, тоді як більш «важкі» значення  $\delta^{18}\text{O}$  притаманні водам, які тривалий час перебувають у підземному середовищі [27, 49].

В табл. 1.2 представлено основні напрями застосування ізотопних методів у гідрологічних та екологічних дослідженнях, які демонструють широкі можливості використання стабільних ізотопів гідрогену ( $^2\text{H}$ ) та кисню ( $^{18}\text{O}$ ) для аналізу процесів у водному середовищі. Ізотопний підхід дозволяє не лише виявляти джерела живлення підземних вод і характер їх взаємодії з поверхневими, а й визначати антропогенний вплив, реконструювати кліматичні умови формування опадів та здійснювати екологічний моніторинг стану водних ресурсів

Таблиця 1.2 – Основні напрями застосування ізотопних методів у гідрологічних та екологічних дослідженнях

№	Напрямок застосування	Наукове значення та практична мета	Приклади результатів / пояснення
1.	Визначення джерел живлення підземних вод	Ідентифікація джерел формування підземних вод – атмосферні опади, інфільтрація річкових або стародавніх вод.	За ізотопами $\delta^{2}\text{H}$ і $\delta^{18}\text{O}$ визначають походження води, часову глибину формування та частку сучасного поповнення.
2.	Оцінка взаємодії поверхневих і підземних вод	Встановлення напрямків руху води між річковими системами та водоносними горизонтами.	За ізотопним складом визначають, чи річка живиться підземними водами, чи навпаки – живить їх; ключовий показник для водного балансу.
3.	Виявлення антропогенного впливу	Діагностика зміни природного водного складу під дією урбанізації, промисловості, теплових ефектів.	Підвищення вмісту важких ізотопів ( $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^{2}\text{H}$ ) свідчить про випаровування та техногенну трансформацію стоку.
4.	Моніторинг забруднення вод	Виявлення джерел забруднення (сільське господарство, стоки, промисловість).	Комбінування ізотопів $\delta^{15}\text{N}$ і $\delta^{18}\text{O}$ у нітратах із $\delta^{2}\text{H}$ та $\delta^{18}\text{O}$ води дозволяє розрізнити побутові, промислові й аграрні джерела.
5.	Оцінка кліматичних і сезонних змін	Реконструкція температур і режиму опадів минулих періодів; аналіз сучасних трендів.	Архівні дані $\delta^{18}\text{O}$ і $\delta^{2}\text{H}$ у підземних водах та опадах відображають зміни клімату й гідрологічного циклу.
6.	Оцінка урбанізаційного впливу на гідрологічний режим	Вивчення змін інфільтрації, дренажу та випаровування у містах.	Безперервні ізотопні вимірювання показують реакцію міських систем на опади й антропогенне навантаження.
7.	Комплексна екологічна оцінка водних систем	Поєднання ізотопних і гідрохімічних даних для оцінки стану вод і розроблення заходів управління.	Ізотопні дані верифікують результати традиційного аналізу, уточнюючи джерела та процеси забруднення.

Джерело: складено автором на основі [18, 21, 29, 33, 37, 45, 49].

Особливу роль ізотопні методи відіграють у сучасних гідрологічних та екологічних дослідженнях, оскільки саме вони дозволяють отримувати достовірну інформацію про походження, динаміку та трансформацію водних мас. Як підкреслює Dansgaard W. у класичній роботі з ізотопної фракції [18], стабільні ізотопи водню та кисню є природними індикаторами, що зберігають

інформацію про умови формування води та її подальші фізико-хімічні перетворення. Подальші дослідження Gat J. [32] підтвердили, що ізотопні співвідношення  $\delta^2\text{H}$  та  $\delta^{18}\text{O}$  є фундаментальними параметрами, які відображають глобальний і локальний водний цикл.

Значний внесок у розвиток сучасних методів інтерпретації ізотопних даних зробили Chizhova J. та Kislov A, які довели, що ізотопний склад води може використовуватися як надійний маркер джерел живлення підземних вод і механізмів змішування різних водних компонентів. У подальших роботах Kendall C. [29] та Esquivel-Hernández G. [27] було показано, що ізотопні методи дозволяють не лише ідентифікувати джерела води, але й відстежувати сезонні та кліматичні зміни, які відображаються у варіаціях  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$ .

У дослідженнях Kinzinger L. et al. [31] було продемонстровано, що безперервний моніторинг ізотопного складу атмосферних опадів дозволяє виявляти швидкі гідрологічні реакції, характерні для урбанізованих територій. Аналогічні результати отримали Rajan S. et al. [40], які встановили, що ізотопна діагностика є одним із найефективніших підходів для визначення частки стічних вод у підземних горизонтах та оцінки ступеня їх техногенної трансформації.

У межах загальної екологічної оцінки водних систем надзвичайно важливою є здатність ізотопних методів фіксувати антропогенний вплив. Дослідження Scandellari F. та Penna D. [44] переконливо показали, що саме ізотопи залишаються найстабільнішими природними маркерами забруднення, оскільки вони не змінюються під дією геохімічних або біохімічних процесів під час транспортування води. Згідно з висновками авторів, ізотопний аналіз є незамінним у випадках, коли традиційна гідрохімія не дозволяє однозначно встановити джерело забруднення.

Важливу роль відіграють також дослідження Marx C. et al. [34], де було показано, що ізотопні методи дозволяють кількісно оцінювати частку інфільтрації атмосферних опадів у балансі підземних вод. Автори довели, що ізотопні системи забезпечують високу точність відтворення гідрологічних процесів навіть у складних природно-техногенних умовах.

Значний внесок у вивчення гідрологічних систем зробили також Yang N. Та Zhang Y. [52], які обґрунтували роль ізотопів у вивченні водообміну між поверхневими та підземними водами. Їхні результати показали, що стабільні ізотопи є ключовими параметрами для визначення частки підземного живлення річок та оцінки інтенсивності гідрологічних зв'язків.

Сучасні підходи до діагностики забруднення вод, описані у роботах Sejudo E., Arreola F., Pacheco J. [19], демонструють, що поєднання ізотопів N, O, C та H дозволяє не лише ідентифікувати джерела забруднення, але й встановити механізми його транспорту та трансформації у водному середовищі. Зокрема, ізотопні характеристики нітратів ( $\delta^{15}\text{N}$  та  $\delta^{18}\text{O}$ ) є одними з найточніших маркерів для відокремлення аграрних, каналізаційних та промислових джерел забруднення.

Подальший розвиток ізотопної гідрології значною мірою був сформований роботами Mook W. [32], який підкреслив важливість поєднання стабільних ізотопів та гідрохімічних показників для комплексного аналізу водних систем. На думку Мука, саме інтеграція декількох груп індикаторів дає змогу усунути неоднозначності, що виникають при застосуванні лише одного методу, та створити багатовимірну модель водного циклу, здатну враховувати природні та техногенні впливи.

У свою чергу, роботи Smith D.F., Stubbins A. [47] акцентували увагу на тому, що довгострокове спостереження за ізотопним складом атмосферних опадів є основою для реконструкції історичних кліматичних змін. Автор довів, що глобальні ізотопні ряди, такі як GNIP, забезпечують унікальні можливості для розуміння еволюції гідрологічного циклу, тоді як локальні бази даних дозволяють встановити специфіку регіональних коливань. Саме це робить ізотопні показники незамінними маркерами кліматичних трендів, включно зі зміною структури сезонних опадів та інтенсивності випаровування.

Значний внесок у вивчення механізмів випаровування зробили криві Craig–Gordon, описані Craig H. та Gordon L. [49], які продемонстрували, що процес випаровування має виражений ізотопний ефект і веде до характерного збагачення

залишкової води тяжчими ізотопами, ці концепції надалі були розвинуті у роботах Gat J. [32] та Kendall С. [29], які показали, що відхилення ізотопних точок від глобальної лінії метеорної води (GMWL) є надійним індикатором інтенсивності випаровування та техногенного перетворення стоку.

У дослідженнях Акратакі К.В. [16] було відзначено, що ізотопи не лише фіксують сучасний стан, але й дозволяють відтворювати історичні зміни у водних системах, включаючи відкладення осадів, формування підземних вод у минулі геологічні епохи та реконструкцію давніх періодів інфільтрації, ці висновки стали важливою теоретичною базою для подальших робіт науковців, які показали, що ізотопні дані дозволяють моделювати не тільки природні варіації, але й антропогенно зумовлені зміни водного режиму.

Важливим напрямом сучасних досліджень є застосування ізотопів для розмежування різних джерел забруднення. Зокрема, робота Сежудо Е., Арреола Ф., Рачесо Ж [19] показала що багатокомпонентний ізотопний аналіз (N, O, C, H, Sr) дає змогу виявити не лише джерело забруднювача, але й визначити його міграційні шляхи та ступінь впливу на водні ресурси. Застосування цього підходу дозволило авторам відокремити аграрні стоки від каналізаційних, промислових та гірничих джерел – що є принципово важливим для розроблення заходів водоохоронної політики.

Дослідження Yang N., Zhang Y. [52] підтвердили, що участь підземних вод у підтриманні річкового стоку може значно коливатися протягом року, а стабільні ізотопи дозволяють простежувати ці зміни з високою точністю. Це відкриває можливість оцінювати стійкість поверхневих водних систем до засух, визначати критичні періоди водного дефіциту та прогнозувати екологічні ризики.

Важливо також зазначити роботи Пенна Д. [46] та Кришан Г., Рао М.С. [37], які підкреслили роль ізотопів у дослідженні складних гідрологічних систем із багат шаровою структурою. Автори показали, що стабільні ізотопи є практично єдиним методом, який дозволяє визначити величину внеску кожного горизонту у загальний потік і виявити локальні зони змішування. У цих роботах особлива увага приділена тому, що підземні води часто мають тривалі часи оновлення, а

отже реагують на антропогенні впливи із суттєвою затримкою – що робить ізотопні методи стратегічно важливими для довгострокового моніторингу.

Цінність ізотопного підходу як універсального екологічного індикатора підкреслено також у роботах Esquivel-Hernández G. [27] та Smith D.F., Stubbins A. [47], які довели, що ізотопні дані є стійкими до процесів розбавлення. Це означає, що навіть у випадках значного змішування вод із різних джерел, ізотопний "підпис" забруднення зберігається і може бути достовірно визначений. Саме ця властивість робить ізотопні методи ефективними у складних умовах, де традиційні хімічні показники втрачають діагностичну цінність.

Подальші наукові дослідження у сфері ізотопної гідрології суттєво розширили розуміння процесів формування та еволюції підземних і поверхневих водних систем. Зокрема, у роботах Kebede S. та Nailu K [35] було обґрунтовано концепцію так званих «гідрологічних підписів», які формуються на основі стабільних ізотопів і дають змогу відокремлювати різні складові стоку. Автори показали, що ізотопні дані дозволяють реконструювати багатокomпонентну структуру стоку та визначати участь швидкого і повільного потоків, що є надзвичайно важливим для оцінки часової динаміки водних систем.

Важливі результати були отримані й у дослідженнях Kebede S та Nailu K J. [35], які продемонстрували, що ізотопні методи дозволяють оцінювати структурну неоднорідність водоносних систем – від розподілу води в макропорах до участі глибоких підземних горизонтів у поверхневому стоку. Автори довели, що навіть незначні зміни у структурі ґрунтів або гідрогеологічних умовах призводять до суттєвих відхилень у ізотопному складі, що робить ці методи надзвичайно чутливими до природно-техногенних змін.

Дослідження Penna D. та Zuesco G. [46] зосереджують увагу на високій інформативності ізотопів у вивченні гірських та лісових басейнів. Автори встановили, що завдяки ізотопам можна визначити частку талих вод у стоку, оцінити участь глибокого живлення та встановити сезонні механізми накопичення вологи. Згідно з висновками дослідників, такі дані є важливими для

прогнозування паводків, екстремальних гідрологічних подій та зміни структури рослинного покриву.

Значний внесок у розроблення методів ізотопного аналізу антропогенних систем зробили дослідження Sejudo E., Arreola F., Pacheco J. [19], які показали, що багатокомпонентні моделі ізотопів азоту, кисню та вуглецю дозволяють деталізувати процеси трансформації забруднювачів у водних середовищах. Зокрема, автор довів, що співвідношення  $\delta^{15}\text{N}$ – $\delta^{18}\text{O}$  є чутливим показником процесів нітрифікації та денітрифікації, що дозволяє оцінити відновлювальну здатність екосистем та їхню реакцію на надходження надлишкових біогенних елементів.

Роботи Zhang Y. [52] демонструють практичну ефективність застосування ізотопної діагностики у складних урбанізованих системах. Автори довели, що ізотопні характеристики можуть відображати унікальний «урбаністичний підпис» води, пов'язаний із тепловими потоками, стічними водами, повторним використанням води та інтенсивним випаровуванням. Це дозволяє визначати ступінь техногенного впливу на підземні горизонти та оцінювати стійкість міських водних систем до навантажень.

Суттєві результати у вивченні кліматичних впливів представлено у роботах Smith D.F., Stubbins A., [47] та Esquivel-Hernández G.[27], де автори показали, що ізотопні дані є одним із найточніших індикаторів глобальних кліматичних трендів. Зокрема, зміни ізотопного складу атмосферних опадів протягом десятиліть дозволяють простежувати зміни температури, вологості та циклічності опадів. Ці дані широко використовуються у глобальних моделях клімату та прогнозуванні стану водних ресурсів.

Ізотопні методи сьогодні становлять стратегічно важливий інструмент для формування сучасної системи управління водними ресурсами України, оскільки саме вони дозволяють з високою точністю встановлювати походження води, визначати механізми її змішування та відтворювати динаміку природних і техногенних процесів у гідрологічному циклі. В умовах кліматичних змін, зростання антропогенного навантаження, непрогнозованості гідрологічних

коливань і локальних екологічних криз, ізотопний аналіз відкриває можливості для створення національних систем моніторингу, здатних виявляти навіть найменші зміни у водному балансі. Для України, де водні ресурси є нерівномірно розподіленими, а значна частина водопостачання залежить від підземних вод і транзитних річкових систем, саме ізотопні індикатори дозволяють оцінити ступінь вразливості водних горизонтів, визначити реальні джерела поповнення водоносних комплексів та встановити адаптивні стратегії їхнього використання. Завдяки своїй здатності інтегрувати інформацію про кліматичні, гідрогеологічні та антропогенні зміни, ізотопні методи забезпечують глибину аналізу, недоступну для традиційних гідрохімічних підходів.

Водночас інтеграція ізотопної гідрології у державну систему екологічного нагляду є критично необхідною для підвищення національної водної безпеки. Україна стикається з багатофакторними викликами – від локальних забруднень та деградації окремих водних об'єктів до порушення водного циклу через урбанізацію, промислову діяльність, воєнні дії та зміну структури опадів. Ізотопний аналіз дозволяє визначати ступінь техногенного впливу, встановлювати джерела забруднення, оцінювати ризики змішування поверхневих і підземних вод після аварій чи руйнування інфраструктури, а також моделювати реакцію водних систем на майбутні кліматичні зміни. Використання ізотопів дає змогу формувати довгострокові прогнози, науково обґрунтовувати водоохоронні заходи, оптимізувати водокористування та розробляти національні програми адаптації водних систем до умов підвищеної екологічної нестабільності. Таким чином, ізотопна гідрологія виступає не просто дослідницьким інструментом, а базовою платформою для прийняття рішень, що забезпечують сталий розвиток водного господарства України.

## РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Кліматичні умови

Клімат Харківської області належить до помірно континентального типу, для якого характерні виражені сезонні контрасти, порівняно спекотне літо та холодна зима. Географічне положення регіону на межі степової та лісостепової зон зумовлює поєднання різних кліматичних впливів – як континентальних східних повітряних мас, так і атмосферних фронтів Атлантики. Таке поєднання формує нестійкий температурний режим, значні коливання погодних умов і періодичну різкість сезонних переходів.

На рис. 2.1. представлено середньомісячний розподіл кількості атмосферних опадів у м. Харків за кліматичний період 1991–2020 рр..

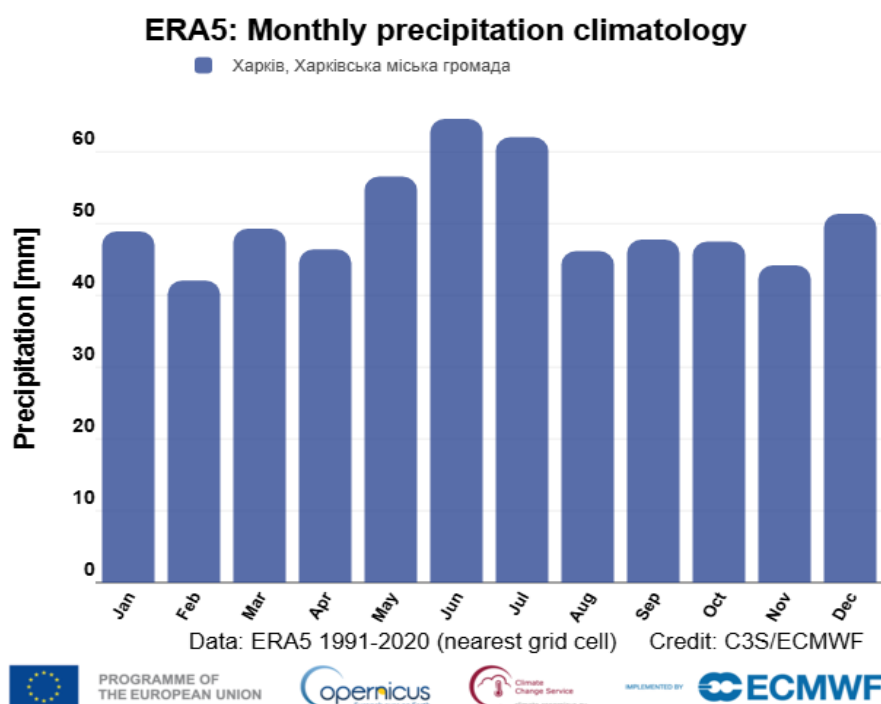


Рисунок 2.1 – Середньомісячний розподіл кількості атмосферних опадів у м. Харків за кліматичний період 1991–2020 рр. [24]

На рис. 2.2. представлено середньомісячний хід температури повітря в м. Харків за кліматичний період 1991–2020 рр.

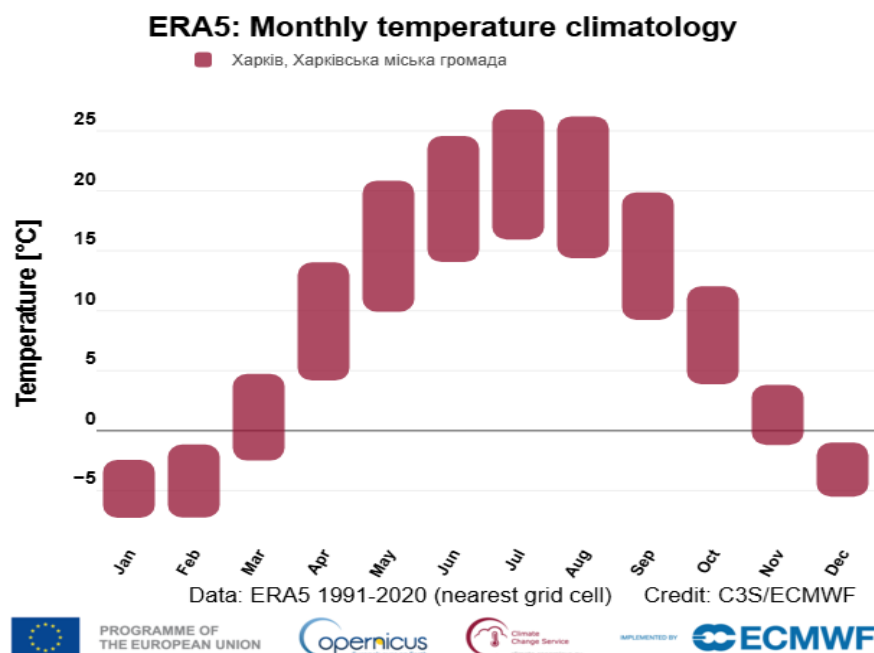


Рисунок 2.2 – Середньомісячний хід температури повітря в м. Харків за кліматичний період 1991–2020 рр. [24]

На рис. 2.3. представлено середньобаторічний вітровий режим м. Харків (1991–2020 рр., ERA5).

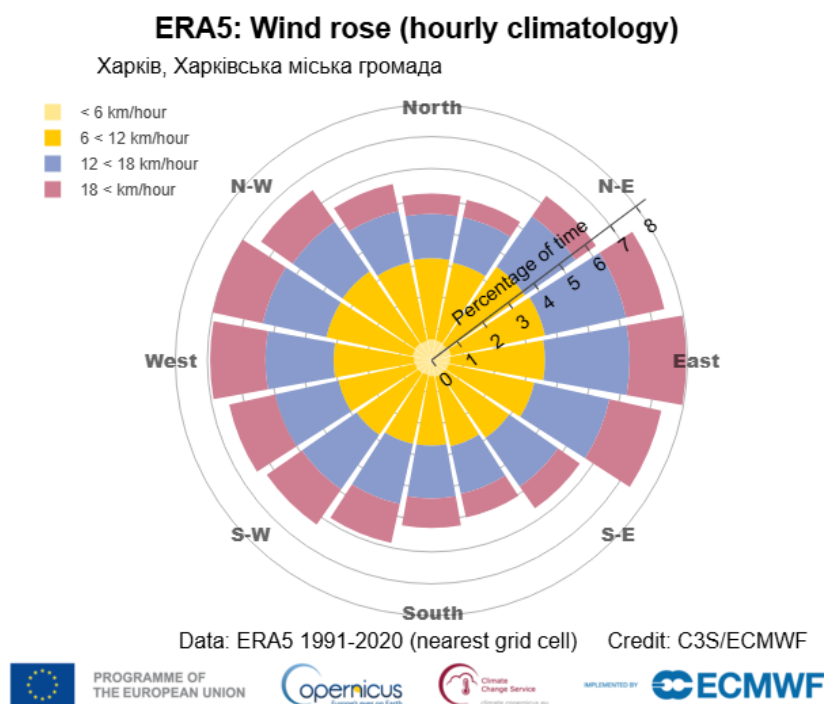


Рисунок 2.3 – Середньобаторічний вітровий режим м. Харків (1991–2020 рр., ERA5) [24]

Середньорічна температура повітря становить приблизно  $+7...+8$  °С. Зимовий період триває з кінця листопада до початку березня; середня температура січня –  $-6...-7$  °С, однак характерні короткочасні похолодання до  $-20$  °С і нижче. Стійкий сніговий покрив зберігається 60–75 днів, але його висота значно варіює через циклонічні та антициклоніальні процеси. Весняний період відзначається швидкою зміною температур і можливими поверненнями холодів, що впливають на водний баланс та промерзання ґрунтів.

Літо у регіоні тепле, подекуди спекотне: середня температура липня становить  $+20...+22$  °С, а максимальні значення нерідко досягають  $+30...+35$  °С. Для літа характерні періоди повітряної та ґрунтової посухи, що пов'язано з домінуванням сухих континентальних повітряних мас. Осінь м'яка та відносно тепла, зі стабільним зниженням температури і переважанням антициклонів, що сприяють формуванню малохмарної та сухої погоди.

Річна кількість опадів у Харківській області становить у середньому 480–550 мм, причому найбільша їх частина (до 70%) припадає на теплий період року. Оподи переважно мають зливовий характер у літній сезон, що посилює нерівномірність водного стоку та впливає на формування паводків у річкових басейнах. Узимку оподи менш інтенсивні й переважно випадають у вигляді снігу. Клімат регіону також характеризується досить високою вітровою активністю, особливо у холодний період, коли швидкість вітру може досягати 7–10 м/с.

