

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