Аналіз середньобагаторічного вітрового режиму м. Харків за даними реаналізу ERA5 свідчить про переважання вітрів західних, північно-західних та східних напрямків із домінуванням швидкостей до 12–18 км/год. Такий характер атмосферної циркуляції зумовлює надходження повітряних мас різного походження, що є важливим чинником формування ізотопного складу атмосферних опадів та умов їх інфільтрації.

Такі кліматичні умови формують складну гідрологічну ситуацію регіону, визначаючи рівень водності річкової мережі та сезонні зміни водного балансу. Помірно континентальний клімат із характерними температурними контрастами, нерівномірністю опадів та високою частотою циклонічних процесів є ключовим

чинником, що впливає на стан підземних і поверхневих вод, розвиток ґрунтового режиму та особливості екосистем Харківської області.

## 2.2 Геологічна будова

Геологічна будова Харківської області формувалася протягом тривалого геологічного часу і характеризується складною стратиграфічною будовою, значною різноманітністю осадових порід та наявністю глибоких тектонічних структур, що визначають сучасні геоморфологічні та гідрогеологічні особливості регіону. Територія області розташована в межах Дніпровсько-Донецької западини – однієї з найбільших осадових структур Східноєвропейської платформи. Ця западина є глибоким прогином земної кори, який протягом сотень мільйонів років заповнювався потужними товщами морських, континентальних і лагунних відкладів, що й визначило сучасний літологічний склад регіону.

Осадовий чохол Харківської області сягає значної потужності – місцями до 10–12 км. Найдавніші відклади, що залягають у фундаменті, представлені домезозойськими породами – девонськими, кам'яновугільними та пермськими товщами, які на значних глибинах формують нижню частину розрізу. Ці породи складаються переважно з пісковиків, доломітів, вапняків, мергелів та гіпсів. Вище залягають мезозойські відклади – тріасові, юрські та крейдові, потужність яких у центральній частині області особливо значна. Найхарактернішими для мезозою є породи крейдового періоду, що представлені білою крейдою, мергелями, глауконітовими пісками та глинами. Саме крейдові відклади добре відомі у північних і східних районах області, де вони часто виходять на поверхню у вигляді яскравих крейдяних схилів [5].

Надзвичайно важливе значення має неоген-четвертинний комплекс. Неогенові породи представлені пісками, суглинками, глинами та галечниками, які залягають переважно на височинах і формують елементи рельєфу лісостепової зони. Четвертинні відклади є найбільш поширеними й покривають значну частину території області. Вони мають делювіальне, еолове, флювіальне та льодовикове походження. До них належать леси та лесовидні суглинки,

алювіальні піски долин річок, давні терасові відклади, льодовикові морени та водно-льодовикові піски, що формують покривні шари потужністю від 1–2 до 20–30 метрів.

Особливістю геологічної будови Харківщини є її тісний зв'язок із тектонічними процесами. Дніпровсько-Донецька западина є не лише структурним прогином, але й зоною активної глибинної диференціації, що зумовило формування локальних піднять, бортових зон та розломів. Найвідомішими серед них є Зміївське, Балаклійське та Вовчанське підняття, які впливають як на розподіл порід, так і на формування водоносних горизонтів. Тектонічні порушення визначають умови циркуляції підземних вод, спрямованість потоків і ємнісні властивості водоносних порід, що має принципове значення для регіональної гідрогеології [5].

Гідрогеологічні особливості Харківської області напряму пов'язані з її стратиграфією. У регіоні сформувалися кілька водоносних горизонтів: четвертинний, неогеновий, палеогеновий, крейдовий і юрський. Найбільш значущими є крейдові горизонти, що поширені майже по всій території та формують основні запаси підземних вод для господарсько-питного водопостачання. Крейдові мергелі та піски мають добрі фільтраційні властивості й утворюють потужні водоносні комплекси. У долинах річок поширені алювіальні горизонти, пов'язані з піщано-гравійними відкладами, які відіграють ключову роль у живленні малих річок [16, с. 54].

На півдні області залягають більш глинисті товщі, що знижують водопроникність і формують локальні зони слабого підземного стоку. На півночі й південному сході навпаки переважають карбонатно-піщані комплекси, що сприяють активному інфільтраційному живленню та швидкому оновленню підземних вод. Геологічна строкатість області визначила й різноманітність рельєфу – від крейдяних кряжів до лесових плато та широких терасових долин великих річок.

Сучасні геологічні процеси включають ерозійно-аккумулятивну діяльність річок, схиліві переміщення, локальні карстові явища в районах поширення

карбонатів та інтенсивну трансформацію ґрунтового покриву. Значний вплив на геологічне середовище чинять господарська діяльність, розробка корисних копалин, будівництво та зміни гідрологічного режиму, що створює потребу в регулярному моніторингу стану геологічних структур [16, с.55].

У цілому геологічна будова Харківської області є надзвичайно різноманітною й багат шаровою, що зумовлює складність її гідрогеологічних умов, багатство природних ресурсів та високу чутливість до антропогенних впливів. Вивчення геологічного розрізу регіону має ключове значення для планування водокористування, оцінки екологічного стану, моделювання підземного стоку та розроблення ефективних заходів природоохоронної політики.

### **2.3 Ландшафт і рельєф**

Рельєф Харківської області формувався впродовж тривалого геологічного розвитку та відображає взаємодію тектонічних, денудаційних і акумулятивних процесів, характерних для північно-східної частини України. Територія області розташована у межах Придніпровської низовини, що визначає її загальний рівнинний характер. Поверхня регіону являє собою хвилясту акумулятивно-денудаційну рівнину, якій притаманні плавні зміни висот, чергування підвищених та знижених ділянок і поступовий нахил у декількох напрямках. Найбільш виражений нахил спостерігається на південний захід, у бік басейну річки Дніпро, та на південний схід, у бік басейну Дону. Саме напрямки загального похилу зумовлюють формування основних вододільних систем, характер розподілу ґрунтових вод і особливості гідрографічної мережі області [5].

На рис. 2.3. представлено карту рельєфа Харківської області.

Незважаючи на загальну рівнинність, територія області відзначається рельєфним різноманіттям, спричиненим тектонічною будовою та ерозійною діяльністю річок. У північно-східну частину області заходять відроги Середньоруської височини, які формують підвищений, місцями горбистий

рельєф. Для цих ділянок характерні абсолютні висоти до 220–230 м над рівнем моря, добре розвинена яружно-балкова мережа та більш інтенсивні процеси ерозії. Середньоруська височина виступає важливим орографічним елементом, що визначає не лише морфологію рельєфу, а й характер кліматичних умов, ґрунтового покриву та рослинності.

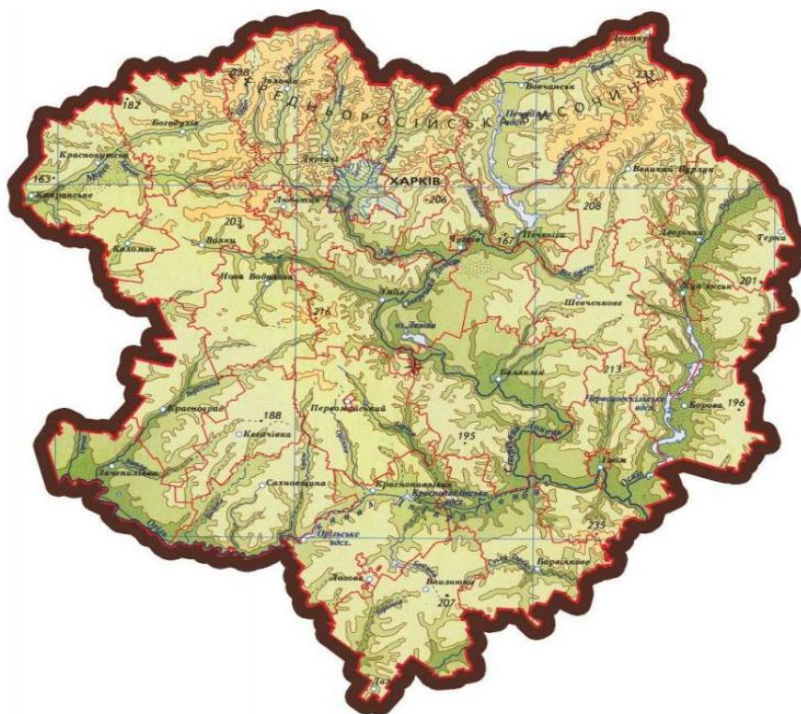


Рисунок 2.3 – Карта рельєфу Харківської області [6]

У південній частині Харківської області простягаються відроги Донецького кряжа – одного з найдавніших і найстійкіших геоструктур Східної Європи. Хоча ці відроги на території області не досягають значних висот, вони створюють підвищені ділянки з більш різким, місцями пересіченим рельєфом. Тут поширені круті схили, глибокі балки та активні ерозійні процеси. Геологічна будова Донецького кряжа зумовлює наявність стійких порід, які проявляються у формі пагорбів, уступів та локальних підвищень.

У центральній частині області домінує рівнинний ландшафт, однак його однорідність порушується численними балками, ярами та долинами річок, які створюють мозаїчність морфоструктур. Яружно-балкова мережа особливо добре розвинута на правобережжях річок Сіверський Донець, Лопань, Уди, Мжа та їхніх приток. Глибина ярів може досягати 10–20 м, а подекуди – й більше.

Формування цих форм рельєфу пояснюється інтенсивною водною ерозією, недостатньою лісистістю, розораністю територій та легкою розмиваністю лесових порід [5].

Ліси і кущові зарості, що займають приблизно 11% території області, мають тісний зв'язок із особливостями рельєфу. Основні лісові масиви зосереджені у долинах річок, на їхніх високих правих берегах, де рельєф більш крутий і менш придатний для сільськогосподарського використання. Саме ці ділянки виступають природними стабілізаторами ґрунтів, зменшуючи швидкість ерозійних процесів та сприяючи формуванню складної мікрорельєфної структури.

Степові райони на півдні та південному заході області характеризуються переважно рівнинним рельєфом, де хвилястість поверхні слабо виражена. Проте навіть у межах степових територій зустрічаються глибокі яри та балки, що є результатом тривалого впливу водної ерозії. Розораність степових ділянок сприяє посиленню ерозійних процесів, що призводить до формування нових мікрорельєфних форм і трансформації природних ландшафтів [5].

Особливістю рельєфу Харківської області є наявність вододільних височин, які сформувалися під впливом давніх тектонічних піднять та подальших денудаційних процесів. Більшість таких височин мають м'які контури, але чітко визначають напрямки поверхневого стоку. Вододіли між басейнами Дніпра та Дону є ключовими морфологічними елементами, що визначають просторову організацію рельєфу та умови формування ґрунтового покриву.

Рельєф області відіграє важливу роль у формуванні природних умов, зокрема гідрологічного режиму, розподілу ґрунтових вод і структури рослинного покриву. Рівнинний характер території сприяє розвитку сільського господарства, але водночас робить регіон вразливим до ерозійних процесів. Наявність підвищених ділянок у межах Середньоруської височини та Донецького кряжа створює умови для підвищеної фрагментованості рельєфу, що впливає на напрямки річкових долин, швидкість поверхневого стоку та локальні мікрокліматичні умови.

Таким чином, рельєф Харківської області є комплексною рівнинно-височинною системою, у якій поєднуються хвилясті рівнини, ерозійні форми, підвищені ділянки та вододільні простори. Це поєднання створює різноманітність природних ландшафтів і визначає просторову структуру природних процесів, що відбуваються на території області. Рельєф є фундаментальним компонентом природного середовища, який впливає на кліматичні, гідрологічні, ґрунтові та екологічні характеристики регіону, а також формує умови для господарського освоєння території.

## 2.4 Поверхневі води

На рис. 2.4. представлено паспорт водних об'єктів Харківської області.

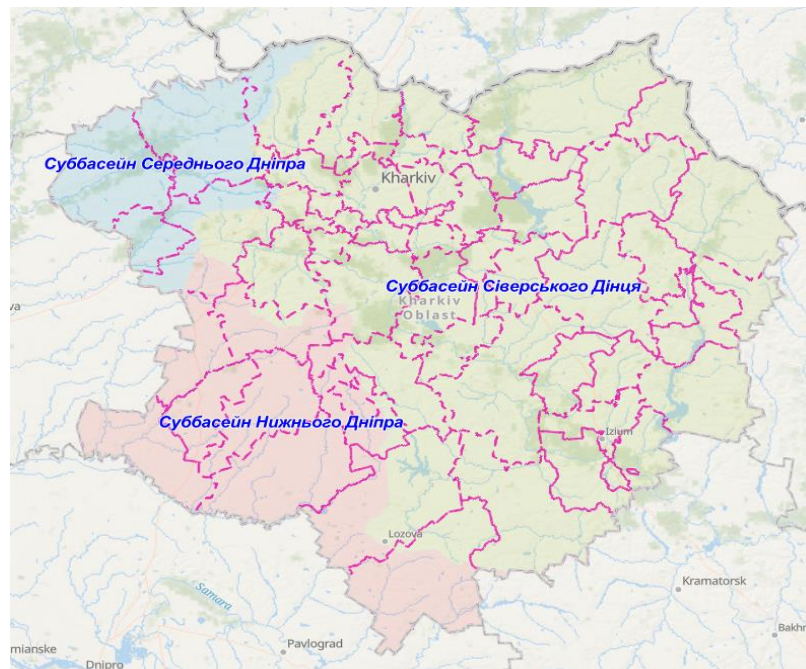


Рисунок 2.4 – Паспорт водних об'єктів Харківської області [3]

Картографічні дані, представлені на рис. 2.4, відображають просторову структуру водних об'єктів Харківської області та дають змогу здійснити науково обґрунтований аналіз басейнової організації території. Область характеризується розгалуженою системою поверхневих вод, що належать до трьох основних суббасейнів – Сіверського Дінця, Середнього Дніпра та Нижнього Дніпра. Провідне місце займає суббасейн річки Сіверський Донець, який охоплює більшу

частину території регіону та визначає переважаючі напрямки водного стоку, режим живлення підземних вод і формування водного балансу. Межі між суббасейнами збігаються з природними вододілами, що засвідчує тісний зв'язок гідрологічних процесів із геоморфологічними та геологічними особливостями території.

Поверхневі води Харківської області формують складну та розгалужену гідрографічну систему, яка відіграє ключову роль у водному балансі регіону, забезпеченні населення водними ресурсами та підтриманні екологічної стабільності лісостепових ландшафтів. Територія області розташована в басейнах двох великих річкових систем – Сіверського Дінця та Дніпра (через річку Оріль), однак абсолютна більшість водних ресурсів належить саме до басейну Сіверського Дінця. Річки області характеризуються нерівномірністю стоку, високою залежністю від сезонних опадів та значним впливом антропогенних факторів, що зумовлює потребу в системному моніторингу їхньої гідрологічної й екологічної динаміки [3].

Основною водною артерією Харківської області є Сіверський Донець – найбільша річка Східної України, яка визначає напрямки розвитку водогосподарського комплексу та формує основу поверхневого стоку регіону. У межах області річка має широку заплаву, розвинену систему терас та густу мережу приток. Її водний режим переважно сніговий, із чітко вираженою весняною повінню, літньо-осінньою межінню та періодичними літніми дощовими паводками. Значна частина води Сіверського Дінця використовується для потреб господарсько-питного водопостачання, промислових об'єктів, зрошення та теплоенергетики, а тому річка має вирішальне значення для водної безпеки області [6].

Густу мережу гідрографічної системи формують притоки Сіверського Дінця – Уди, Лопань, Харків, Мжа, Берека, Коломак, Воргла та інші. Річки Лопань і Харків, що протікають через обласний центр, мають сильно трансформований режим через урбанізацію, зарегулювання русел, втрату природних заплав і значні обсяги стічних вод. Особливо характерним є зменшення їх водності протягом

останніх десятиліть, що пов'язано зі зростанням температури, скороченням весняного сніготанення та збільшенням випаровування. Більшість приток Сіверського Дінця є малими та середніми річками, які чутливо реагують на кліматичні зміни й антропогенне навантаження: нерегульоване водокористування, осушення заплав, розорювання водоохоронних зон та скид господарсько-побутових вод.

На південному заході області беруть початок витoki річок, що належать до Дніпровського басейну, зокрема річки Оріль та її дрібні притоки. Їхній гідрологічний режим подібний до інших лісостепових річок України: порівняно коротка весняна повінь, надзвичайно низька літня межінь, а також нестабільність водності через кліматичні зміни. На окремих ділянках спостерігається тимчасове пересихання водотоків у літній період, що ще більше підкреслює залежність поверхневих вод області від атмосферних опадів та снігового живлення.

Важливою складовою поверхневих вод є водосховища та ставки, яких у Харківській області налічуються понад півтори тисячі. Серед найбільших водосховищ – Краснопавлівське, Печенізьке, Оскільське та Гаврилівське. Вони виконують функції регуляції стоку, водопостачання, зрошення та рекреації. Найбільше значення має Печенізьке водосховище, яке є головним джерелом водопостачання м. Харкова та околиць. Проте функціонування таких штучних водойм супроводжується низкою екологічних ризиків: цвітіння води, замулення, погіршення кисневого режиму та підвищення концентрацій біогенних елементів. Це вимагає впровадження ефективних стратегій моніторингу та управління водними ресурсами [6].

Окрему роль відіграють озера та заплавні водойми, більшість яких має походження, пов'язане із русловими процесами річок. Такі водойми виконують функцію природних акумуляторів води під час паводків, є середовищем існування багатьох видів флори і фауни та формують мікроклімат заплав. Водночас вони залишаються вразливими до замулення, евтрофікації та антропогенного порушення ландшафтів.

Якість поверхневих вод області характеризується різним ступенем забруднення, що залежить від структури водозбору та концентрації джерел антропогенного впливу. Найбільш проблемними залишаються ділянки річок у межах великих населених пунктів та промислових зон, де фіксуються перевищення вмісту нітратів, фосфатів, амонійного азоту, іонів важких металів та біологічного забруднення. Значну роль відіграють також агрохімічні стоки, які надходять у річки з орних земель і спричиняють вторинну евтрофікацію водойм, особливо в літній період [3].

Важливою характеристикою поверхневих вод Харківської області є їхня екологічна чутливість. Малий об'єм річкового стоку та низька водність малих річок призводять до того, що навіть незначні обсяги забруднених стоків можуть істотно змінити якість води. В окремих районах спостерігається тенденція до зменшення самоочисної здатності річок через зарегулювання русел, осушення заплав, зниження біорізноманіття та збільшення температури води [6].

Сучасні кліматичні зміни також суттєво впливають на водні ресурси. Підвищення середньорічної температури, зменшення кількості днів зі стійким сніговим покривом і збільшення кількості інтенсивних дощових опадів призводять до нерівномірності стоку, появи нетипових паводків і посилення ерозійних процесів. Зниження інфільтраційного живлення річок впливає на їхню літню водність, роблячи маловодні періоди ще тривалішими та критичнішими.

Узагальнюючи, поверхневі води Харківської області є складною і динамічною системою, яка перебуває під поєднаним впливом природних і антропогенних факторів. Їх стан визначається гідрологічним режимом, кліматичними умовами, рівнем соціально-економічного розвитку, характером землекористування та інтенсивністю водогосподарської діяльності. Раціональне управління поверхневими водами регіону вимагає інтегрованого підходу, заснованого на балансі між потребами населення, екологічними вимогами та забезпеченням стійкого водокористування в умовах кліматичних і антропогенних змін.

## 2.5 Підземні води

На рис.2.5. представлено динамічні запаси підземних вод Харківської області.



Рисунок 2.5 – Динамічні запаси підземних вод Харківської області [7]

— Ізолінії середніх багаторічних модулів підземного стоку (л/сек із км<sup>2</sup>)

*В дод.А представлено розшивку кольорів (умовних позначень)*

Аналіз карти динамічних запасів підземних вод Харківської області дає змогу зробити висновок, що регіон характеризується складною структурою формування підземного стоку, яка визначається різновіковими геологічними відкладами та неоднорідними гідрогеологічними умовами. Найбільш значні запаси підземних вод приурочені до відкладів неогенового, олігоценного та крейдового періодів, які мають високу водоносність і сприятливі фільтраційні властивості. У межах області простежуються ізолінії середніх багаторічних модулів підземного стоку, що свідчать про різну інтенсивність руху підземних вод і зміну потужності водоносних горизонтів у залежності від геологічної будови та морфології поверхні.

Наявність ділянок із відсутнім підземним стоком або з підвищеною мінералізацією вод (понад 10 г/л) вказує на локальні зони природного обмеження

водообміну, що потребують окремої уваги при водогосподарському плануванні. Формування основної маси підземного стоку відбувається в декількох водоносних горизонтах, що взаємодіють між собою, забезпечуючи стабільність підземного живлення річкової мережі. Таким чином, динамічні запаси підземних вод Харківської області мають складну просторову організацію, а їхнє раціональне використання вимагає урахування природних гідрогеологічних закономірностей, ступеня мінералізації та напрямків руху вод, що є основою для екологічно збалансованого управління водними ресурсами регіону.

У межах міста Харків спостерігаються відносно стабільні динамічні запаси підземних вод, що формуються переважно у відкладах харківської та полтавської світ, а також частково у неогенових товщах. За картографічними даними ізоліній середніх модулів підземного стоку, район міста належить до зони підвищеної водообмінності (приблизно  $1,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ ), що свідчить про активний рух підземних вод і сприятливі умови для їхнього природного живлення. Такі показники зумовлені геологічною будовою території, наявністю лесових і піщано-суглинкових відкладів, які мають високу водопроникність. Разом із тим, урбанізований характер міського середовища, значна густота забудови, розвиток інженерної інфраструктури та водовідвідних систем формують додаткові навантаження на підземні горизонти, змінюючи природний баланс інфільтрації та розвантаження. Отже, для Харкова характерне поєднання сприятливих природних умов формування запасів підземних вод із високим рівнем техногенного впливу, що потребує постійного моніторингу, контролю за якістю води й раціонального використання водних ресурсів у межах міської екосистеми.

На рис. 2.6. представлено основні водні горизонти Харківської області.



Рисунок 2.6 – Основні водні горизонти Харківської області [7]

*В дод.Б представлено розшивку кольорів (умовних позначень)*

Результати картографічного аналізу основних водоносних горизонтів Харківської області свідчать про складну багатшарову гідрогеологічну структуру, у якій беруть участь відклади різного геологічного віку – від антропогенових до крейдових, юрських і навіть девонських формацій. Найбільше практичне значення мають водоносні горизонти, приурочені до неогенових, пліоценових та крейдових відкладів, які характеризуються значною водонасиченістю, високою фільтраційною здатністю та відносною стабільністю гідродинамічного режиму. Саме ці горизонти формують основні запаси підземних вод, що забезпечують потреби господарсько-питного водопостачання населення області. Натомість глибші горизонти юрського, тріасового й девонського віку мають переважно мінералізовані води, що використовуються обмежено або з лікувально-бальнеологічною метою. Територіальна різноманітність складу водоносних товщ зумовлює нерівномірність розподілу підземних вод, їхніх запасів і хімічного складу, що визначає необхідність диференційованого підходу до оцінки та використання водних ресурсів у межах області.

У межах міста Харків і прилеглих територій формування основних водоносних горизонтів відбувається переважно в неогенових і пліоценових відкладах, а також у товщах харківської та полтавської світ. Ці горизонти мають добрі водовмісні властивості та стабільні дебїти, що забезпечує місто високоякісними підземними водами для централізованого водопостачання. Піщано-глинистий склад порід створює сприятливі умови для накопичення й природного фільтрування води, водночас захищаючи її від поверхневого забруднення. У структурі міських водоносних систем спостерігається вертикальна зональність: верхні горизонти характеризуються інтенсивним водообміном і більшою вразливістю до техногенних впливів, тоді як глибші – мають кращу захищеність, але складніші умови експлуатації. Унаслідок високого рівня урбанізації, щільності забудови та розвитку промислової зони на південному сході міста частина водоносних горизонтів зазнає локальних порушень природного гідродинамічного режиму, що потребує системного моніторингу та оптимізації водозабірних робіт. Загалом Харків має сприятливі природні умови для формування стійкої підземної гідросистеми, однак ефективно управління нею можливе лише за умови інтеграції гідрогеологічних досліджень, санітарного контролю та екологічного планування міського простору.

На рис. 2.7. представлено експлуатаційні запаси підземних вод Харківської області.

Картографічні дані, наведені на рис. 2.7., свідчать про суттєву просторову неоднорідність експлуатаційних запасів підземних вод Харківської області. Найбільші модулі експлуатаційних запасів, що перевищують 2 л/с·км<sup>2</sup>, приурочені до центральних і північних частин регіону, де зосереджені потужні водоносні горизонти неогенових і пліоценових відкладів із високою водопроникністю. Ці території формують основний потенціал підземного водопостачання області, забезпечуючи сталий гідродинамічний режим і відносно низький рівень мінералізації вод (менше 1 г/л). Південні та південно-східні райони характеризуються зменшенням модулів запасів до 0,1–0,5 л/с·км<sup>2</sup>, що

зумовлено складнішими гідрогеологічними умовами, зниженням потужності водоносних горизонтів та підвищенням мінералізації води. У окремих ділянках, переважно на південному сході, відзначається мінералізація понад 3 г/л, що свідчить про часткове засолення водоносних товщ і потребує обмеження експлуатації таких ресурсів для питного використання. Загалом область має сприятливі передумови для розвитку систем підземного водопостачання, проте ефективне використання запасів вимагає врахування просторових відмінностей у мінералізації та водовідновленні.

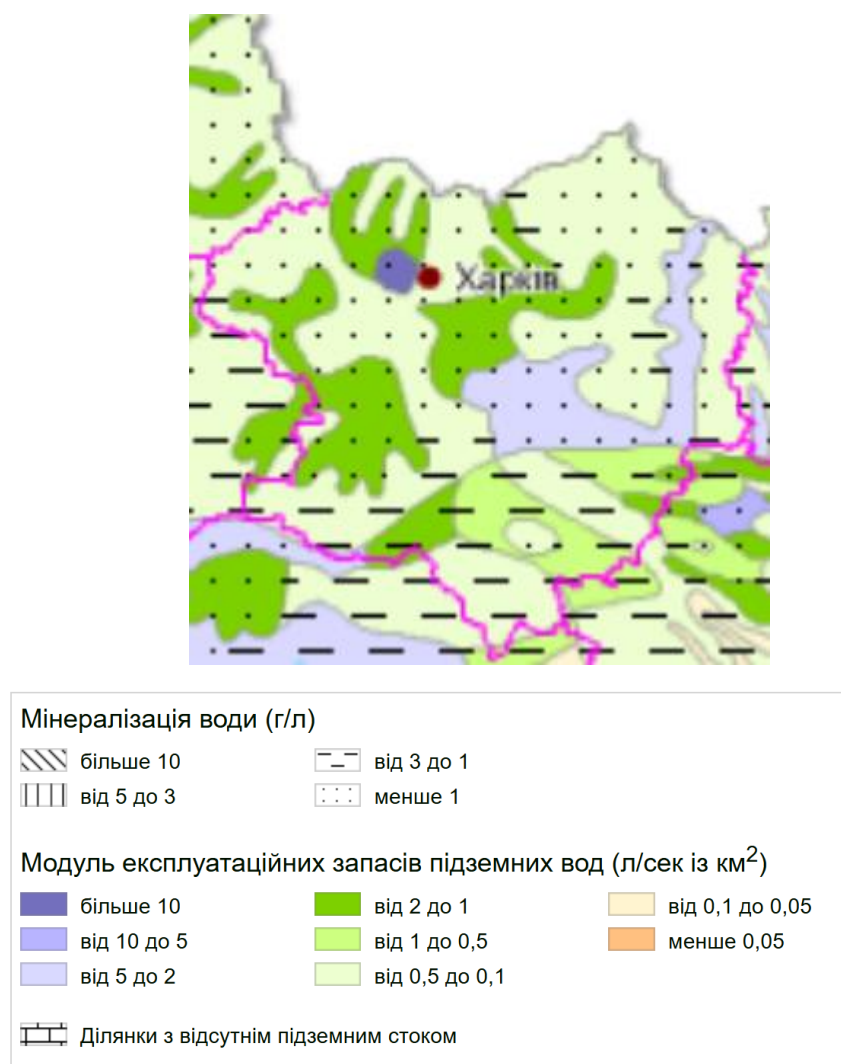


Рисунок 2.7 – Експлуатаційні запаси підземних вод Харківської області [7]

У межах міста Харків експлуатаційні запаси підземних вод характеризуються відносно високими показниками, що коливаються в межах 1–

2 л/с·км<sup>2</sup>, а місцями сягають понад 2 л/с·км<sup>2</sup>. Це свідчить про наявність потужних водоносних горизонтів, які формуються у неогенових і полтавських відкладах із добре розвинутою системою природного водообміну. Мінералізація води на більшості площі міста не перевищує 1 г/л, що вказує на високу якість підземних ресурсів і придатність їх для централізованого господарсько-питного водопостачання. Водночас у периферійних районах спостерігаються локальні зони зниженої продуктивності (0,1–0,5 л/с·км<sup>2</sup>), що пов'язано з техногенним перетворенням природного середовища та частковим виснаженням окремих водозаборів. Загалом Харків вирізняється сприятливою гідрогеологічною ситуацією, проте стабільність експлуатаційних запасів підземних вод потребує постійного моніторингу, оптимізації режиму водозбору та раціонального управління міськими водними ресурсами.

## **2.6 Системи водокористування**

### **2.6.1. Місто Харків**

Харківська область володіє однією з найбільш розвинених у Східній Україні систем централізованого водопостачання та водовідведення, що функціонує на основі інтегрованої інфраструктури міських і міжмуніципальних мереж. Місто Харків, як головний урбаністичний і промисловий центр регіону, формує основне навантаження на водогосподарський комплекс, виступаючи ключовим споживачем підземних і поверхневих водних ресурсів. Система водопостачання міста включає магістральні водогони, насосні станції, очисні споруди та розгалужену мережу розподільних комунікацій, які забезпечують постачання питної води відповідно до санітарно-гігієнічних нормативів. Разом із тим, унаслідок воєнних дій 2022–2025 рр. на працездатність системи істотно впливають фактори ризику, зокрема перебої з енергопостачанням, локальні пошкодження трубопроводів, зниження ефективності насосного обладнання та зростання втрат води в мережах. В табл. 2.1. представлено соціально-економічна характеристика (фокус: водопостачання і водовідведення).

Таблиця 2.1 – Соціально-економічна характеристика (фокус: водопостачання і водовідведення)

Блок	Важливі акценти для м.Харків
Населення та попит	Велике міське населення формує високий і відносно стабільний попит на послуги; у воєнних умовах спостерігаються часові коливання навантаження та зональні відключення через енергоризики.
Джерела та якість питної води в місті	КП «Харківводоканал» повідомляє про відповідність якості води нормативам; джерела – підземні горизонти та поверхневі водні джерела (залежно від ділянок подачі).
Водопровідна мережа (довжина, структура)	Одна з найбільших систем у країні; історичний орієнтир: понад 2,6 тис. км водоводів і мереж (станом на поч. 2014 р.); значна частка магістральних водоводів.
Каналізація (довжина, тип системи)	Система водовідведення міста – повна роздільна та децентралізована; колектори ~1 659,7 км, у т.ч. тунелі глибокого закладення ~56 км, напірні трубопроводи ~103,7 км.
Очисні споруди, нормативи та галузевий фон	В Україні зафіксовані проблеми з очисними спорудами й потреба модернізації; у регіонах бойових дій фіксувалися пошкодження/перерви роботи.
Мінералізація/якість підземних вод у регіоні	Для більшості експлуатаційних ділянок області характерна мінералізація $\leq 1$ г/л; у південно-східних зонах можливе підвищення.
Експлуатаційні та динамічні запаси	Найвищі модулі запасів зосереджені в центральній частині області, де розташований Харків; місто переважно у зоні 1–2 і вище л/с·км <sup>2</sup> .
Енергозалежність систем	Водопостачання/каналізація критично залежать від електропостачання; атаки на енергетику призводили до короткочасних зупинок насосів.
Економіка та тарифи	Тарифи публікуються КП; існують окремо для води й стоків; актуальні значення змінюються регулятором.
Післявоєнні потреби/інвестиції	На загальноукраїнському рівні оцінка пошкоджень сектору водопостачання і водовідведення – мільярдні суми; для Харківщини пріоритет – відновлення насосних станцій, мереж, реконструкція очисних споруд.

Джерело: складено автором на основі даних КП «Харківводоканал» та [5]

Аналіз соціально-економічних показників Харківської області та міста Харків свідчить про високий рівень розвитку водогосподарського комплексу, який виконує ключову функцію в забезпеченні життєдіяльності населення й промислового сектору. Централізована система водопостачання та водовідведення характеризується значною протяжністю інженерних мереж, високою щільністю водозабірних і очисних споруд, а також стабільною структурою споживання води. Регіональний водний баланс підтримується

переважно за рахунок підземних вод із неогенових і полтавських відкладів, що відзначаються доброю якістю та низьким рівнем мінералізації. Водночас функціонування системи перебуває під впливом сучасних викликів, серед яких дефіцит енергоресурсів, пошкодження об'єктів інфраструктури, підвищене навантаження на водопровідно-каналізаційні мережі та необхідність модернізації очисних споруд. Забезпечення стійкості водопостачання і водовідведення потребує впровадження енергоефективних технологій, регулярного моніторингу технічного стану об'єктів, розвитку резервних джерел водопостачання і посилення системи управління водними ресурсами на основі принципів екологічної безпеки та сталого розвитку.

Отже, комплексна оцінка стану природно-антропогенних геоекосистем Харківської області дала змогу виявити тісну взаємозалежність між природними умовами, гідрогеологічними процесами та соціально-економічними чинниками, які визначають якість і стабільність функціонування довкілля регіону. Аналіз кліматичних, ландшафтних, геологічних і гідрологічних характеристик показав, що територія області має сприятливі передумови для формування потужного водного потенціалу, зокрема за рахунок неогенових і пліоценових водоносних горизонтів, що забезпечують основні запаси підземних вод. Водночас просторовий розподіл гідрологічних параметрів характеризується вираженою неоднорідністю, що проявляється у відмінностях модулів підземного стоку, рівнів мінералізації та динамічних запасів води.

Дослідження показали, що під впливом інтенсивної урбанізації, промислової діяльності та сільськогосподарського використання земель відбуваються істотні зміни у структурі природних ландшафтів і водних систем, які набувають ознак антропогенно трансформованих геоекосистем. Особливо виразно це проявляється на території міста Харків, де спостерігається поєднання потужного природного потенціалу водоносних горизонтів із високим рівнем техногенного навантаження, що формує складну систему екологічних ризиків. Незважаючи на це, система централізованого водопостачання та водовідведення зберігає функціональну стійкість, забезпечуючи населення водою відповідно до

санітарних норм. Виявлена структура геоекосистеми регіону підтверджує, що ефективне управління природними ресурсами неможливе без інтеграції екологічних, технічних та соціально-економічних підходів.

Загалом стан компонентів природно-антропогенних геоекосистем Харківської області можна оцінити як напружений, але керований за умови впровадження системного моніторингу, відновлення пошкоджених елементів водної інфраструктури та удосконалення механізмів управління природокористуванням. Подальший розвиток регіону потребує переходу до екосистемного підходу в плануванні територій, посилення контролю за якістю водних ресурсів і впровадження адаптивних стратегій, спрямованих на підвищення екологічної стійкості та зниження антропогенного впливу на довкілля.

### ***2.6.2. Територія с. Черкаський Бишкін Чугуївського району***

Раціональне водокористування на рівні малих населених пунктів є ключовим чинником забезпечення стабільного функціонування соціально-побутової сфери, підтримання санітарно-епідеміологічної безпеки та збереження водних ресурсів. Сільські території, зокрема с. Черкаський та Нижній Бишкін Чугуївського району, характеризуються специфічною структурою водопостачання та водовідведення, яка суттєво відрізняється від систем великих міст і потребує окремої оцінки. Домінування підземних джерел води, обмежена централізація інженерних мереж, висока залежність від природно-гідрогеологічних умов і сезонних факторів визначають особливості експлуатації водогосподарського комплексу.

Узагальнення ключових показників стану водокористування дозволяє комплексно охарактеризувати існуючі системи, визначити їхні сильні й слабкі сторони, а також окреслити потенційні ризики, пов'язані з якістю води, технічним станом мереж і відсутністю централізованого водовідведення. З огляду на сучасні виклики, такі як енергозалежність насосного обладнання та необхідність забезпечення екологічної безпеки підземних вод, систематизація

даних у табличній формі є важливим аналітичним інструментом для подальшої оцінки й управління водними ресурсами території.

В табл. 2.2. представлено системи водокористування території с. Черкаський та Нижній Бишкін.

Таблиця 2.2 – Системи водокористування території с. Черкаський та Нижній Бишкін.

Блок	Основні характеристики для с. с. Черкаський та Нижній Бишкін
Населення та попит	Село має невелике населення, що формує стабільний попит на воду для побутових потреб. Споживання характеризується сезонними коливаннями (зростання влітку через полив та господарську діяльність).
Джерела водопостачання та якість води	Основним джерелом є підземні води локальних водоносних горизонтів, характерних для Лісостепової частини Харківщини. Вода зазвичай придатна для споживання, хоча в окремих свердловинах можливі підвищена жорсткість, мінералізація або вміст заліза, що пов'язано з геологічними умовами.
Водопровідна мережа (структура)	Мережа водопостачання локальна, складається з декількох магістральних та розподільчих ліній, що подають воду від свердловин до житлових будинків. Частина мережі експлуатується тривалий час, що може призводити до зниження тиску та окремих витоків.
Каналізація та водовідведення	Централізованої каналізаційної системи у селі фактично немає. Переважають індивідуальні системи відведення стоків: вигрібні ями та септики. Така структура створює ризик локального впливу на якість підземних вод за відсутності належного обслуговування.
Очисні споруди	Очисні споруди централізованого типу відсутні. Очищення стічних вод здійснюється на рівні домогосподарств через локальні системи. Контроль екологічної ефективності таких споруд ускладнений.
Гідрогеологічні умови та якість підземних вод	Підземні води залягають на невеликій глибині, живляться атмосферними опадами та частково – водами сусідніх водотоків. У регіоні поширені води з мінералізацією до 1 г/л, у деяких місцях можливе локальне підвищення жорсткості.
Енергозалежність систем водопостачання	Робота свердловин залежить від електроживлення. У разі аварій або знеструмлення можливі перерви у подачі води. Резервні системи водопостачання зазвичай не передбачені.
Стан експлуатаційних запасів підземних вод	Запаси підземних вод достатні для покриття потреб невеликого населеного пункту. Дебіт свердловин стабільний, проте можливі сезонні коливання рівня води – переважно в літній період.
Загальна характеристика системи водокористування	Водокористування у селі базується на індивідуальних та локальних джерелах водоподачі з мінімальною централізацією. Основні ризики пов'язані з відсутністю централізованої каналізації та залежністю насосного обладнання від електропостачання.

Джерело: складено автором на основі аналізу селища

Аналіз систем водокористування с. Черкаський та Нижній Бишкін свідчить, що водопостачання населеного пункту базується переважно на локальних підземних джерелах, які зазвичай забезпечують достатній дебіт і прийнятну якість води, проте залишаються вразливими до техногенних і природних впливів. Відсутність централізованої каналізаційної мережі та використання індивідуальних систем водовідведення створюють потенційні ризики для екологічного стану підземних горизонтів, особливо за умов недостатнього контролю та технічного обслуговування. Експлуатація водопровідних мереж і робота свердловин значною мірою залежать від стабільності електропостачання, що визначає чутливість села до аварійних ситуацій. Загалом система водокористування функціонує задовільно, однак потребує підвищеної уваги до моніторингу підземних вод та підтримання технічного стану інженерної інфраструктури для забезпечення довгострокової водної безпеки населення.

## РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Точки та ділянки досліджень

Дослідження ізотопного та гідрохімічного складу природних вод проведено в межах Харківської області з охопленням урбанізованої та сільської територій, що дозволяє простежити особливості формування водних ресурсів у різних природно-антропогенних умовах. Вибір об'єктів дослідження зумовлений необхідністю комплексної оцінки підземних і поверхневих вод з урахуванням гідрогеологічної будови території, характеру землекористування, типів водопостачання та ступеня антропогенного навантаження.

Як ключову урбанізовану територію дослідження обрано м. Харків – велике промислове та адміністративне місто, що характеризується складною гідрологічною мережею, щільною забудовою та значною інтенсивністю господарської діяльності. У межах міста зосереджені різні типи водних об'єктів, включаючи природні джерела підземних вод, а також поверхневі водотоки, які зазнають безпосереднього впливу міської інфраструктури. Така різноманітність створює сприятливі умови для дослідження процесів формування ізотопного та гідрохімічного складу вод в умовах урбанізованого ландшафту.

Для порівняльного аналізу з міськими умовами до дослідження залучено сільську територію на прикладі селищ Черкаський та Нижній Бишкин Чугуївського району Харківської області. Дана територія характеризується переважно приватною житловою забудовою сільського типу, локальними джерелами водопостачання та меншою щільністю антропогенних об'єктів. Водночас використання колодязів, приватних свердловин і природних джерел формує специфічні умови експлуатації підземних вод, що зумовлює доцільність їх включення до дослідження.

Таким чином, обрані ділянки дозволяють здійснити зіставлення ізотопних та гідрохімічних характеристик вод у межах різних типів територій, що є необхідним для подальшої ідентифікації факторів, які впливають на формування якості водних ресурсів.

У межах м. Харків до дослідження залучено підземні води природних джерел, що є важливими елементами локальної гідрогеологічної системи та часто використовуються населенням як альтернативні джерела водопостачання. Вибір джерел здійснювався з урахуванням їх просторового розташування, гідрогеологічних умов та доступності для відбору проб.

До переліку досліджуваних об'єктів підземних вод у межах міста увійшли джерела Сквороди, Тепличне (с. Солоницівка), Тюринське, Шатилівське, Салтівське-1 (Глибокий Яр). Зазначені джерела репрезентують різні частини міської території та відрізняються умовами живлення, що дозволяє оцінити просторову мінливість ізотопного складу підземних вод у межах урбанізованої зони.

Окрім підземних вод, у межах м. Харків досліджено поверхневі води основних річок, що формують гідрографічну мережу міста. До них належать р. Лопань, р. Уди та р. Харків. Відбір проб здійснювався у характерних точках, зокрема на вході річок у межі міста, у центральній частині та перед місцями злиття водотоків. Такий підхід дозволяє охопити різні ділянки річкового русла та врахувати зміну умов формування водного складу вздовж течії.

Залучення як підземних, так і поверхневих вод у межах м. Харків забезпечує комплексний підхід до дослідження водних ресурсів урбанізованої території та створює передумови для подальшого порівняльного аналізу з сільською місцевістю.

Сільська територія дослідження представлена населеними пунктами Черкаський та Нижній Бишкін, де основними джерелами водопостачання є колодязі, приватні свердловини та природні джерела. Така структура водокористування є типовою для сільської місцевості Харківської області та дозволяє дослідити особливості формування підземних вод в умовах локального антропогенного впливу.

До дослідження залучено воду з колодязів, розташованих у різних частинах населеного пункту, що дозволяє врахувати можливу просторову неоднорідність водоносного горизонту. Окрему групу об'єктів становлять приватні свердловини,

які відрізняються більшою глибиною водозабору та іншими умовами формування хімічного і ізотопного складу води порівняно з колодязями.

Крім того, у межах селищ досліджено природні джерела, які відображають природні умови виходу підземних вод на поверхню та можуть слугувати індикаторами регіональних гідрогеологічних процесів. Для повноти охоплення водних об'єктів до дослідження включено також поверхневі води р. Сіверський Донець, що є основною водною артерією регіону.

Залучення різних типів водних об'єктів у межах сільської території забезпечує можливість комплексної оцінки умов формування підземних і поверхневих вод та дозволяє зіставити отримані результати з даними для урбанізованої території м. Харків.

Для реалізації поставленої мети дослідження було сформовано репрезентативну мережу точок відбору проб, що охоплює підземні та поверхневі води урбанізованої території м. Харків і сільської місцевості Харківської області. Відібрані об'єкти відображають різні умови формування водних ресурсів, типи водокористування та ступінь антропогенного впливу. Перелік досліджуваних точок та їх характеристика наведені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Точки та ділянки відбору проб води

№	Тип території	Населений пункт	Тип води	Об'єкт дослідження	Характеристика точки
1	2	3	4	5	6
1.	Урбанізована	м. Харків	Підземні	Джерело Сковороди	природне джерело
2.	Урбанізована	с. Солоницівка	Підземні	Джерело Тепличне	природне джерело
3.	Урбанізована	м. Харків	Підземні	Джерело Тюринське	природне джерело
4.	Урбанізована	м. Харків	Підземні	Джерело Шатилівське	природне джерело
5.	Урбанізована	м. Харків	Підземні	Салтівське-1 (Глибокий Яр)	природне джерело
6.	Урбанізована	м. Харків	Поверхневі	р. Лопань (на вхід у місто)	річкові води
7.	Урбанізована	м. Харків	Поверхневі	р. Лопань (перед впадінням в Уди)	річкові води

## Продовження табл.3.1.

1	2	3	4	5	6
8.	Урбанізована	м. Харків	Поверхневі	р. Лопань (центр міста)	річкові води
9.	Урбанізована	м. Харків	Поверхневі	р. Уди (на виході з міста)	річкові води
10.	Урбанізована	м. Харків	Поверхневі	р. Уди (на вході в місто)	річкові води
11.	Урбанізована	м. Харків	Поверхневі	р. Харків (на вході в місто, 50 м вище впадіння р. Манжосівка)	річкові води
12.	Урбанізована	м. Харків	Поверхневі	р. Харків (перед впадінням у Лопань)	річкові води
13.	Сільська	с. Геївка	Підземні	Колодязь (вул. Підгорна, 26)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
14.	Сільська	с. Нижній Бишкін	Підземні	Колодязь (вул. Садова, 11)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
15.	Сільська	с. Нижній Бишкін	Підземні	Колодязь (вул. Садова, 32)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
16.	Сільська	с. Нижній Бишкін	Підземні	Колодязь (вул. Донецька, біля мосту)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
17.	Сільська	с. Нижній Бишкін	Підземні	Колодязь (вул. Першотравнева, 29)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
18.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Колодязь (вул. Землянична, 27)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
19.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Колодязь (вул. Миру, 30)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
20.	Сільська	с. Нижній Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Першотравнева, 33)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
21.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Миру, 107)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
22.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Землянична, 3)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
23.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Землянична, 5)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
24.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Лісова, 15)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
25.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Миру, 106)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
26.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Миру, 28)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)

1	2	3	4	5	6
27.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (вул. Миру, 29)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
28.	Сільська	с. Черкаський Бишкін	Підземні	Приватна свердловина (центр с. Черкаський Бишкін)	підземні води (другий водоносний горизонт)
29.	Сільська	с. Нижній Бишкін	Підземні	Свердловина (вул. Донецька, 49)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
30.	Сільська	с. Нижній Бишкін	Підземні	Свердловина (вул. Садова, 33)	підземні води (перший від поверхні водоносний горизонт)
31.	Сільська	Харківська область	Поверхневі	р. Сіверський Донець	річкові води

На рис.3.1. представлено точки відбору проб води в м. Харків.

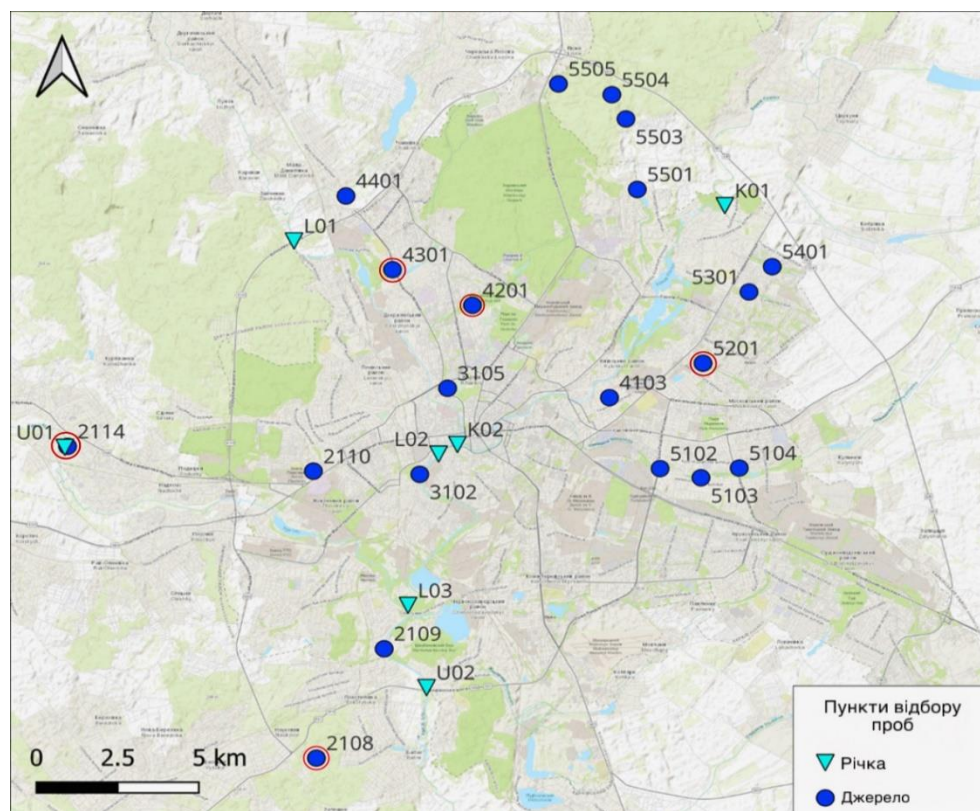


Рисунок 3.1 – Точки відбору проб води в урбанізованій території (4301 – с. Солоницівка, джерело Тюринське, 4201 – м. Харків, джерело Шатилівське, 2108 – м. Харків, джерело Сквороди, 5201 – м. Харків, джерело Глибокий Яр, 2114 – м. Харків, джерело Тепличне)

На рис. 3.2. представлено точки забору проб води в с. Черкаський Бишкін та с. Нижній Бишкін.

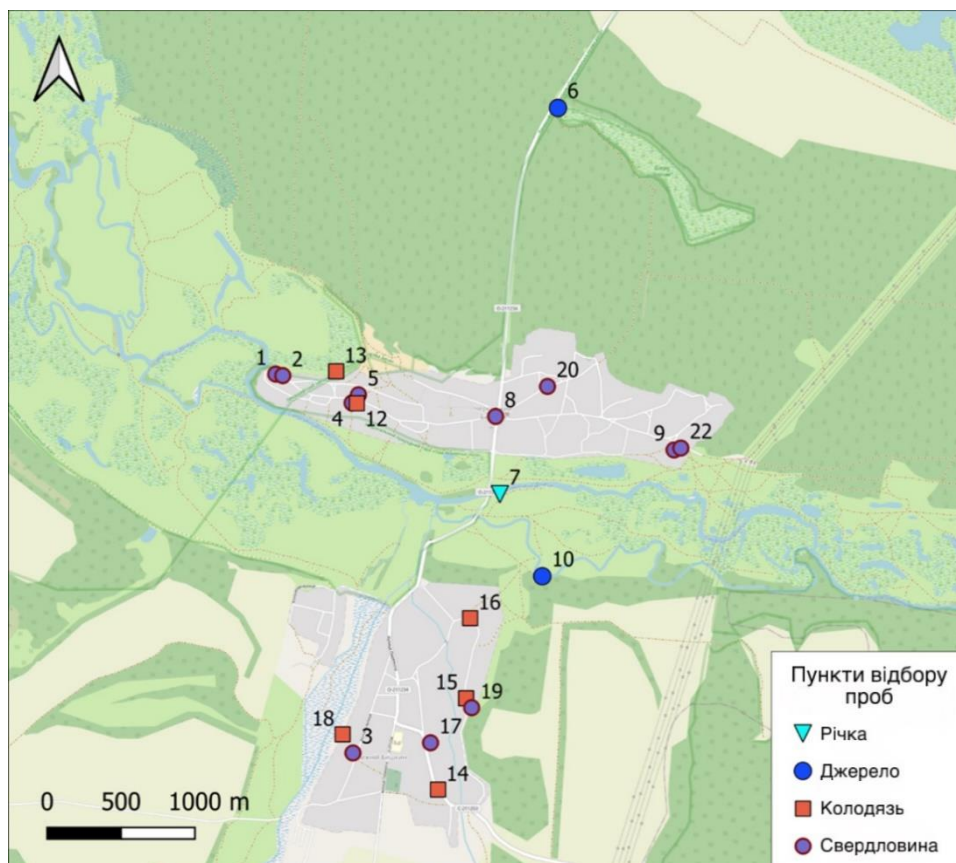


Рисунок 3.2 – Точки забору проб води в с. Черкаський Бишкін та с. Нижній Бишкін.

Вибір точок відбору проб води здійснювався з урахуванням необхідності комплексного охоплення різних типів водних об'єктів, умов їх формування та просторової неоднорідності в межах урбанізованих і сільських територій Харківської області. До мережі досліджень включено підземні та поверхневі води, представлені природними джерелами, колодзями, приватними свердловинами та річковими ділянками, що дозволяє врахувати як природні гідрогеологічні чинники, так і вплив різних форм антропогенного навантаження. Просторове розміщення точок забезпечує відображення як міських умов формування вод (м. Харків), так і особливостей сільських територій, зокрема в межах населених пунктів Нижній Бишкін та Черкаський Бишкін.

Таким чином, сформована мережа точок дослідження є репрезентативною та методично обґрунтованою, що створює надійну основу для подальшого аналізу ізотопного складу та гідрохімічних показників вод. Запропонований

підхід дозволяє здійснити порівняльну оцінку стану водних ресурсів у різних природно-антропогенних умовах і забезпечує досягнення поставленої мети дослідження.

### **3.2 Методика відбирання проб**

Методика відбирання проб є ключовим етапом гідрогеохімічних та ізотопно-гідрологічних досліджень, оскільки саме на цьому етапі формується основа достовірності подальших аналітичних результатів. Коректно організований відбір проб дозволяє мінімізувати вплив випадкових факторів, забезпечити репрезентативність вибірки та зберегти природні фізико-хімічні й ізотопні характеристики води до моменту лабораторного аналізу.

У межах даної роботи методика відбору проб була розроблена з урахуванням специфіки досліджуваних об'єктів, які охоплюють як урбанізовану територію м. Харків, так і сільську місцевість Харківської області (населені пункти Нижній Бишкін, Черкаський Бишкін, с. Геївка). Такий підхід дозволив забезпечити співставність результатів для різних типів водних об'єктів та умов їх формування, а також створити методичну основу для ідентифікації природних і антропогенних чинників, що впливають на якість вод.

В табл.3.2. представлено характеристику методів відбирання проб води в межах досліджуваних територій.

Відбір проб підземних вод здійснювався з джерел, колодязів та свердловин, які використовуються для господарсько-питних потреб населення. Перед безпосереднім відбором проб ємності ретельно промивалися водою з відповідного джерела з метою уникнення стороннього забруднення та впливу залишкових домішок. Заповнення ємностей проводилося таким чином, щоб між водою та кришкою не залишалася повітряного прошарку, що є принципово важливим для збереження ізотопного складу.

Таблиця 3.2 – Характеристика методів відбирання проб води в межах досліджуваних територій

Тип води	Об'єкти відбору	Тип проби	Ємність для відбору	Особливості відбору
Атмосферні опади	м. Харків	Акумулятивна	Пластикова, герметична	Накопичення опадів протягом визначеного періоду з мінімізацією випаровування
Підземні води (місто)	Джерела, свердловини м. Харків	Разова	Пластикова, 50 мл / 0,5 л	Попереднє промивання ємності водою з джерела
Підземні води (сільська місцевість)	Колодязі, приватні свердловини (Нижній Бишкін, Черкаський Бишкін, с. Геївка)	Разова	Пластикова, 50 мл / 0,5 л	Відбір після стабілізації дебіту
Поверхневі води	Річки Харкова, р. Сіверський Донець	Разова	Пластикова, 0,5 л	Відбір із середини потоку або на відстані від берега за можливості

Для ізотопного аналізу стабільних ізотопів водню та кисню використовувалися пластикові ємності об'ємом 50 мл, які щільно закривалися та зберігалися в умовах, що унеможливають випаровування. Проби для гідрохімічного аналізу основних іонів і нітратів відбиралися в ємності об'ємом 0,5 л, що дозволяло забезпечити достатній об'єм води для повного комплексу аналізів. Проби на стабільні ізотопи зберігалися до передачі на лабораторний аналіз у темряві та в прохолодних умовах для запобігання випаровуванню води.

Відбір поверхневих вод проводився у характерних точках русел річок з урахуванням гідрологічних умов. Проби відбиралися переважно з ділянок із рівномірною течією, на відстані від берегової зони, що мінімізує локальний вплив донних відкладів та прибережних джерел забруднення. Такий підхід забезпечував отримання зразків, які найбільш повно відображають середній гідрохімічний та ізотопний стан водотоків.

Атмосферні опади відбиралися за акумулятивним принципом, що дозволяє отримати інтегральну характеристику ізотопного складу опадів за певний період. Конструкція пробовідбірника забезпечувала накопичення опадів без їх

повторного випаровування, що є критично важливим для коректної інтерпретації ізотопних даних.

У процесі польових робіт з використанням портативних приладів паралельно фіксувалися основні параметри стану води, зокрема температура, електропровідність, водневий показник та окисно-відновний потенціал. Ці показники використовувалися для загальної характеристики умов формування вод та подальшого аналізу можливих трансформацій гідрохімічного складу.

Застосована методика відбору проб забезпечує комплексний та зіставний підхід до дослідження вод різного походження й умов формування. Поєднання відбору підземних, поверхневих вод і атмосферних опадів дозволило сформуванню репрезентативну вибірку, достатню для аналізу просторових відмінностей та ідентифікації впливу природних і антропогенних чинників. Таким чином, обрана методика створює надійну методичну основу для подальшого аналізу ізотопних і гідрохімічних показників, представлених у наступному розділі роботи.

### **3.3 Методи лабораторних досліджень**

Лабораторні дослідження водних проб були спрямовані на комплексну оцінку їх ізотопного та гідрохімічного складу з метою виявлення особливостей формування вод, а також ідентифікації природних і антропогенних чинників, що впливають на якість підземних і поверхневих вод досліджуваних територій м. Харків та Харківської області. Обраний комплекс аналітичних методів забезпечував отримання репрезентативних і зіставних результатів, придатних для подальшого порівняльного аналізу та інтерпретації.

Гідрохімічний аналіз вод включав визначення вмісту основних іонів, які формують іонно-сольовий склад води та найбільш чутливо реагують на зміни умов водообміну й антропогенне навантаження. До переліку визначуваних компонентів належали хлориди ( $\text{Cl}^-$ ), сульфати ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), гідрокарбонати ( $\text{HCO}_3^-$ ), кальцій ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магній ( $\text{Mg}^{2+}$ ), а також вміст лужних металів – натрію та калію ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ). Додатково визначався вміст нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ), які розглядаються як

індикатор впливу господарської діяльності, зокрема аграрного використання територій і нецентралізованих систем водовідведення.

Визначення основних іонів проводилося методами класичного хімічного аналізу з використанням титриметричних і фотометричних підходів, що дозволяють отримати достовірні результати при аналізі вод різної мінералізації. Отримані концентрації компонентів виражалися у масових одиницях (мг/дм<sup>3</sup>), що є стандартним підходом для подальшого розрахунку похідних гідрохімічних показників. Для забезпечення коректності інтерпретації результати аналізів підлягали контролю іонного балансу, що дозволяло оцінити аналітичну узгодженість визначених катіонів і аніонів.

Для поглибленої інтерпретації гідрохімічного складу вод проводився перерахунок масових концентрацій іонів у еквівалентні одиниці. Еквівалентна концентрація кожного іона розраховувалася як відношення масової концентрації до еквівалентної маси відповідного іона, яка визначається співвідношенням його молярної маси та величини електричного заряду. Такий підхід дозволяє коректно порівнювати внесок різних іонів у загальний іонний склад води незалежно від їх хімічної природи.

На основі еквівалентних концентрацій здійснювався розрахунок процент-еквівалентного вмісту основних катіонів і аніонів. Процент-еквівалентна форма подання результатів полягає у визначенні частки кожного іона у загальній сумі еквівалентів відповідної групи. Для аніонів за 100 % приймалася сума еквівалентних концентрацій  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  та  $\text{Cl}^-$ , тоді як для катіонів – сума еквівалентів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ . Така форма представлення даних є найбільш інформативною при побудові гідрохімічних діаграм і дозволяє наочно відобразити домінуючі іонні компоненти у складі води.

Для класифікації вод за гідрохімічним типом і аналізу особливостей їх формування використовувалася діаграма Пайпера, яка була побудована на основі процент-еквівалентних значень іонів. Діаграма Пайпера є універсальним інструментом для узагальненої оцінки хімічного складу природних вод і дозволяє простежити закономірності зміни іонного складу в умовах різного ступеня

водообміну, мінералізації та антропогенного впливу. Побудова діаграм здійснювалася з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, що забезпечувало коректність графічного представлення даних.

Ізотопний аналіз водних проб був спрямований на визначення співвідношень стабільних ізотопів водню ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ) та кисню ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ), які є чутливими індикаторами походження вод, умов їх інфільтрації та подальшої трансформації. Вимірювання ізотопного складу проводилися методом лазерної абсорбційної спектроскопії з використанням принципу затухання світлового сигналу в оптичній резонаторній кюветі. Даний метод забезпечує високу точність вимірювань та дозволяє одночасно визначати ізотопні співвідношення водню і кисню в одній пробі.

Результати ізотопного аналізу представлялися у вигляді  $\delta$ -значень, що розраховуються відносно міжнародного еталону Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW). Ізотопний склад кожної проби обчислювався за формулою:

$$\delta = ((R_s / R_{st}) - 1) * 1000 \quad (3.1)$$

де  $R_s$  – ізотопне співвідношення ( $^2\text{H}/^1\text{H}$  або  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) у досліджуваній пробі,  $R_{st}$  – відповідне співвідношення в еталонному стандарті VSMOW.

Отримані значення виражалися в проміле (‰), що є загальноприйнятим форматом представлення ізотопних даних у гідрологічних дослідженнях.

Для оцінки відхилень ізотопного складу вод від умов рівноважного формування використовувався параметр дейтерієвого надлишку (d-excess), який розраховувався за співвідношенням:

$$\text{d-excess} = \delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O} \quad (3.2)$$

Значення d-excess дозволяє отримати додаткову інформацію щодо умов випаровування та кліматичних особливостей формування опадів, а також виявити можливі процеси вторинного збагачення або фракціонування ізотопів у підземних водах. Аналіз цього параметра є важливим при розмежуванні природних ізотопних сигналів і можливих антропогенних впливів.

Для інтерпретації ізотопних даних використовувалися глобальна лінія метеорних вод (GMWL) та локальна лінія метеорних вод (LMWL), що дозволяло

оцінити ступінь відповідності ізотопного складу підземних і поверхневих вод сучасним атмосферним опадам. Положення точок досліджуваних вод відносно цих ліній слугувало основою для висновків щодо механізмів живлення водоносних горизонтів та ролі випаровувальних процесів.

Статистична обробка результатів лабораторних досліджень здійснювалася із застосуванням базових методів описової статистики. Для кожного показника визначалися мінімальні, максимальні та середні значення, а також аналізувався діапазон їх варіацій у межах окремих груп вод. Такий підхід дозволив узагальнити отримані дані та забезпечити коректність їх подальшого порівняння між різними ділянками досліджень.

Таким чином, застосований комплекс лабораторних методів забезпечив детальну характеристику як ізотопного, так і гідрохімічного складу вод досліджуваних територій. Поєднання класичних хімічних аналізів з високоточними ізотопними вимірюваннями створило надійну аналітичну основу для подальшої інтерпретації результатів та ідентифікації антропогенних впливів, що розглядаються у наступному розділі роботи.

## РОЗДІЛ 4 ІДЕНТИФІКАЦІЯ АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ НА ВОДИ МІСЬКОЇ ТА СІЛЬСЬКОЇ ТЕРИТОРІЇ ЗА ІЗОТОПНИМИ ТА ГІДРОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Формування якості та ізотопного складу природних вод у межах міських і сільських територій відбувається під впливом поєднання природних гідрогеологічних чинників і антропогенного навантаження, інтенсивність якого суттєво зростає в умовах урбанізації. Зміна режимів інфільтрації, порушення природного водного балансу, а також локальні джерела техногенного впливу можуть призводити до трансформації хімічних і ізотопних характеристик підземних вод, що ускладнює розмежування природних і антропогенних компонентів їх формування. Саме тому комплексне використання стабільних ізотопів водню й кисню разом із гідрохімічними показниками є ефективним інструментом для виявлення особливостей живлення підземних вод, оцінки ступеня їх гідрогеологічної захищеності та ідентифікації можливих антропогенних впливів у різних типах територій.

На рис. 4.1. представлено ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод із джерела Тепличне у передмісті Харкова.

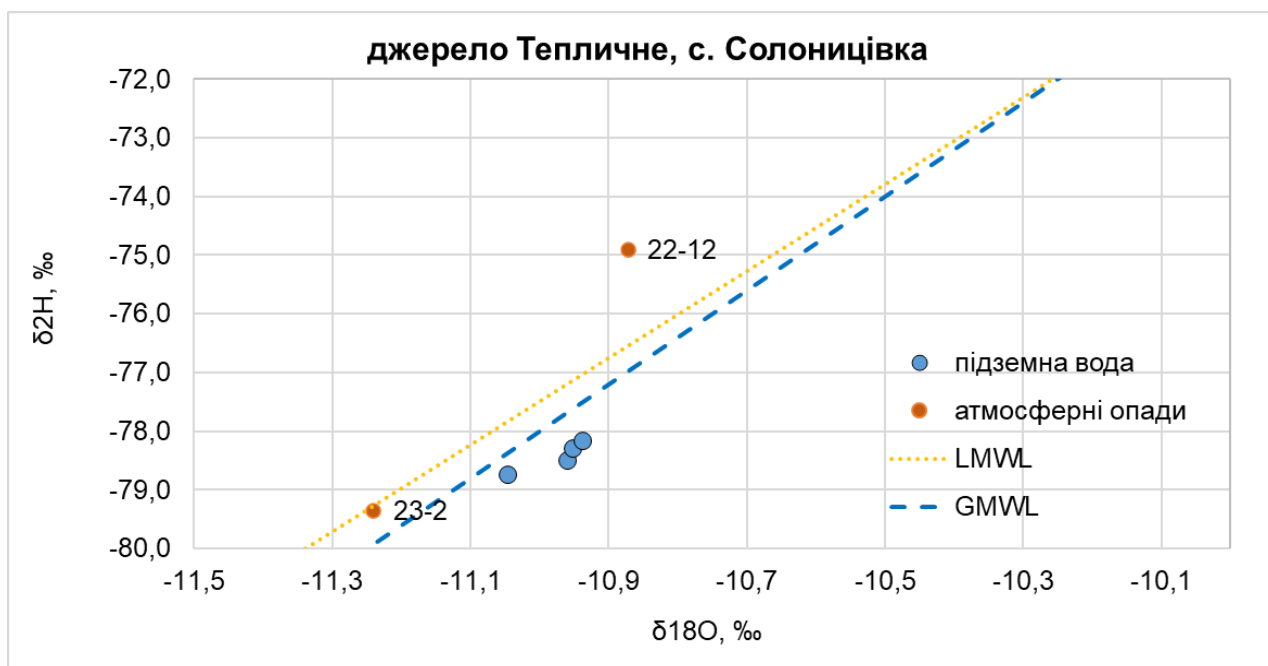


Рисунок 4.1 – Ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземної води з джерела Тепличне

Отримані значення  $\delta^{18}\text{O}$  (-11,4...-10,4‰) та  $\delta^2\text{H}$  (-82...-73‰) свідчать про атмосферне походження вод і відповідають типовому діапазону інфільтраційних вод Лівобережного Лісостепу України. Відносна сталість ізотопних показників у всі чотири дати відбору демонструє, що водоносний горизонт живиться переважно за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, без суттєвих техногенних або поверхневих домішок. Розташування проб поблизу локальної лінії метеорної води (LMWL) підтверджує природний механізм формування підземних вод і відсутність значного впливу процесів випаровування або змішування з іншими водами, наприклад, побутовими стічними, що зазвичай спричиняють збагачення важкими ізотопами та порушення співвідношення  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$ .

Певне збагачення важкими ізотопами окремих проб, переважно літніх відборів, характеризується зміщенням точок у напрямку, який відповідає слабкому випарувальному ефекту. Таке явище природно пояснюється сезонними кліматичними умовами, зокрема інфільтрацією води після короткочасних дощових подій, коли частина опадів піддається попередньому випаровуванню на нагрітому ґрунті. У міській околиці та приватному секторі, де поверхня ґрунту часто порушена або переущільнена, подібні ізотопні зсуви є закономірними. Водночас їхня величина не є суттєвою і не порушує загальний природний ізотопний «підпис», що підтверджує природне походження вод навіть у літній період.

Важливо підкреслити, що підземні води не виявляють ознак антропогенного ізотопного сигналу. Як правило, побутові та каналізаційні стоки характеризуються значно вищим вмістом важких ізотопів та зміненням d-excess, однак у досліджених пробах таких відхилень не зафіксовано. Незважаючи на потенційні ризики, пов'язані з локальними вигрібними ямами і поверхневим стоком у зоні приватної забудови, ізотопні показники засвідчують відсутність системного проникнення побутових стічних вод у водоносний горизонт. Це свідчить про його відносну гідрогеологічну захищеність і про те, що інфільтрація у цій місцевості переважно природного походження. Іншим сприятливим

фактором може бути надійність гідроізоляції вигрібних ям у житловій забудові саме в районі розташування джерела.

Порівняння отриманих даних з контрольними значеннями атмосферних опадів м. Харкова ( $\delta^{18}\text{O} \approx -11,03\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} \approx -76,4\text{‰}$ ) демонструє практично повну відповідність середніх показників, що свідчить про належність підземних вод досліджуваного масиву до загальної регіональної водно-ізотопної системи. Узгодженість між локальними і регіональними даними підтверджує, що водоносний горизонт формується за загальними кліматичними закономірностями та зберігає стабільність незалежно від локальних умов забудови. Найближчі до джерельної води за ізотопним складом атмосферні опади належать до холодного періоду року (грудень, лютий), що додатково підтверджує сезонне природне живлення підземних вод.

Простежена сталість ізотопного складу у 2023–2024 рр. є ключовим індикатором екологічної стабільності. Відсутність довгострокових ізотопних змін свідчить, що водоносний горизонт не зазнає прогресуючого техногенного навантаження та функціонує у режимі природної рівноваги. Ізотопні параметри характеризуються високою повторюваністю у аналогічні сезони різних років, що є ознакою сталого механізму живлення підземних вод, залежного насамперед від кліматичних факторів.

Отже, ізотопний аналіз підземних вод з дослідженої ділянки у передмістях Харкова демонструє, що досліджений водоносний горизонт перебуває у природному стані, має стабільне атмосферне походження та не зазнає суттєвого антропогенного впливу. Незначні сезонні ізотопні зміщення не впливають на загальний характер водної системи та відображають лише природну варіабельність умов інфільтрації. Отримані результати можуть використовуватися як надійний базовий орієнтир (Baseline) для подальших досліджень, моніторингу екологічного стану території та оцінки ризиків потенційного забруднення підземних вод у межах міста.

На рис. 4.2. представлено ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод із джерела Сковороди, розташованого за містом у лісовій зоні.

Ізотопний аналіз підземних вод із джерела Сковороди (м. Харків), виконаний за даними відбору проб у 2023–2024 роках, засвідчує однорідність і стабільність ізотопного складу водоносного горизонту. Положення точок підземних вод на діаграмі  $\delta^{2}\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  узгоджується з локальною лінією метеорних вод (LMWL), а їх розташування відносно глобальної метеорної лінії (GMWL) вказує на метеорне походження вод без ознак суттєвого випарувального зсуву. Паралельність ізотопного тренду підземних вод до GMWL свідчить про збереження первинного ізотопного сигналу атмосферних опадів у процесі інфільтрації та фільтрації в зоні аерації.

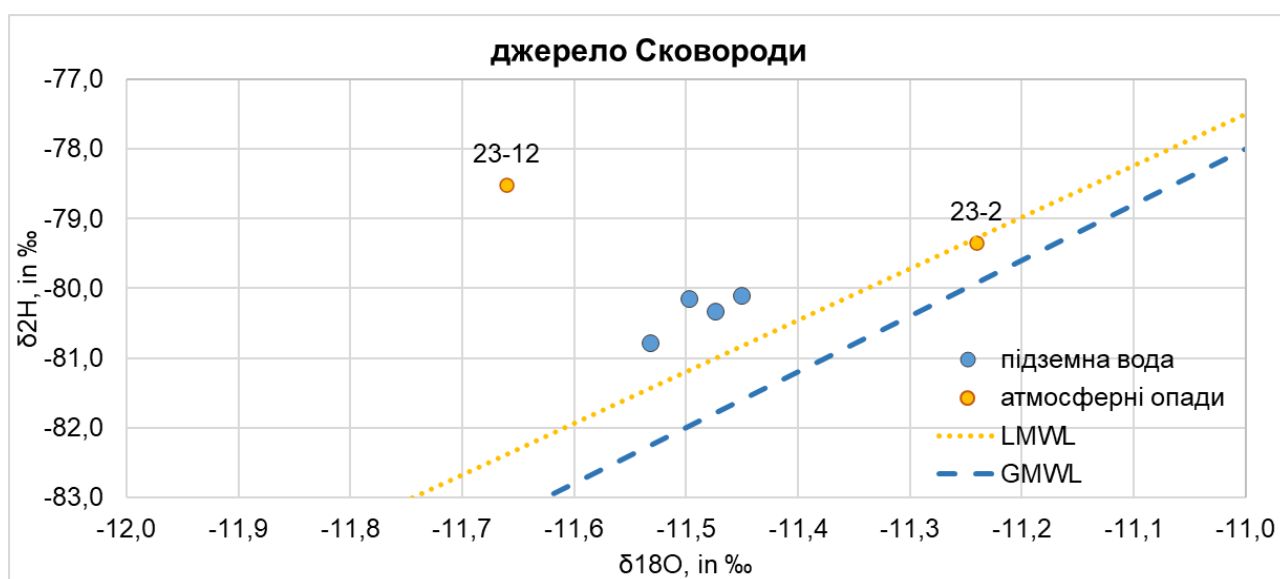


Рисунок 4.2 – Ізотопний склад  $\delta^{2}\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод із джерела Сковороди

Порівняння ізотопних характеристик підземних вод із даними атмосферних опадів демонструє зсув значень  $\delta^{18}\text{O}$  та  $\delta^{2}\text{H}$  у бік більш негативних величин, що інтерпретується як наслідок переважання зимово-весняного живлення з підвищеною часткою талих вод. Про це також свідчить розташування точок джерела на графіку вище локальної лінії метеорних вод (LMWL) із більшим зсувом за дейтерієм, ніж за киснем-18. Обмежена сезонна мінливість ізотопного складу та відсутність розширених ізотопних кластерів або аномалій свідчать про стабільний режим живлення та ефективний природний захист водоносного горизонту від швидких антропогенних впливів. Загалом ізотопні ознаки дозволяють характеризувати ділянку Сковороди як гідрогеологічно

стійку, де підземні води зберігають природне походження і відображають регіональний кліматичний сигнал без суттєвої модифікації в умовах урбанізованого середовища.

На рис. 4.3. представлено ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод із джерела Тюринське, яке розташовано переважно у малоповерховій житловій забудові в м. Харків.

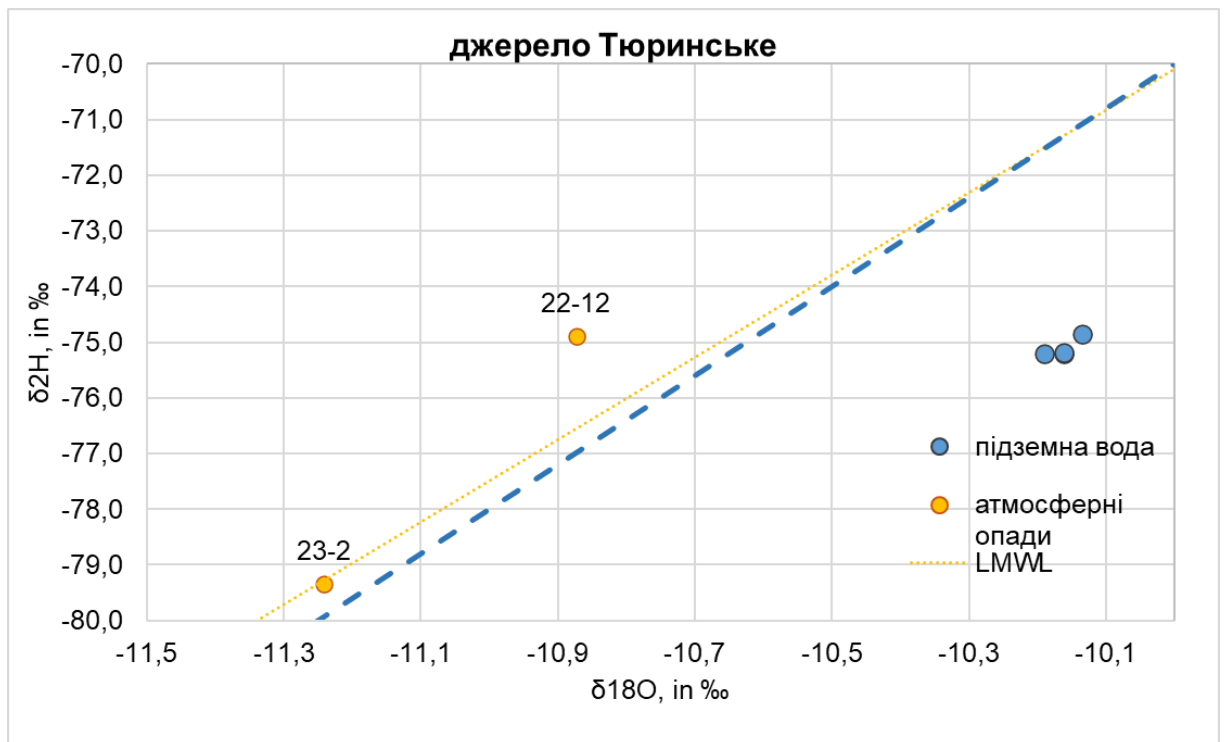


Рисунок 4.3 – Ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод урбанізованої околиці м. Харкова (ділянка: Тюринське)

Ізотопний аналіз підземних вод ділянки Тюринське, Харків за період спостережень 2023–2024 років, виявив, що джерельна вода помітно збагачена важкими ізотопами у порівнянні з лініями LMWL і GMWL. На графіку точки зміщені вправо і вниз від ліній, що свідчить про чіткий сигнал випаровування. Оскільки цей водоносний горизонт живиться атмосферними опадами переважно холодного періоду року, такий ізотопний склад, збагачений на важкі ізотопи, свідчить про змішування підземної води з водою, що зазнала попереднього випаровування. У даному випадку, враховуючи переважання малоповерхової житлової забудови вище джерела за потоком, можна стверджувати, що основною

причиною збагачення ізотопами підземних вод у водоносному горизонті є їх змішування з витокami з водопровідних комунікацій, інфільтрації води в ході поливу присадибних ділянок та, можливо, інфільтрації побутових стічних вод.

На рис. 4.4. представлено ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод урбанізованої околиці м. Харкова (ділянка: Глибокий Яр).

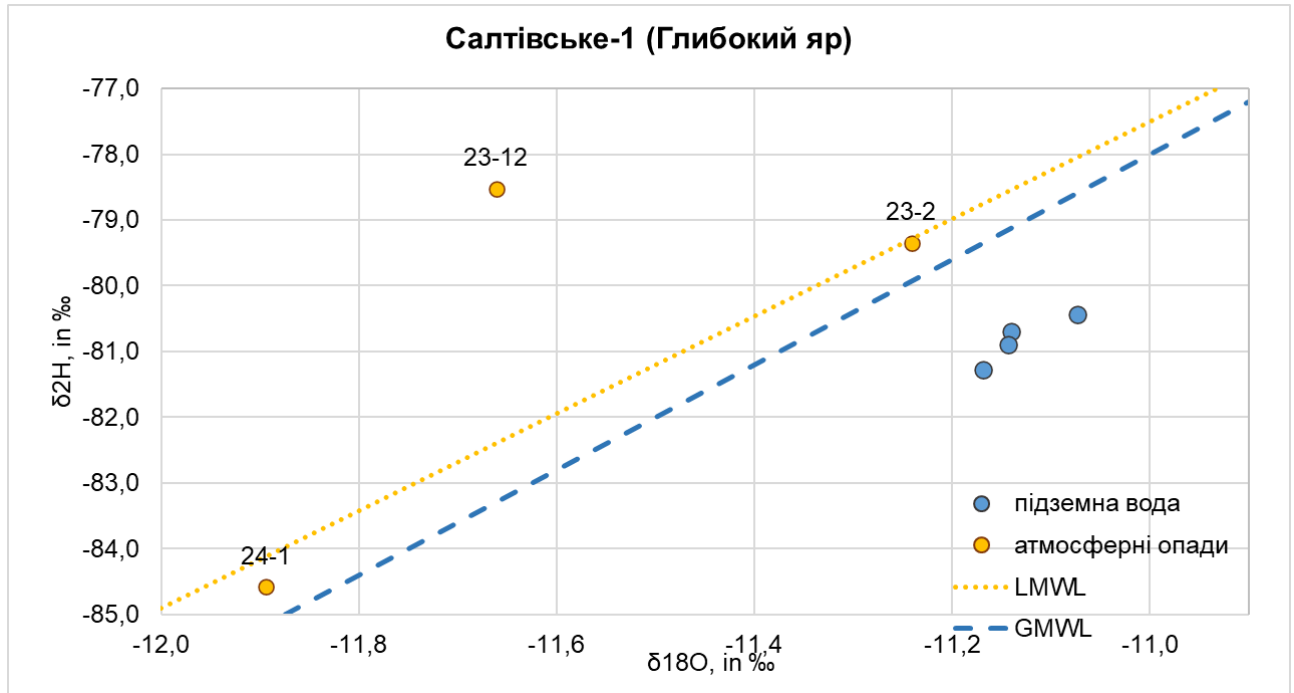


Рисунок 4.4 – Ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод урбанізованої околиці м. Харкова (ділянка: Глибокий Яр)

Ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  для ділянки Глибокий Яр демонструє чітке зміщення частини проб відносно локальної метеорної водної лінії (LMWL), що свідчить про зміну умов формування підземних вод порівняно з чистим атмосферним живленням. Проби, відібрані у 2023–2024 рр., групуються у двох ізотопних доменах:

- 1) проби, розташовані поблизу LMWL, що відображають природну інфільтрацію атмосферних опадів;
- 2) проби, зміщені вниз відносно LMWL, зі зниженим d-excess та зменшеним нахилом трендової лінії, що свідчить про часткове випарне фракціонування в переднадходженні у водоносний горизонт.

Трендова лінія для підземних вод району має нахил менший, ніж глобальна метеорна водна лінія (GMWL), що характерно для вод, які зазнали попереднього випаровування на поверхні або у верхніх ґрунтових горизонтах, це вказує, що частина вод, які живлять ділянку, зазнає подовженого перебування в зоні аерації, де можливе випарне збагачення важкими ізотопами кисню та водню.

Ділянка характеризується також вузьким діапазоном  $\delta^{18}\text{O}$  (від -11,2 до -11,0‰) та  $\delta^2\text{H}$  (від -81 до -80‰), що вказує на стабільний тип живлення підземних вод, але проби з нижчим d-excess чітко відокремлюються від основної групи. Саме це відхилення є ключовим ізотопним показником, який засвідчує, що частина вод надходить у водоносний горизонт після контакту з поверхневим середовищем, де відбуваються випаровні зміни.

На графіку чітко видно, що ізотопна лінія тренду підземних вод Глибокого Яру має кут, проміжний між GMWL та випарною лінією, що є характерною ознакою змішування двох компонентів: атмосферної інфільтраційної води, води, що зазнала часткового випарного впливу.

Таким чином, ізотопний склад підземних вод ділянки не є повністю природним аналогом атмосферних опадів, а відображає комбінований механізм живлення, у якому присутня частка води імпактного типу – тобто такої, що перед надходженням у водоносний горизонт зазнала поверхневого випаровного збагачення.

На рис. 4.5. представлено ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод урбанізованої околиці м. Харкова (ділянка: Шатилівське).

Ізотопний склад підземних вод джерела Шатилівське за результатами спостережень 2023–2024 років характеризується суттєвими відхиленнями від локальної та глобальної ліній метеорних вод, що свідчить про відсутність домінуючого прямого атмосферного живлення. Точки підземних вод розташовані у полі ізотопних значень, збагачених важкими ізотопами водню та кисню, і формують окремий кластер, близький за положенням до ізотопного складу поверхневих вод. Такий характер розподілу не відповідає класичній

інфільтраційній моделі формування підземних вод і вказує на участь вод, що зазнали попередньої ізотопної трансформації.

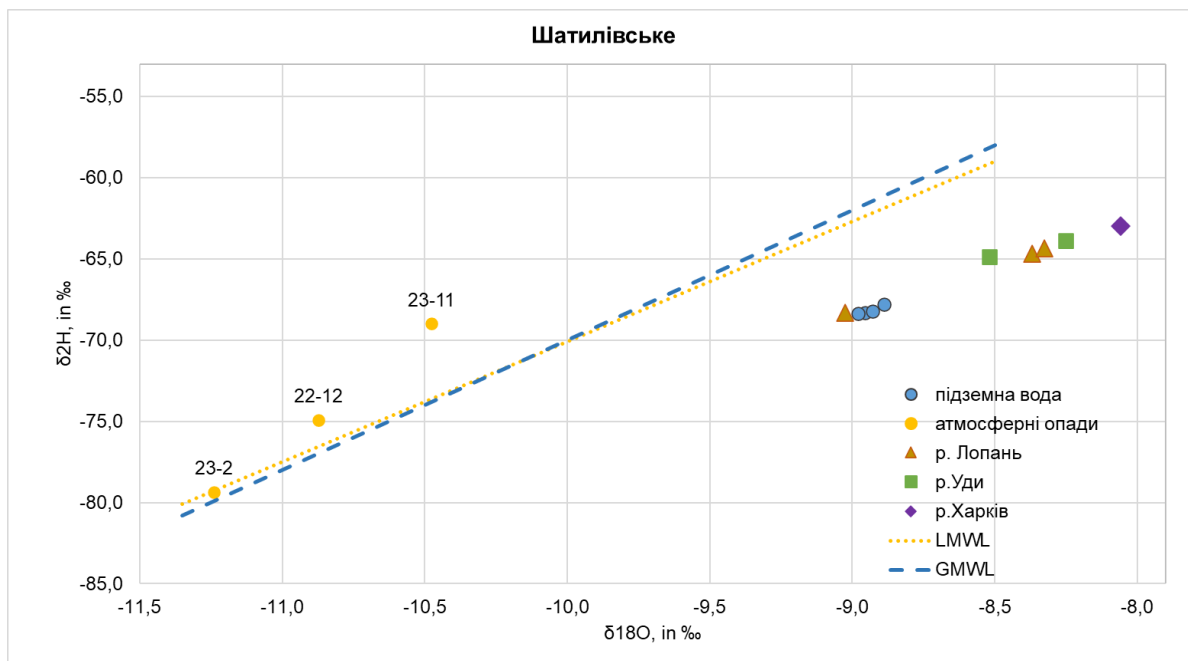


Рисунок 4.5 – Ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних вод урбанізованої околиці м. Харкова (ділянка: Шатилівське)

Порівняння ізотопних характеристик підземних вод джерела Шатилівське з поверхневими водами річок Лопань, Уди та Харків демонструє їхню ізотопну близькість, що свідчить про змішування підземних вод із компонентами річкового походження. Ізотопні значення  $\delta^{18}\text{O}$  та  $\delta^2\text{H}$  підземних вод практично збігаються з полем поверхневих вод, що є характерною ознакою гідравлічного або квазігідравлічного зв'язку з річковою мережею. Така ізотопна подібність виключає домінування чистого атмосферного живлення і вказує на значний внесок урбанізованого поверхневого стоку та/або інфільтрації витоків води з водопровідних комунікацій, яка є вихідно річковою водою з р. Сіверський Донець та каналу Дніпро-Донбас.

Виявлений ізотопний сигнал дозволяє інтерпретувати джерело Шатилівське як гідрогеологічно вразливу систему, сформовану в умовах інтенсивного антропогенного впливу. Основними чинниками формування ізотопного складу підземних вод у даному випадку є змішування з поверхневими водами, інфільтрація урбанізованого стоку та можливе надходження вод із

техногенно змінених резервуарів. Таким чином, ділянка Шатилівське характеризується найбільш вираженим урбанізаційним впливом серед досліджених об'єктів, що повністю узгоджується з ізотопною позицією точок на діаграмі  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  та підтверджує ефективність ізотопного підходу для ідентифікації антропогенно модифікованих вод.

В табл. 4.1. представлено порівняльну ізотопну характеристику підземних вод досліджених ділянок та оцінка антропогенного впливу.

Таблиця 4.1 – Порівняльна ізотопна характеристика підземних вод досліджених ділянок м.Харків та оцінка антропогенного впливу

Ділянка	Характер розподілу точок	Інтерпретація з погляду живлення	Оцінка антропогенного впливу
Тепличне	Розкид значень малий; сезонні зміни плавні	Переважно пряме інфільтраційне живлення атмосферними опадами, без істотної модифікації в зоні аерації	Низький, ізотопно не фіксується
Сковороди	Розкид значень середній, є сезонні зрушення	Поєднання природного інфільтраційного живлення з впливом локальних поверхневих процесів (короткочасне випарне фракціонування, затримка в ґрунтовому покриві)	Помірний, локально проявлений
Тюринське	Розкид значень середній; окремі проби відхиляються в бік більш “теплого” ізотопного складу	Змішане живлення: домінує природна інфільтрація, але можливе підмішування випарно-модифікованих вод (поверхневий стік, локальна урбанізована територія)	Високий антропогенний вплив
Глибокий Яр	Розкид точок відносно малий; різких сезонних стрибків не спостерігається	Переважно природне живлення локальними атмосферними опадами, можливе незначне випарне підсилення в приповерхневій зоні	Низький–помірний
Шатилівське	Частина проб формує щільний кластер, частина – більш збагачена група; загальний розкид значень найбільший серед усіх ділянок	Ймовірне змішування природних підземних вод із випарно/антропогенно модифікованими компонентами (урбанізований стік, техногенне підживлення, тривале перебування води в неглибоких резервуарах)	Підвищений (найбільш виражений серед досліджених ділянок)

Порівняльний аналіз ізотопних характеристик підземних вод п'яти досліджених джерел м. Харкова виявив суттєві відмінності у ступені антропогенної модифікації водного живлення, що підтверджує чутливість стабільних ізотопів  $\delta^2\text{H}$  та  $\delta^{18}\text{O}$  як індикаторів урбанізаційного впливу. Джерела Тепличне, Сковороди та Глибокий Яр демонструють відносно стабільні ізотопні склади, зосереджені поблизу LMWL, що відповідає природному

інфільтраційному живленню з мінімальними ознаками техногенного впливу; відхилення трендових ліній від GMWL є незначним і відображає локальну кліматичну специфіку. Разом з тим джерела Тюрінське і особливо Шатилівське характеризуються виразнішим збагаченням за  $\delta^2\text{H}$  та  $\delta^{18}\text{O}$  і суттєвим розкидом значень, що свідчить про змішування природних підземних вод із компонентами, модифікованими випарними процесами або урбанізаційним середовищем (поверхневий стік, інфільтрація через техногенно порушені ґрунти, можливі втрати з комунікацій). Найбільш значущі ознаки антропогенного впливу встановлено для ділянки Шатилівське, де трендова лінія найбільше відхиляється від LMWL, а ізотопні значення зміщені у напрямку випарного фракціонування. Сумарно отримані результати підтверджують, що ізотопний підхід є ефективним інструментом ідентифікації ступеня порушення природного режиму підземних вод і дозволяє диференціювати ділянки з мінімальним антропогенним впливом від територій, де урбанізаційні процеси вже відображаються на водному балансі та якості підземних вод.

Після аналізу ізотопного складу підземних вод джерел, розташованих у межах урбанізованої території м. Харків, доцільним є розширення дослідження на сільську місцевість Харківської області, де гідрогеологічні умови формуються за меншого техногенного навантаження та за іншої структури водокористування. Такий підхід дозволяє зіставити особливості ізотопного складу підземних вод у міських і позаміських умовах, а також оцінити роль локальних чинників, зокрема поверхневих вод, приватних свердловин і колодязів, у формуванні ізотопного сигналу. У цьому контексті показовою є територія с. Черкаський та Нижній Бишкин Харківської області, де наявні різні типи водозабору, що дає змогу комплексно проаналізувати умови живлення та можливі ознаки ізотопної трансформації підземних вод.

На рис. 4.6. представлено ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних і поверхневих вод сільської території Харківської області (ділянка: с. Черкаський та Нижній Бишкин).

Ізотопний аналіз стабільних ізотопів водню та кисню для ділянки с. Черкаський та Нижній Бишкін Харківської області свідчить про складний характер формування підземних вод, зумовлений поєднанням природних гідрогеологічних умов і локальних антропогенних чинників. Розташування ізотопних точок джерела та свердловин поблизу локальної та глобальної метеорних ліній (LMWL і GMWL) вказує на їх переважно атмосферне походження, однак помітна ізотопна неоднорідність свідчить про різний ступінь трансформації вод у процесі інфільтрації та міграції.

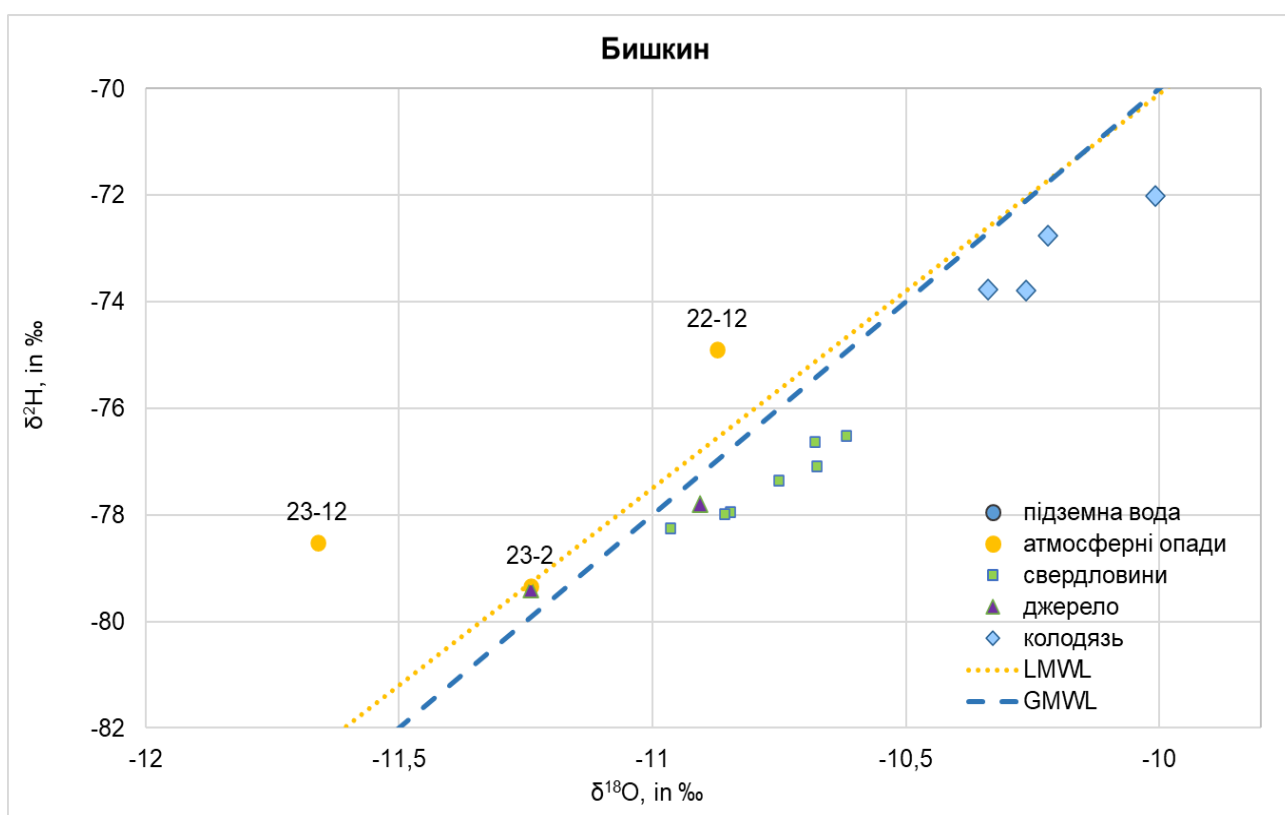


Рисунок 4.6 – Ізотопний склад  $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$  підземних і поверхневих вод сільської території Харківської області (ділянка: с. Черкаський та Нижній Бишкін)

Підземні води зі свердловин формують відносно компактний кластер із значеннями  $\delta^{18}\text{O}$  та  $\delta^2\text{H}$ , характерними для інфільтраційного живлення без чітко вираженого випарувального зсуву, що дозволяє інтерпретувати їх як результат тривалішого перебування у водоносному горизонті та часткового згладжування

сезонного ізотопного сигналу. Ізотопна позиція джерела близька до цього кластера, що вказує на спільність умов живлення та підтверджує його гідравлічний зв'язок із підземними водами даної ділянки.

Водночас води колодязів характеризуються збагаченням важкими ізотопами кисню й водню та зміщенням у бік менш негативних значень  $\delta^{18}\text{O}$  і  $\delta^2\text{H}$ , що є типовою ознакою впливу поверхневих умов формування, випаровування та швидкого водообміну. Така ізотопна поведінка свідчить про слабший природний захист неглибоких водоносних горизонтів і підвищену чутливість до локальних антропогенних впливів, зокрема інфільтрації з господарсько-побутових територій. Положення ізотопних значень поверхневих вод р. Сіверський Донець додатково підкреслює контраст між більш «відкритими» водними системами та відносно захищеними підземними водами.

Загалом ізотопні характеристики вод ділянки с. Черкаський та Нижній Бишкін вказують на гетерогенну структуру водообміну, де підземні води глибшого залягання зберігають переважно природний метеорний сигнал, тоді як неглибокі води (колодязі) демонструють ознаки вторинної ізотопної трансформації. Це дозволяє оцінити територію як таку, що поєднує ділянки з різним ступенем гідрогеологічної захищеності, а ізотопний аналіз виступає ефективним інструментом для розмежування природних і потенційно антропогенно змінених компонентів водного середовища.

Після аналізу ізотопного складу підземних і поверхневих вод, який дозволив встановити умови їх живлення та можливі напрями ізотопної трансформації, доцільним є перехід до гідрохімічної характеристики вод досліджених ділянок м. Харків та Харківської області. Гідрохімічний аналіз дає змогу оцінити іонний склад вод, класифікувати їх за типами та виявити процеси, пов'язані з мінералізацією, іонним обміном і впливом антропогенних чинників, що не завжди однозначно фіксуються ізотопними показниками. Поєднання ізотопного та гідрохімічного підходів забезпечує комплексну інтерпретацію стану водного середовища та підвищує обґрунтованість оцінки антропогенного впливу в умовах міських і сільських територій.

На рис. 4.7. представлено діаграма Пайпера для підземних і поверхневих вод досліджених ділянок Харківської області.

Діаграма Пайпера, побудована для підземних і поверхневих вод досліджених ділянок м. Харків та Харківської області, відображає загальні закономірності формування гідрохімічного складу вод і дозволяє провести їх типізацію за домінуючими іонами. Розташування точок у катіонному та аніонному трикутниках свідчить про переважання кальцієво-магнієвих вод із суттєвою роллю гідрокарбонатів, сульфатів і хлоридів, що є характерним для інфільтраційних підземних вод регіону з розвиненими процесами водо–породної взаємодії. Центральне поле діаграми демонструє формування кількох гідрохімічних типів, що вказує на неоднорідність умов мінералізації та різний ступінь участі іонного обміну у формуванні хімічного складу вод.

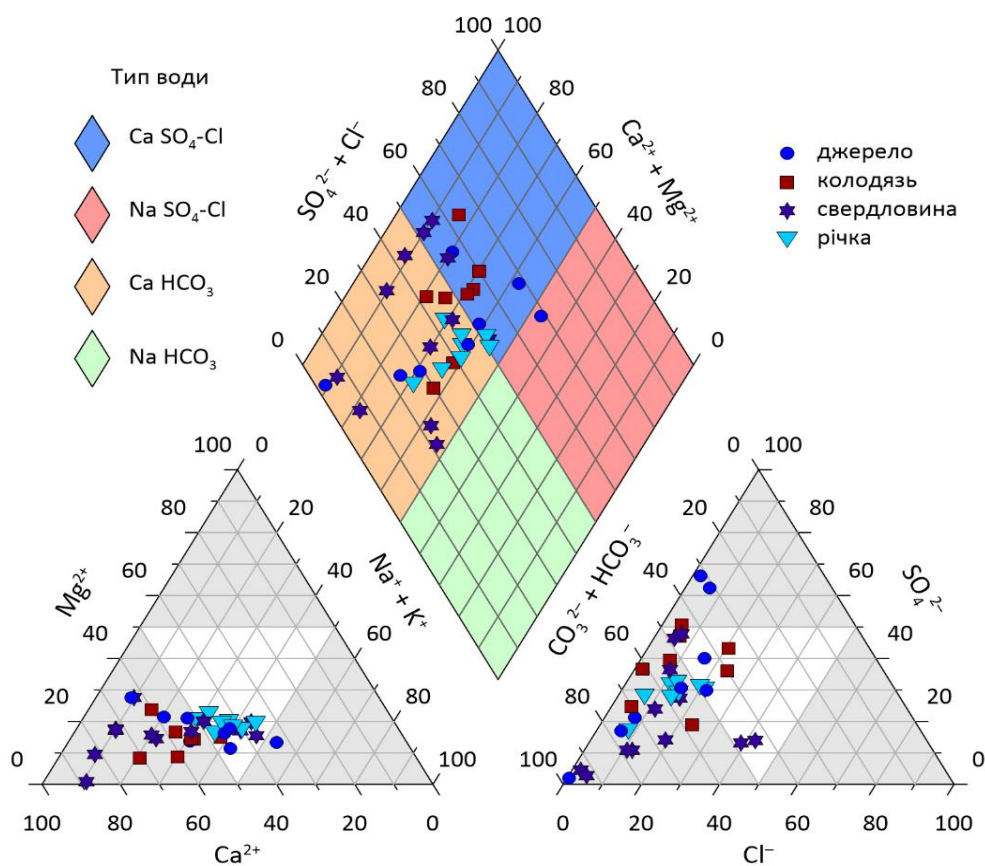


Рисунок 4.7 – Діаграма Пайпера для підземних і поверхневих вод досліджених ділянок Харківської області

Порівняння положення точок, що відповідають підземним і поверхневим водам, дозволяє простежити їх гідрохімічну диференціацію та відмінності у характері водообміну. Підземні води здебільшого характеризуються більш упорядкованим розподілом у межах окремих гідрохімічних полів, що свідчить про відносну стабільність умов їх формування, тоді як поверхневі води демонструють більшу варіабельність складу, зумовлену відкритим гідрологічним режимом і впливом сучасних процесів. Наявність переходів між окремими гідрохімічними типами вказує на складний характер формування водного складу, у якому поєднуються природні геохімічні процеси та локальні зовнішні впливи.

Загалом результати аналізу за допомогою діаграми Пайпера підтверджують доцільність використання гідрохімічної типізації як базового етапу комплексної оцінки стану водних ресурсів. Отримані узагальнення створюють наукове підґрунтя для подальшого детального аналізу окремих гідрохімічних показників, що дозволить конкретизувати роль природних і антропогенних чинників у формуванні якості вод у межах міських і сільських територій.

На графіку 4.8. представлено порівняльну характеристику вмісту хлорид-іонів у підземних і поверхневих водах м. Харків та Харківської області.

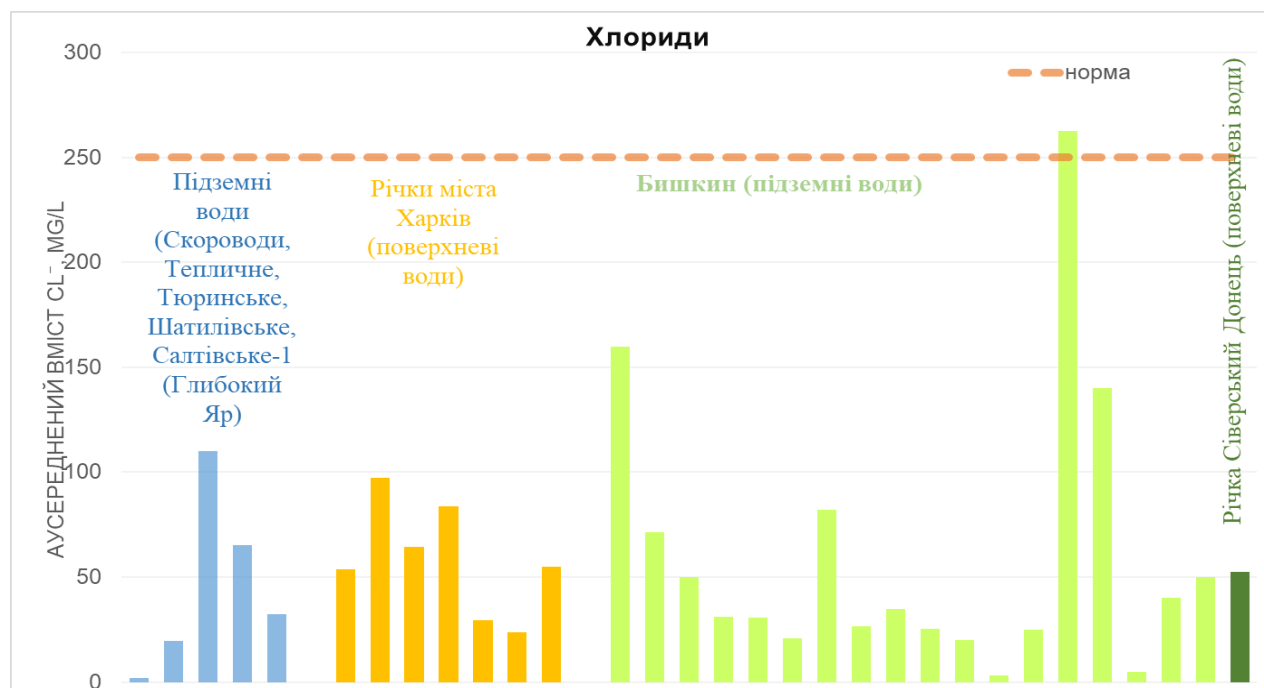


Рисунок 4.8 – Порівняльна характеристика вмісту хлорид-іонів у підземних і поверхневих водах м. Харків та Харківської області

Аналіз вмісту хлорид-іонів ( $\text{Cl}^-$ ) у підземних і поверхневих водах досліджених ділянок м. Харків та Харківської області свідчить про чітку просторову диференціацію їх концентрацій, зумовлену різними умовами формування та ступенем антропогенного навантаження. Для підземних вод джерел і свердловин м. Харків характерні відносно помірні концентрації хлоридів, що переважно не перевищують нормативні значення і відображають природний гідрохімічний фон інфільтраційних вод. Це узгоджується з їхнім походженням та відносною гідрогеологічною захищеністю водоносних горизонтів.

Поверхневі води річок у межах міста Харків демонструють вищу варіабельність вмісту хлоридів порівняно з підземними водами, що зумовлено відкритим гідрологічним режимом і безпосереднім впливом міського стоку. Такі значення відображають швидку реакцію поверхневих вод на урбанізаційні процеси та сезонні зміни водного балансу, проте загалом не формують стійкого перевищення нормативних рівнів.

Найбільша мінливість концентрацій хлорид-іонів зафіксована для підземних вод сільської території с. Черкаський та Нижній Бишкін, де спостерігається широкий діапазон значень, включно з локальними підвищеними концентраціями, що наближаються до гранично допустимих або перевищують їх. Така особливість вказує на нерівномірні умови формування хімічного складу вод, зокрема можливий вплив локальних антропогенних джерел, пов'язаних із господарсько-побутовим використанням території та слабшим природним захистом неглибоких водоносних горизонтів.

Загалом розподіл вмісту хлоридів у водах досліджених ділянок підтверджує доцільність використання цього показника як чутливого індикатора антропогенного впливу, особливо для оцінки стану підземних вод у сільській місцевості. Отримані результати створюють основу для подальшого аналізу інших гідрохімічних компонентів з метою комплексної оцінки якості вод і джерел їх хімічної трансформації.

На рис. 4.9. представлено порівняльну характеристику вмісту сульфат-іонів у підземних і поверхневих водах м. Харків та Харківської області.

Аналіз вмісту сульфат-іонів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) у підземних і поверхневих водах досліджених ділянок м. Харків та Харківської області свідчить про істотну просторову та гідрогеохімічну неоднорідність, що відображає різні умови формування водного складу й ступінь антропогенного навантаження. Для підземних вод джерел і свердловин у межах м. Харків характерні як низькі, так і підвищені концентрації сульфатів, у низці випадків із перевищенням нормативних значень. Такі особливості можуть бути зумовлені природними геохімічними процесами, зокрема розчиненням сульфатвмісних порід, а також тривалішою водо–породною взаємодією у водоносних горизонтах.

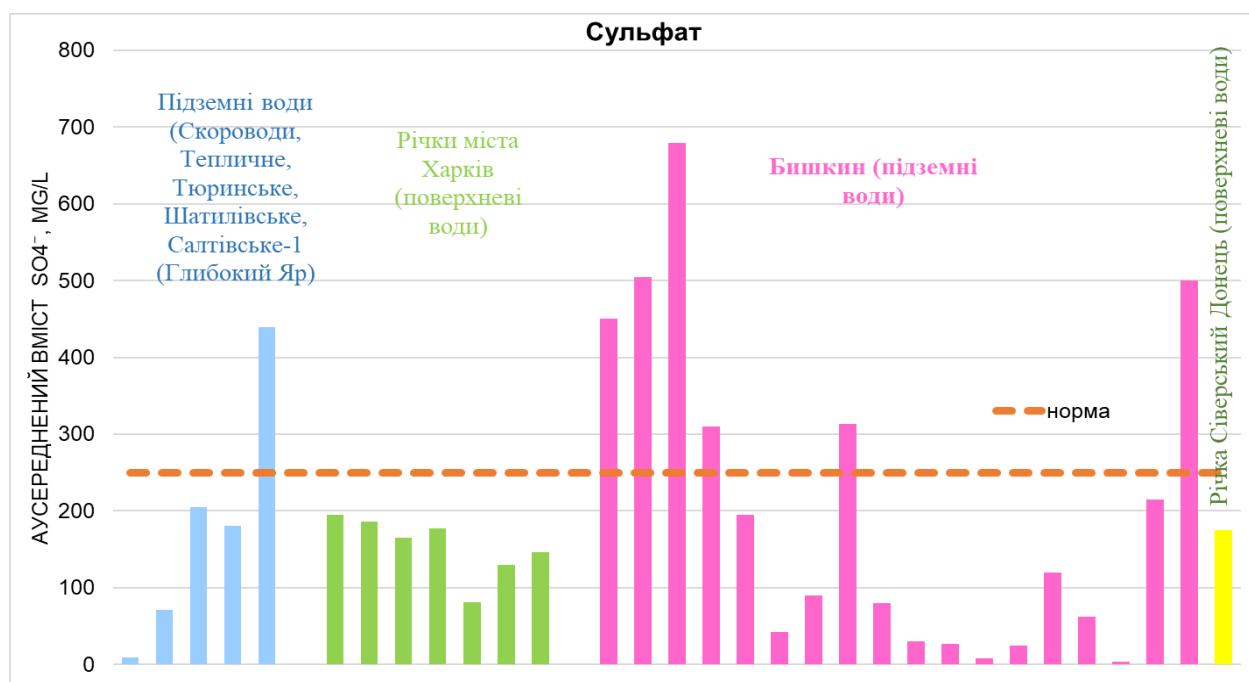


Рисунок 4.9 – Порівняльна характеристика вмісту сульфат-іонів у підземних і поверхневих водах м. Харків та Харківської області

Поверхневі води річок м. Харків загалом характеризуються помірними концентраціями сульфат-іонів, які здебільшого не перевищують нормативних рівнів, проте демонструють помітну варіабельність. Це відображає відкритий гідрологічний режим річкових систем і їхню чутливість до змін умов стоку,

атмосферного живлення та локальних джерел надходження розчинених речовин у межах урбанізованої території.

Найбільш контрастні значення вмісту сульфатів зафіксовані у підземних водах сільської території с. Черкаський та Нижній Бишкін, де спостерігається широкий діапазон концентрацій, включно з високими та наднормативними значеннями. У низці випадків вміст сульфат-іонів перевищує гранично допустиму концентрацію для питної води, встановлену відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10. Такий характер розподілу свідчить про нерівномірні умови формування хімічного складу вод, можливий вплив локальних антропогенних чинників, а також слабший природний захист неглибоких водоносних горизонтів. Водночас участь поверхневих вод р. Сіверський Донець у загальному гідрохімічному фоні регіону підкреслює роль регіональних процесів у формуванні сульфатного складу вод.

Загалом розподіл концентрацій сульфат-іонів підтверджує інформативність цього показника для оцінки як природних геохімічних процесів, так і потенційного антропогенного впливу на води досліджених ділянок. Отримані результати є важливим елементом комплексної гідрохімічної оцінки стану водних ресурсів і слугують підґрунтям для подальшого аналізу інших показників якості вод.

На рис. 4.10 представлено порівняльну характеристику вмісту нітрат-іонів ( $\text{NO}_3^-$ ) у підземних і поверхневих водах досліджених ділянок м. Харків та Харківської області.

Розподіл концентрацій нітрат-іонів ( $\text{NO}_3^-$ ) у підземних і поверхневих водах досліджених ділянок м. Харків та Харківської області демонструє чітку диференціацію за типами вод і характером антропогенного навантаження. Для підземних вод джерел і свердловин у межах м. Харків зафіксовано низькі концентрації нітратів, що, як правило, не перевищують нормативні значення. Такий характер розподілу свідчить про відносну гідрогеологічну захищеність водоносних горизонтів і обмежене проникнення забруднювальних компонентів з поверхні.

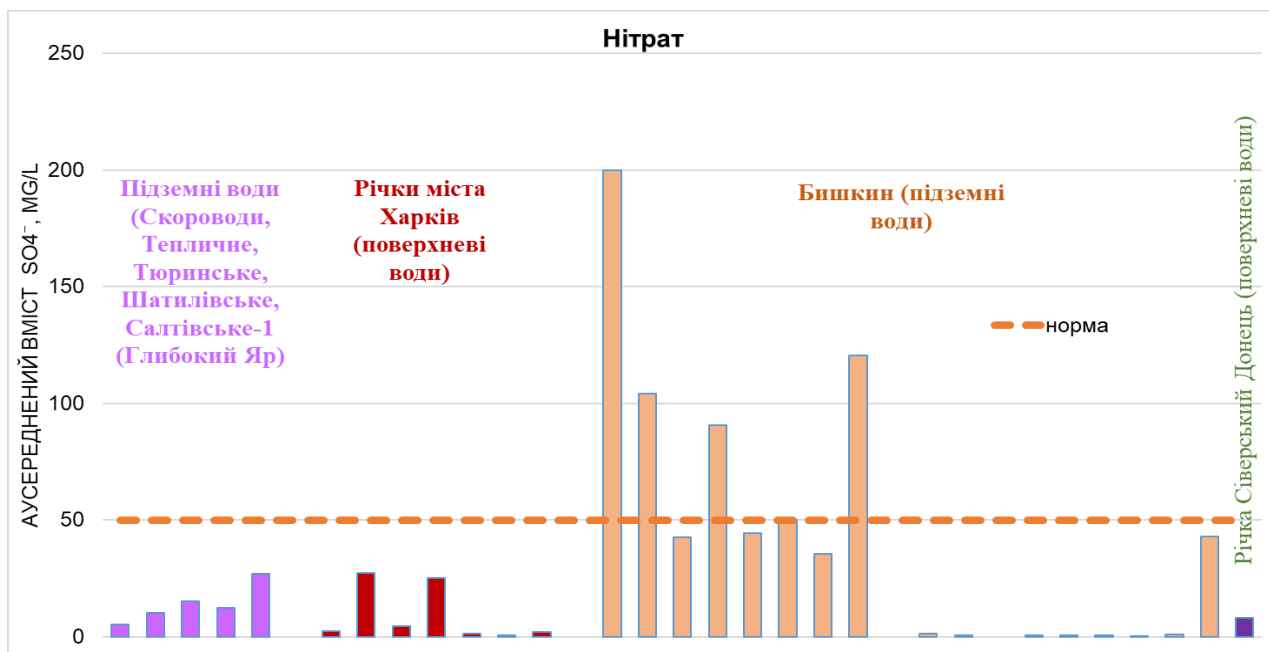


Рисунок .4.10 – Порівняльна характеристика вмісту нітрат-іонів (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) у підземних і поверхневих водах досліджених ділянок м. Харків та Харківської області

Поверхневі води річок м. Харків також характеризуються загалом низьким вмістом нітратів, що відповідає природному фоновому рівню для проточних водних об'єктів. Низькі концентрації NO<sub>3</sub><sup>-</sup> у річкових водах відображають ефект розбавлення та активні процеси самоочищення, характерні для відкритих гідросистем урбанізованих територій.

Натомість у підземних водах сільської місцевості с. Черкаський та Нижній Бішкин спостерігається суттєве зростання концентрацій нітратів із численними випадками перевищення гранично допустимих значень. Виявлений широкий діапазон значень та наявність екстремально високих концентрацій є характерною ознакою інтенсивного антропогенного впливу. Основними джерелами надходження нітратів у таких умовах можуть бути інфільтрація продуктів мінерального та органічного удобрення ґрунтів, несанкціоновані або негерметичні господарсько-побутові стоки, а також недостатня ізоляція неглибоких водоносних горизонтів.

Порівняльний аналіз свідчить, що нітратний склад вод є одним із найбільш чутливих показників антропогенного навантаження, особливо у сільських районах. Контраст між відносно стабільним і безпечним нітратним режимом

підземних вод м. Харків та значним забрудненням підземних вод с. Черкаський та Нижній Бишкін підтверджує вирішальну роль локальних умов землекористування та ступеня гідрогеологічного захисту у формуванні якості вод. Отримані результати обґрунтовують доцільність використання нітратів як індикатора антропогенного впливу в комплексній оцінці екологічного стану водних ресурсів регіону.

На рис. 4.11 представлено загальну жорсткість підземних і поверхневих вод досліджених ділянок м. Харків та Харківської області.

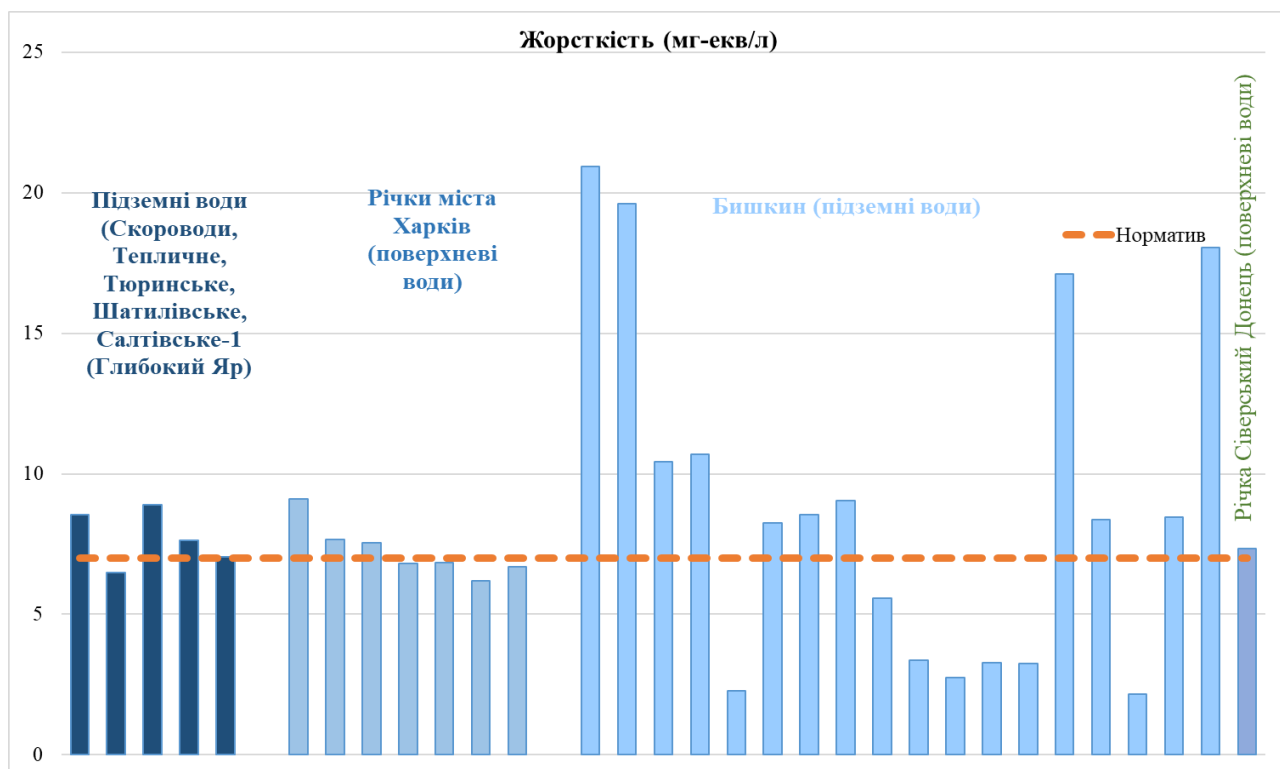


Рисунок 4.11 – Загальна жорсткість підземних і поверхневих вод досліджених ділянок м. Харків та Харківської області

Аналіз загальної жорсткості підземних і поверхневих вод досліджених ділянок м. Харків та Харківської області свідчить про суттєві відмінності у хімічному складі вод залежно від гідрогеологічних умов формування та характеру водообміну. Для підземних вод джерел і свердловин у межах м. Харків переважно характерні значення жорсткості, що коливаються в межах або незначно перевищують нормативні показники. Такий рівень зумовлений

природними процесами взаємодії води з карбонатними та силікатними породами, які контролюють надходження іонів кальцію та магнію у водоносні горизонти.

Поверхневі води річок м. Харків характеризуються більш варіабельними значеннями жорсткості, з окремими випадками істотного перевищення нормативного рівня. Це відображає відкритий характер річкових систем і їхню чутливість до змін гідрологічного режиму, сезонних коливань стоку та надходження розчинених мінеральних компонентів з водозбірної площі.

Найбільш контрастні значення загальної жорсткості зафіксовані у підземних водах сільської місцевості с. Черкаський та Нижній Бишкін, де спостерігається широкий діапазон показників – від низьких до дуже високих, із суттєвими перевищеннями нормативних значень. Така неоднорідність свідчить про різні умови формування вод, зокрема інтенсивну водо–породну взаємодію, можливу участь глибших мінералізованих вод та слабший природний захист неглибоких водоносних горизонтів. У цьому випадку підвищена жорсткість має переважно природно-геохімічне походження, хоча її посилення може опосередковано відображати і локальні антропогенні чинники.

Загалом результати аналізу жорсткості підтверджують, що цей показник є інформативним індикатором геохімічних умов формування вод та рівня їх мінералізації, а у поєднанні з іншими гідрохімічними та ізотопними характеристиками дозволяє комплексно оцінити стан водних ресурсів і виявити території з потенційно підвищеним навантаженням на водоносні системи.

Комплексний аналіз ізотопного складу ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) та гідрохімічних показників підземних і поверхневих вод м. Харків і Харківської області дозволив виявити особливості формування водного складу та оцінити характер антропогенного впливу в умовах урбанізованих і сільських територій. Ізотопні характеристики підземних вод міських джерел свідчать про їх формування переважно за рахунок атмосферного живлення з добре збереженим метеорним сигналом і відсутністю системного випарувального зсуву, що вказує на відносну стабільність режиму інфільтрації та гідрогеологічну захищеність водоносних горизонтів.

Для підземних вод сільської місцевості характерна більша варіабельність ізотопних показників, що відображає різні умови живлення, глибини водоносних горизонтів та локальні особливості інфільтраційних процесів. Водночас отримані ізотопні дані не виявляють ознак масштабної трансформації складу вод, що дозволяє інтерпретувати їх походження як переважно природне за відсутності системного ізотопного сигналу техногенного походження.

Гідрохімічний аналіз доповнює ізотопні результати та демонструє чітку диференціацію показників залежно від типу території. Для міських підземних і поверхневих вод характерні відносно стабільні концентрації основних іонів, тоді як у підземних водах сільської місцевості зафіксовано ширший діапазон значень нітратів, сульфатів і жорсткості. Виявлені локальні перевищення нормативних концентрацій, зокрема за нітратами, не мають системного характеру, проте свідчать про підвищену чутливість неглибоких водоносних горизонтів до поверхневих антропогенних впливів, таких як сільськогосподарське землекористування та побутові джерела надходження розчинених речовин.

Таким чином, поєднання ізотопних і гідрохімічних показників дозволило розмежувати природно-геохімічні та локальні антропогенні чинники формування якості вод і показало, що вирішальним фактором є не тип території сам по собі, а ступінь гідрологічної захищеності та умови водообміну. Отримані результати підтверджують доцільність застосування інтегрованого ізотопно-гідрохімічного підходу для оцінки стану водних ресурсів і можуть бути використані як наукове підґрунтя для подальшого моніторингу та раціонального управління водокористуванням у регіоні.

## РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведене комплексне дослідження ізотопного та гідрохімічного складу підземних і поверхневих вод м. Харків та сільських територій Харківської області має важливе наукове й прикладне значення в контексті сучасних завдань оцінювання якості водних ресурсів та ідентифікації антропогенних впливів. Поєднання стабільних ізотопів водню й кисню з класичними гідрохімічними показниками дозволило отримати більш глибоке уявлення про процеси формування вод, джерела їх живлення, умови водообміну та ступінь трансформації під впливом природних і техногенних чинників.

Актуальність отриманих результатів зумовлена тим, що у більшості практичних систем моніторингу якості вод переважає аналіз лише хімічних показників, який не завжди дозволяє однозначно встановити походження забруднювальних компонентів або механізми їх надходження. Застосування ізотопних методів у межах даної роботи показало їх високу інформативність для розмежування природних гідрогеохімічних процесів і локальних антропогенних впливів, що особливо важливо для територій зі складною структурою водокористування.

Отримані результати мають прикладне значення для органів водного господарства, екологічного контролю та місцевого самоврядування, оскільки дозволяють більш обґрунтовано оцінювати ризики погіршення якості питної води, визначати найбільш уразливі ділянки водоносних горизонтів та формувати рекомендації щодо їх охорони. Особливо важливим є встановлення відмінностей між умовами формування вод у межах урбанізованих та сільських територій, де характер антропогенного навантаження істотно різниться.

Крім того, результати роботи створюють методичну основу для подальшого впровадження ізотопно-гідрохімічного підходу у регіональні програми моніторингу водних ресурсів. Запропонований підхід може бути використаний як інструмент ранньої діагностики змін гідрогеологічного режиму

та якості вод, що є особливо актуальним в умовах зростання антропогенного тиску та кліматичних змін.

В табл. 5.1. представлено рекомендовані напрями використання результатів ізотопно-гідрохімічних досліджень.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані напрями використання результатів ізотопно-гідрохімічних досліджень

Сфера застосування	Об'єкти впровадження	Наукове обґрунтування рекомендацій	Очікуваний результат
Система моніторингу водних ресурсів	Підземні та поверхневі води міських і сільських територій	Поєднання ізотопних ( $\delta^2\text{H}$ , $\delta^{18}\text{O}$ , d-excess) і гідрохімічних показників підвищує інформативність оцінки умов формування вод та дозволяє відокремити природні процеси від антропогенних впливів	Підвищення достовірності екологічного моніторингу та раннє виявлення негативних змін якості вод
Управління джерелами водопостачання	Джерела, свердловини, колодязі	Ізотопні характеристики дають змогу визначити тип живлення та гідрогеологічну відкритість джерел, що є критичним для оцінки їх уразливості	Раціоналізація експлуатації джерел та зменшення ризику їх деградації
Оцінка антропогенного навантаження	Урбанізовані території	Комплексний аналіз дозволяє виявляти ізотопні та іонні аномалії, пов'язані з техногенними джерелами та інженерною інфраструктурою	Науково обґрунтована локалізація зон підвищеного антропогенного впливу
Контроль якості вод у сільській місцевості	Приватні свердловини та колодязі	Гідрохімічні індикатори у поєднанні з ізотопними даними дозволяють виявляти вплив сільськогосподарської діяльності та побутових джерел забруднення	Підвищення безпеки використання підземних вод для питних потреб
Просторове планування та природоохоронні заходи	Території водозборів	Просторовий аналіз результатів досліджень дозволяє встановлювати закономірності розподілу якості вод у різних природно-антропогенних умовах	Оптимізація режимів охорони водних ресурсів та територіального планування
Подальші наукові дослідження	Гідрогеологічні та екологічні системи	Отримані результати формують базу для розвитку ізотопно-гідрохімічного підходу в регіональних дослідженнях	Поглиблення наукових уявлень про процеси формування та трансформації вод

Джерело: складено автором

Комплексний підхід до моніторингу водних ресурсів, що поєднує ізотопні та гідрохімічні характеристики, суттєво розширює можливості інтерпретації процесів формування та трансформації вод у межах міських і сільських територій. Ізотопні показники стабільних ізотопів водню та кисню відображають джерела живлення, сезонні особливості інфільтрації та ступінь взаємодії води з атмосферними й поверхневими компонентами гідрологічного циклу. Гідрохімічні параметри, у свою чергу, фіксують результати контакту води з гірськими породами, ґрунтовим середовищем і техногенними об'єктами, що дозволяє оцінити ступінь мінералізації та характер іонного складу.

Поєднання цих двох груп показників створює умови для розмежування природних гідрогеохімічних процесів і впливів, пов'язаних з антропогенною діяльністю. Ізотопні співвідношення є відносно консервативними та менш чутливими до короткочасних локальних змін, тоді як гідрохімічні індикатори швидко реагують на надходження забруднювальних компонентів або зміну гідрологічного режиму. Саме така різна «інерційність» показників забезпечує можливість виявлення ранніх стадій деградації якості вод, коли хімічні відхилення ще не набули критичних значень, але вже простежуються ізотопні ознаки порушення природного режиму живлення або водообміну.

Застосування інтегрованого моніторингу в межах урбанізованих і сільських територій дозволяє не лише фіксувати поточний стан водних об'єктів, а й формувати науково обґрунтовану систему попередження негативних змін. Такий підхід підвищує надійність екологічної оцінки, забезпечує своєчасне виявлення зон потенційного ризику та створює основу для прийняття управлінських рішень, спрямованих на збереження водних ресурсів і запобігання їх подальшому погіршенню.

Ізотопні дослідження підземних вод, що використовуються для водопостачання з природних джерел, свердловин і колодязів, дозволяють встановити особливості їх формування та умови живлення, які безпосередньо визначають стійкість водозаборів до зовнішніх впливів. Аналіз співвідношень стабільних ізотопів водню та кисню надає можливість оцінити участь сучасних

атмосферних опадів, поверхневих вод або більш глибоких водоносних горизонтів у формуванні води конкретного об'єкта. Така інформація є ключовою для розуміння ступеня гідрогеологічної відкритості джерел і дозволяє виявляти водозабори, які мають підвищену чутливість до інфільтрації забруднювальних компонентів із поверхні.

Використання ізотопних характеристик у системі управління джерелами водопостачання створює науково обґрунтовані передумови для раціоналізації їх експлуатації. Встановлення типу живлення та динаміки оновлення води дозволяє оптимізувати режими водовідбору, зменшити ризики виснаження або деградації водоносних горизонтів і своєчасно виявляти потенційні загрози якості води. У довгостроковій перспективі такий підхід сприяє підвищенню надійності водопостачання та збереженню водних ресурсів у межах як урбанізованих, так і сільських територій.

Оцінювання антропогенного навантаження в межах урбанізованих територій потребує застосування методів, здатних фіксувати не лише факт зміни хімічного складу вод, але й механізми його формування. Комплексне використання ізотопних показників стабільних ізотопів водню та кисню разом із гідрохімічними характеристиками дозволяє виявляти відхилення від природного фону, пов'язані з впливом техногенних чинників. Ізотопні аномалії можуть відображати зміну джерел живлення підземних вод або порушення природного режиму інфільтрації, тоді як іонний склад вод чутливо реагує на надходження компонентів, пов'язаних із міською інфраструктурою, господарською діяльністю та інженерними мережами.

Поєднання ізотопних і гідрохімічних даних створює науково обґрунтовану основу для просторової локалізації зон підвищеного антропогенного впливу в межах міста. Виявлення таких ділянок дозволяє перейти від загальної оцінки стану водних ресурсів до адресного аналізу потенційно проблемних територій, де існує ризик деградації підземних і поверхневих вод. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації екологічного контролю, планування

природоохоронних заходів і підвищення ефективності управління водними ресурсами в умовах урбанізованого середовища.

Формування якості підземних вод у сільській місцевості відбувається в умовах тісного контакту водоносних горизонтів із поверхневими процесами, що зумовлює їх підвищену чутливість до локальних антропогенних впливів. Поєднання гідрохімічних показників із ізотопними характеристиками дозволяє простежити як зміну іонного складу вод, так і особливості їх живлення та водообміну, що є важливим для виявлення впливу сільськогосподарського використання територій, побутових стоків і нецентралізованих систем водовідведення. Такий підхід забезпечує можливість диференціювати природні геохімічні особливості вод від змін, пов'язаних із господарською діяльністю, а також оцінити ступінь захищеності приватних свердловин і колодязів.

Інтеграція результатів ізотопно-гідрохімічних досліджень у процеси просторового планування дозволяє розглядати водні ресурси як структурний елемент територіального розвитку, а не лише як об'єкт контролю якості. Аналіз закономірностей просторового розподілу гідрохімічних та ізотопних характеристик вод у межах водозбірних територій створює можливість виділення зон з різними умовами формування та ступенем природної захищеності водоносних горизонтів. Такий підхід забезпечує наукове обґрунтування природоохоронних заходів, спрямованих на збереження водних ресурсів, і дозволяє оптимізувати режими землекористування, санітарно-захисні зони та планування господарської діяльності з урахуванням гідрогеологічних особливостей території.

Отримані в межах дослідження результати також формують основу для подальшого розвитку регіональних наукових досліджень у галузі гідрогеології та екології вод. Використання ізотопно-гідрохімічного підходу відкриває перспективи більш глибокого аналізу процесів формування, оновлення та трансформації природних вод у часі й просторі, а також оцінки впливу кліматичних і антропогенних чинників на водні системи. Подальше розширення таких досліджень сприятиме поглибленню наукових уявлень про

функціонування гідрогеологічних систем і створенню методичної бази для довгострокового прогнозування змін стану водних ресурсів.

Узагальнення результатів проведеного дослідження засвідчує, що інтегроване використання ізотопних і гідрохімічних методів є науково обґрунтованим і високоефективним підходом до вивчення стану водних ресурсів у межах територій з різним характером антропогенного навантаження. Поєднання стабільних ізотопів водню та кисню з показниками іонного складу вод дозволяє не лише фіксувати сучасний стан підземних і поверхневих вод, а й відтворювати умови їх формування, визначати типи живлення та особливості водообміну, а також ідентифікувати просторові відмінності, зумовлені як природними, так і господарськими чинниками. Отримані результати демонструють доцільність використання такого підходу для підвищення інформативності систем моніторингу, наукового обґрунтування управління джерелами водопостачання та розроблення природоохоронних заходів на рівні окремих водозборів. У більш широкому науковому контексті результати роботи формують методичну основу для подальших регіональних досліджень, спрямованих на поглиблення уявлень про закономірності формування та трансформації водних ресурсів у часі й просторі, а також на прогнозування змін їх стану в умовах зростаючого антропогенного навантаження та кліматичної мінливості.

## ВИСНОВКИ

Проведений теоретичний аналіз засвідчує, що сучасні підходи до оцінки антропогенного впливу на природні води потребують інтеграції традиційних гідрохімічних і ізотопних методів дослідження. Гідрохімічні показники забезпечують кількісну характеристику поточного стану якості води та дозволяють фіксувати наслідки техногенного навантаження, тоді як ізотопні індикатори стабільних ізотопів водню й кисню розкривають походження водних мас, умови їх формування, механізми змішування та особливості водообміну в природно-антропогенних системах. Поєднання цих методів значно підвищує інформативність аналізу, дає змогу відокремлювати природні гідрологічні процеси від антропогенних трансформацій і формує наукову основу для достовірної інтерпретації змін водного середовища. Таким чином, ізотопна гідрологія розглядається як ключовий інструмент сучасних екологічних і гідрогеологічних досліджень, що забезпечує поглиблене розуміння функціонування водних систем і створює методичне підґрунтя для подальшого аналізу реальних об'єктів у межах досліджуваної території.

Характеристика території досліджень Харківської області засвідчує, що природні передумови формування водного режиму та якості водних ресурсів визначаються поєднаним впливом помірно континентального клімату з нерівномірним випадінням опадів і частими екстремумами температур, складної стратиграфічно-тектонічної будови Дніпровсько-Донецької западини, а також мозаїчного рівнинно-височинного рельєфу з розвиненою яружно-балковою мережею, що задає умови інфільтрації, поверхневого стоку та підземного живлення річок. Поверхневі води регіону мають виражену сезонність і чутливість до урбанізаційного та аграрного навантаження, тоді як підземні води представлені багат шаровою системою водоносних горизонтів із просторово неоднорідними запасами та мінералізацією, що зумовлює необхідність диференційованого водогосподарського планування. Аналіз водокористування показує контраст між централізованою, але вразливою до енергоризиків і

пошкоджень інфраструктурою м. Харків та локальними сільськими системами (с. Черкаський та Нижній Бишкін), де ключовими загрозами виступають відсутність централізованого водовідведення й потенційне локальне забруднення підземних горизонтів. Таким чином, територія досліджень характеризується значним водним потенціалом, але одночасно високою екологічною чутливістю, що обґрунтовує потребу в системному моніторингу, інтегрованому управлінні водними ресурсами та адаптивних заходах для підвищення стійкості водогосподарського комплексу в умовах кліматичних і антропогенних змін.

Досліджені підходи до формування мережі точок, організації відбору проб і виконання лабораторних визначень забезпечують методично цілісну та науково коректну основу для подальшої інтерпретації ізотопно-гідрохімічних даних. Репрезентативне охоплення урбанізованих і сільських територій Харківської області, залучення підземних і поверхневих вод різних типів водокористування, а також урахування просторової неоднорідності водних об'єктів створюють умови для зіставного аналізу природних і антропогенних факторів формування складу вод. Дотримання процедур, що мінімізують сторонній вплив під час відбору, транспортування та зберігання зразків, дозволяє зберегти їхні природні фізико-хімічні й ізотопні характеристики та підвищує достовірність отриманих результатів. Комплекс лабораторних методів, який поєднує визначення основних іонів, контроль іонного балансу, перерахунок у еквівалентні форми для типізації вод та високоточні вимірювання  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  і d-excess, забезпечує багатовимірний аналіз водних систем і створює аналітичне підґрунтя для подальшої ідентифікації джерел живлення, механізмів трансформації та проявів антропогенного навантаження в досліджуваному регіоні.

У кваліфікаційній роботі магістра за результатами ізотопно-гідрохімічного аналізу конкретних ділянок м. Харків і Харківської області ідентифіковано просторово диференційований характер антропогенного впливу на підземні води. Для джерела Тепличне встановлено інфільтраційне атмосферне походження підземних вод із діапазонами  $\delta^{18}\text{O} = -11,4 \dots -10,4\text{‰}$  та  $\delta^2\text{H} = -82 \dots -73\text{‰}$ , розташуванням ізотопних точок поблизу локальної лінії метеорних вод

(LMWL) і відсутністю стійкого випарного зсуву, що свідчить про переважно природне формування водоносного горизонту. Підземні води джерела Сковороди також характеризуються близькістю до LMWL і збереженням метеорного ізотопного сигналу, що вказує на домінування природного інфільтраційного живлення. Для джерела Тюринське зафіксовано збагачення вод важкими ізотопами та зміщення ізотопних точок у напрямку випарного фракціонування, що відображає змішаний характер живлення з участю урбанізованого поверхневого стоку й вод, попередньо модифікованих у приповерхневій зоні. Ізотопний склад підземних вод ділянки Салтівське-1 (Глибокий Яр) демонструє поєднання природного інфільтраційного сигналу з локальними випарними змінами, що відповідає помірному рівню антропогенного впливу. Найбільш виражену антропогенну трансформацію встановлено для джерела Шатилівське, де ізотопні значення  $\delta^{18}\text{O}$  та  $\delta^2\text{H}$  підземних вод збігаються з полем поверхневих вод річок Лопань, Уди та Харків, що свідчить про гідравлічний зв'язок із річковою мережею та високий ступінь урбанізаційного впливу. У межах с. Черкаський Бишкін та с. Нижній Бишкін підземні води свердловин зберігають компактний ізотопний кластер поблизу LMWL, тоді як води колодязів збагачені важкими ізотопами й характеризуються підвищеними концентраціями нітратів, що відображає слабшу гідрогеологічну захищеність і локальний антропогенний вплив господарсько-побутового та аграрного походження. Загалом встановлено, що вирішальними чинниками прояву антропогенного впливу є глибина водоносного горизонту, умови інфільтрації та гідрогеологічна захищеність, а інтегрований ізотопно-гідрохімічний підхід забезпечує надійну ідентифікацію зон ризику та формування базових характеристик для подальшого моніторингу водних ресурсів регіону.

Гідрохімічні дані суттєво підсилили інтерпретацію ізотопних результатів і підтвердили просторову диференціацію за індикаторними компонентами: для міських вод переважає відносно стабільний іонний склад, тоді як у сільських підземних водах виявлено широкий діапазон концентрацій, зокрема за нітратами (як найбільш чутливим маркером антропогенного навантаження), а також

локальні підвищення сульфатів і жорсткості, що відображає поєднання природної водо–породної взаємодії та впливу господарсько-побутових і аграрних джерел надходження розчинених речовин. Загалом встановлено, що визначальним чинником прояву антропогенного впливу є не лише «міська/сільська» приналежність території, а насамперед ступінь гідрогеологічної захищеності, глибина та швидкість водообміну і умови інфільтрації; у цьому контексті інтегрований ізотопно-гідрохімічний підхід довів високу діагностичну ефективність для виявлення зон ризику, формування базових (baseline) характеристик і наукового обґрунтування подальшого моніторингу та управління якістю водних ресурсів регіону.

Отже, інтегрований ізотопно-гідрохімічний підхід є методично обґрунтованим і практично результативним інструментом для підвищення достовірності оцінювання стану підземних і поверхневих вод Харківської області, оскільки поєднання ізотопних індикаторів ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , d-excess) із гідрохімічними параметрами забезпечує одночасне відтворення умов живлення, водообміну та геохімічної трансформації вод і дозволяє відмежовувати природні процеси від локальних техногенних впливів у міських і сільських умовах. Сформульовані рекомендації та напрями впровадження (моніторинг, управління джерелами водопостачання, контроль якості вод у сільській місцевості, просторове планування) створюють прикладну основу для ранньої діагностики деградаційних змін, адресної локалізації зон ризику та науково обґрунтованого вибору природоохоронних заходів на рівні водозборів. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням просторово-часової вибірки спостережень, інтеграцією результатів у регіональні програми екологічного контролю та розвитком прогностичних моделей, що дозволить підвищити стійкість водогосподарських рішень в умовах зростання антропогенного навантаження і кліматичної мінливості.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

1. Водний кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80/stru> (дата звернення: 20.09.2025).
2. Виставна Ю.Ю. Ізотопний склад водних систем Харківського регіону. *Наук. стаття (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова)*, 2015. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/1368> (дата звернення: 28.10.2025).
3. Водні ресурси Харківської області URL: <https://www.arcgis.com/apps/instant/sidebar/index.html?appid=f24ca631442c4032bf5ba0d11ab20e08&locale=uk> (дата звернення: 15.09.2025).
4. Гриб О.М. Антропогенний вплив на водні екосистеми: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2018. 194 с.
5. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Серія: Дніпровсько-Донецька. Аркуші: М-37-ХІІІ (Белгород), М-37-ХІХ (Харків) – Київ: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Казенне підприємство «Південукргеологія», 2007. 171 с.
6. Департамент екології та природних ресурсів Харківської ОВА. Екологічний паспорт Харківської області за 2023 рік. Звіт, 2024. URL: [https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1282/128134/Attaches/ekologichniy\\_paspport\\_harkivskoji\\_oblasti\\_2023\\_rik.pdf](https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1282/128134/Attaches/ekologichniy_paspport_harkivskoji_oblasti_2023_rik.pdf) (дата звернення: 28.10.2025).
7. Департамент екології та природних ресурсів Харківської ОВА. Звіт про стратегічну екологічну оцінку Стратегії розвитку Харківської області на 2021-2027 роки (зі змінами). 2024 рік. URL: <https://surl.li/tuewno> (дата звернення: 28.10.2025).
8. Карти України. Тематичні розділи. URL: <https://геоmap.land.kiev.ua/water-3.html> (дата звернення: 28.10.2025).

9. Лобода Н.С., Отченаш Н.Д., Підземні води, їх забруднення та вплив навколишнього середовища. Навч.посіб. Одеський державний екологічний університет, Одеса. 2017. 199 с.
10. Лобода Н. С., Смайлій О. В., Катинська І. В. та ін. Оцінка змін якості води по довжині річки Сіверський Донець на початку ХХІ століття. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2019. № 23. С. 54–68.
11. Лобода Н. С., Смалій О. В., Катинська І. В. та ін. Оцінка змін якості води по довжині річки Сіверський Донець на початку ХХІ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2019. № 23. С. 54–68.
12. Петрик І. В. Словник-довідник сучасних екологічних та природоохоронних термінів. Київ : МДУ, 2025. 119 с.
13. Про затвердження Правил охорони підземних вод. Наказ Міндовкілля № 325 від 11.05.2023. URL: <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkillya-325-vid-11-05-2023/> (дата звернення: 12.09.2025).
14. Хандогіна О. В., Дядін Д.В. Просторове моделювання міських екосистем: конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. 45 с.
15. Яковлев В. В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харк. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна, 2017. 351 с.
16. Akpataku K.V. Hydrochemical and isotopic characterization of groundwater – southern basement rock aquifer of the Plateaux Region (Togo). *Hydrological Sciences Journal*, 64(14) (2019). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2019.1615067> (дата звернення: 20.09.2025).
17. Bayou W.T., Alemnew B., Fentie Y. Hydrochemistry and isotope hydrology of groundwater and surface water interaction in the Awash River Basin, Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, 2024. URL:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-024-11620-3> (дата звернення: 20.09.2025).

18. Carreira P.M., Nlend B., Pocas I. The Use of Environmental Isotopes in Hydrogeology. *Water*, 2024. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/7/914> (дата звернення: 20.09.2025).

19. Cejudo E., Arreola F., Pacheco J. Water stable isotopes ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) in the Peninsula of Yucatán: hydrological applications. *Report/Preprint*, 2020. URL: <https://d-nb.info/1206692111/34> (дата звернення: 20.09.2025).

20. Chen R., Hu Q., Shen W., Guo J., Yang L., Yuan Q., Lu X., Wang L. Identification of nitrate sources of groundwater and rivers in complex urban environments based on isotopic and hydro-chemical evidence. *Science of the Total Environment*, 871, 2023. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36754334/> (дата звернення: 10.10.2025).

21. Chizhova J., Kislov A., et al. Stable isotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) signature of river runoff, groundwater and precipitation in the European part of Russia. *Earth System Science Data Discussions*, 2022. URL: <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2022-377/essd-2022-377.pdf> (дата звернення: 05.11.2025).

22. Carrión-Mero P., Barba L., Martínez J., et al. Research Trends in Groundwater and Stable Isotopes (GSI): a systematic review 1990-2021. *Water*, 14(19) (2022). URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/19/3173> (дата звернення: 09.09.2025).

23. Chen R., Hu Q., Shen W., Guo J., Yang L., Yuan Q., Lu X., Wang L. Identification of nitrate sources of groundwater and rivers in complex urban environments based on isotopic and hydro-chemical evidence. *Science of the Total Environment*, 871 (2023). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36754334/> (дата звернення: 14.09.2025).

24. Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA Explorer: Reanalysis climate data (ERA5) URL: <https://era-explorer.climate.copernicus.eu/> (дата звернення: 14.09.2025).

25. Diadin D., Vystavna Y. Long-term meteorological data and isotope composition in precipitation, surface water and groundwater revealed hydrologic sensitivity to climate change in East Ukraine. *Isotopes in Environmental & Health Studies*. 2020. 56 (2). pp. 136–148. URL: <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1732369> (дата звернення: 29.10.2025).

26. Diadin D., Vystavna Y. Stable isotopes for estimation of urban groundwater balance in the Kharkiv city, East Ukraine. *International Symposium on Isotope Hydrology: Advancing the Understanding of Water Cycle Processes: proceedings of the symposium (Vienna, IAEA, 20–24 May 2019)*. 2019. Vienna, Austria

27. Esquivel-Hernández G., Abdollahi H., et al. Nitrate isotopes ( $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) in precipitation: best practices from an international coordinated research project. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2023. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10256016.2023.2177649> (дата звернення: 05.10.2025).

28. Gao H., Liu J., Sun L., et al. Tracing groundwater nitrate sources in an intensive agricultural region using dual nitrate isotopes with SOM and mixing models. *Scientific Reports*, 2024. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-67735-x> (дата звернення: 20.09.2025).

29. Gibrilla A., Kyerematen R., et al. Insights from stable isotopes of  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  for groundwater recharge and mixing dynamics. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2022. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1464343X22001194> (дата звернення: 05.10.2025).

30. Gourcy L., Petelet-Giraud E., et al. The use of water stable isotopes for a better understanding of groundwater resources in Djibouti. *Hydrogeology Journal*, 2022. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-022-02498-1> (дата звернення: 25.09.2025).

31. Jeelani G., Kumar P., et al. Use of stable water isotopes to identify and estimate the sources of groundwater recharge in a western Himalayan catchment.

*Hydrological Sciences Journal*, 66(16), 2021. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2021.1985126> (дата звернення: 09.09.2025).

32. Joel R. Gat, Willem G. Mook, Harro A.J. Meijer. *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle: Principles and Applications* . Vol.2. Paris: IAEA, UNESCO, 2000. 164 p.

33. Kamdee K., Corcho Alvarado J.A., Yongprawat M., et al. Using  $^{81}\text{Kr}$  and isotopic tracers to characterise old groundwater in the Bangkok metropolitan and vicinity areas. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2023. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10256016.2023.2261613> (дата звернення: 09.09.2025).

34. Kaminsky E., et al. Recharge and redox processes drive urban groundwater quality as indicated by water and nitrate isotopes. *Journal of Hydrology*, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169425012697> (дата звернення: 01.09.2025).

35. Kebede S., Hailu K., Siraj A., Birhanu B. Environmental isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ) and electrical conductivity in backtracking sources of urban pipe water. *Frontiers in Water*, 2023. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2023.1066055/full> (дата звернення: 20.09.2025).

36. Kinzinger L., von Freyberg J., et al. Continuous in-situ water stable isotopes reveal rapid urban hydrological responses. *Water Resources Research*, 2025. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12415413/> (дата звернення: 01.09.2025).

37. Krishan G., Rao M.S., et al. Isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and  $^3\text{H}$ ) variations in groundwater with salinity, land use and experimental results. *Science of the Total Environment*, 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721031223> (дата звернення: 10.10.2025).

38. Li B., Zhang Y., et al. New insights into nitrate sources and transformations in a river-groundwater system using multi-isotope approaches. *Environmental Research*, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935125003160> (дата звернення: 20.10.2025).
39. Marx C., Kufner M., et al. Isotope hydrology and water sources in a heavily urbanized catchment. *Hydrological Processes*, 35(10), 2021. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hyp.14377> (дата звернення: 15.10.2025).
40. Michelutti N., et al. Using Stable Water Isotope Composition ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$ ) to Understand Arctic Lake Responses to Warming – method insights. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 127(3), 2022. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021JG006719> (дата звернення: 20.09.2025).
41. Matiatos I., Sacchi E., Yue F.-J., Michalski G., Alonso-Hernández C., Biasi C., Bouchaou L., Edirisinghe N.V., Fadhullah W., Fianko J.R., et al. Global patterns of nitrate isotope composition in rivers and aquifers. *Communications Earth & Environment*, 2:52 (2021). URL: <https://www.nature.com/articles/s43247-021-00121-x> (дата звернення: 05.09.2025).
42. Nejatijahromi Z., Nassery H.R., Hosono T., Nakhaei M., Alijani F., Okumura A. Groundwater nitrate contamination in an area using urban wastewaters for agricultural irrigation under arid climate condition, southeast of Tehran, Iran. *Agricultural Water Management*, 221 (2019). URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v221y2019icp397-414.html> (дата звернення: 09.09.2025).
43. Nagode K., Jamnik B., Vreča P., et al. Multi-Isotope Characterization of Water in the Water Supply System of Ljubljana from source to tap. *Water*, 14(13), 2022. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/13/2064> (дата звернення: 13.10.2025).

44. Pouye A., ... Nitrate contamination of urban groundwater and heavy rainfall flushing. *Vadose Zone Journal* (2023). URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/vzj2.20239> (дата звернення: 10.09.2025).
45. Rajan S., et al. Surface–groundwater interactions and recharge sources in an urban environment using stable isotopes and hydrogeochemical tracers. *Environmental Research*, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935125008382> (дата звернення: 10.09.2025).
46. Scandellari F., Penna D., et al. Using stable isotopes to inform water resource management: benefits and limitations. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 2024. URL: <https://www.osti.gov/pages/biblio/2407316> (дата звернення: 10.09.2025).
47. Smith D.F., Stubbins A., et al. The  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  fingerprint of the Scioto River: controls and applications. *Applied Geochemistry*, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088329272300327X> (дата звернення: 15.10.2025).
48. Wallace S., Biggs T., Lai C-T., McMillan H. Tracing sources of stormflow and groundwater recharge in an urban, semi-arid watershed using stable isotopes (San Diego, USA). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 33, 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581821000355> (дата звернення: 25.10.2025).
49. Wang F., Zhang Q., et al. Multiple stable isotopic approaches for tracing nitrate sources and transformations in groundwater–river systems. *Chemosphere* (ahead of print), 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014765132301326X> (дата звернення: 05.10.2025).
50. Wei X., Chen Z., et al. Sources and Transformation of Nitrate in Shallow Groundwater of a Mountainous Urban–Agricultural Area. *Water*, 16(22), 2024. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/22/3299> (дата звернення: 20.09.2025).

51. What is Isotope Hydrology? URL: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-isotope-hydrology> (дата звернення: 10.09.2025).

52. Yang N., Zhang Y., et al. Triple isotopes ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{17}O$ ) of river water: implications for hydrological tracing. *Science of the Total Environment*, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969724023726> (дата звернення: 09.10.2025).

53. Yapiyev V., St-Amour N., et al. Stable Water Isotopes as an Indicator of Surface Water-Groundwater Interaction in Shallow Aquifers used for Drinking Water Supply (Northern Finland). *Water Resources Research*, (2023). URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2022WR033056> (дата звернення: 25.10.2025)

54. Zagor K. (Žagar K.), Ortega L., Pavlič U., Jamnik B., Bračič-Železnik B., Vreča P. Unravelling the sources contributing to the urban water supply: an isotope perspective from Ljubljana, Slovenia. *Journal of Hydrology*, 632, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169424002865> (дата звернення: 07.09.2025).

55. Zaryab A., Ghasemi S., et al. Determining nitrate pollution sources in the Kabul Plain aquifer using dual nitrate isotopes. *Science of the Total Environment*, 2022. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722008415> (дата звернення: 06.09.2025).

56. Zendeabad M., Cepuder P., Loiskandl W., Stumpp C. Source identification of nitrate contamination in the urban aquifer of Mashhad (Iran) using isotopic and chemical indicators. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221458181930062X> (дата звернення: 05.11.2025).

57. Žagar K., Vreča P., et al. Isotopic characterisation of groundwater at Ljubljansko polje and Ljubljansko barje aquifers: 2020–2021 dataset. *PANGAEA Data Publication*, 2022. URL: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.950670> (дата звернення: 01.11.2025).

## ДОДАТКИ

## Додаток А

## Відклади, в яких формується основна маса підземного стоку

	Антропогенні алювіальні і флювіогляціальні
	Неогенові
	Харківської світи та пліоценового алювія
	Харківської і полтавської світи
	Олігоцені (фліш)
	Еоценово-олігоцені
	Крейдово - палеогенові
	Крейдово - палеогенові (фліш)
	Верхньокрейдіві (мергельно-крейдова товща)
	Сеноманського ярусу
	Крейдіві (фліш)
	Юрські
	Тріасові
	Пермські
	Карбонові
	Девонські
	Силурійські
	Протерозойсько- мезозойські
	Верхньопротерозойські валдайсько-вендського комплексу
	Докембрійські











 У формуванні підземного стоку приймають участь два або більше водоносних горизонти

 Ділянки з відсутнім підземним стоком

 Ділянки з мінералізацією вод більше 10 г/л









Під підземним стоком розуміється кількість води що рухається в гірських породах від області живлення до області розвантаження при збереженні в часі середньої рівневої поверхні

### Основні водоносні горизонти та складаючі їх породи

	У сучасних алювіальних та озерно-алювіальних відкладах заплавл річок. Піски, часто з гравієм і галькою, галечники, місцями чергування пісків, суглинків, глин, супісей, гравійно-галечного матеріалу, рідше суглинки, супіски, мули
	У антропогенових алювіальних і середньоантропогенових флювіогляціальних відкладах. Піски, в нижній частині з гравієм і галькою
	У антропогенових алювіальних відкладах. Піски, місцями з гравієм і галькою, з лінзами і прошарками суглинків, супісків і глин. У Карпатах галечники, Піски валуни, галечні і щербисто-глинисті відклади
	У антропогенових алювіальних і гравітаційно-делювіальних відкладах. Валунні галечні, піщано-гравелітові і щепенювато-суглинні відклади
	У пліоцену і антропогенових алювіальних відкладах. Галечники з валунами, Піски, глини
	У пліоцену і нижньоантропогенових вулканічних утвореннях. Базальти, андезити-базальти, андезити, дацити, ліпарити і їх туфи
	У відкладах харківської світи олігоцену і антропогенових алювіальних відкладах. Піски, місцями алевроліти і аргіліти, Піски з лінзами і прошарками суглинків, супісей і глин
	У відкладах левантінських шарів Куяльницького ярусу. Піски, галькові
	У відкладах Куяльницького ярусу. Піски, місцями глинисті з прошарками глин і суглинків, рідше суглинки
	У відкладах понтічного ярусу. Піски, вапняки
	У відкладах меотічного і понтічного ярусів. Вапняки, піски
	У відкладах сарматського, меотічного і понтічного ярусів. Піски, вапняки з прошарками глин
	У міоценових і пліоцену відкладах. Вапняки, піски, пісковики, рідше конгломерати, місцями прошарки пісків, пісковиків і глин, прошарки пісків і пісковиків в товщі глин
	У відкладах меотічного ярусу. Вапняки, піски, рідше мергелі
	У відкладах сарматського і меотічного ярусів. Піски, вапняки з прошарками глин, мергелів
	У відкладах сарматського ярусу. Піски з прошарками пісковиків, вапняків, рідше глин і мергелів
	8 відкладах тортонського і сарматського ярусів. Піски, вапняки і прошарки пісковиків
	У відкладах тортонського ярусу. Вапняки з прошарками глин, пісковики, піски
	У відкладах полтавської світи міоцену. Піски, іноді з прошарками пісковиків і лінзами глин
	У міоценових відкладах. Прошарки вапняків і пісковиків з пісками і глинами, місцями прошарки мергелів, гіпсів, ангідритів і сірки, в Криму вапняки, піски, пісковики, рідше конгломерати і мергелі, місцями прошарки вапняків, пісків, пісковиків і глин
	У відкладах харківської світи олігоцену і міоцену. Піски, пісковики, часто замінюються глинами
	У еоценових, олігоценових і міоценових відкладах. Піски, часто глинисті, місцями мергелі, пісковики, глини
	У відкладах харківської світи олігоцену. Піски, алеврити, пісковики, прошарки глин
	У відкладах еоцену і олігоцену. Піски, місцями глинисті з прошарками пісковиків, алевролітів, рідше глин
	У відкладах київської світи еоцену. Піски з галькою фосфориту, мергелі, алевроліти, аргіліти
	У відкладах Бучанської світи еоцену. Піски, місцями аргіліти, алевроліти
	У відкладах канівської і Бучанської світи еоцену. Піски, іноді глинисті, рідше пісковики і алевроліти
	У відкладах еоцену. Піски, мергелі, рідше пісковики і алевроліти
	У відкладах палеогену. Піски, рідше пісковики, мергелі, алевроліти
	У відкладах верхньої крейди, еоцену і олігоцену. Крейда, мергель, піски з кременем і прошарками пісковиків, місцями пісковики, алеврити, глини
	У дат-монтських відкладах. Вапняки, мергелі
	У тріщинуватій зоні турон-сенонського, туронських і сенонських відкладень верхньої крейди. Крейда і мергель, вапняки, місцями пісковики

	У відкладах сеноманського ярусу верхньої крейди. Піски, пісковики, мергелі, місцями конгломерати, глини
	У тріщинуватій зоні мергельно-крейдяний товщі верхньої крейди. Крейда і мергель
	У відкладах нижньої крейди і сеноманського ярусу верхньої крейди. Піски, пісковики, мергелі, рідше вапняки
	У відкладах крейди, Піски, пісковики, крейда. Мергель, іноді галечник. У Криму, крім перерахованих порід, вапняки, конгломерати.
	У відкладах крейди, В Карпатах - флішові освіти (чергування пісковиків, аргілітів, алевролітів, мергелів, вапняків)
	У верхнеюрських відкладах. Вапняки, пісковики, конгломерати
	У відкладах юри. Вапняки, пісковики, доломіт, мергелі, глини, аргіліти, алевроліти, лінзи вугілля, прошарки гіпсоангідритів. У Карпатах вапняки, мергелі, глини, діабаз
	У відкладах тріасу і юри. Вапняки, пісковики, конгломерати, піски, аргіліти, доломіти
	У відкладах тріасу. Піски і пісковики, конгломерати, глини
	У відкладах пермі і тріасу. Піски з частими прошарками пісковиків і рідкими прошарками вапняків, місцями конгломерати
	У відкладах пермі. Піски, пісковики, алевроліти, рідше глини, конгломерати, гіпси і ангідрити
	У відкладах верхнього карбону. Глинисті сланці, пісковики з рідкісними прошарками вапняків і вугілля
	У відкладах середнього карбону. Чергування глинистих сланців і пісковиків з тонкими прошарками вапняків
	У відкладах нижнього карбону. Вапняки, чергування глинистих сланців і пісковиків з малопотужними прошарками вугілля
	У відкладах девону. Вапняки, доломіти, пісковики, аргіліти
	У відкладах девону. У Донбасі ефузивні породи
	У відкладах силуру. Вапняки, аргіліти, мергелі, місцями пісковики, доломіт
	У нерозчленованих відкладах палеозою і мезозою. Пісковики, конгломерати, доломіт, вапняки, місцями аргіліти, глини, кристалічні сланці
	У нерозчленованих відкладах протерозою і мезозою. Гнейси, мармури, пісковики, конгломерати, доломіт, вапняки, місцями аргіліти, глини, кристалічні сланці, філіти, кварцити, туфоїди, порфіроїди
	У утвореннях вендського комплексу верхнього протерозою. Перешарки пісковиків, аргілітів, алевролітів, конгломератів, базальти, туфи, туфобрекчії, габро-діабаз
	У відкладах поліської серії верхнього протерозою. Перешарки пісковиків, алевролітів і аргілітів
	У тріщинуватій зоні кристалічних порід докембрію: архею, архею - нижнього протерозою, коростенського комплексу середнього протерозою. В основному граніти і їх мігматити, на окремих ділянках гнейси, кристалічні вапняки, кварцити, сланці, амфіболіти, габро-діорити, grano-діорити, плагіограніти, габро, габро-діабаз, габро-норіти, анортозити і ін. Осадково-метаморфічна товща - пісковики, сланці, кварцити, діабазові порфірити, кварцові порфіри

### Підземні води спорадично поширення

	У відкладах міоцену і пліоцену. Глини, пісковики, туфи, конгломерати, гранодіорит-порфіри, діорит-порфіри
	У відкладах сарматського ярусу. Ліпарити і їх туфи
	У відкладах торгонського ярусу. Глини з прошарками і лінзами пісковиків, конгломератів, туфи, туфи ліпаріто-дацитові, кам'яна сіль
	У відкладах міоцену. Глини з прошарками і лінзами пісковиків, конгломератів
	У флішових утвореннях олігоцену. Чергування аргілітів, пісковиків і алевролітів, мергелі, кремені, рідше гравеліти, конгломерати
	У флішових утвореннях крейди і палеогену. Чергування пісковиків, аргілітів, алевролітів, мергелів, конгломератів, вапняків, рідше кременів, гравелітів
	Ділянки двох або декількох водоносних горизонтів
	Ділянки з мінералізацією вод більше 10 г/л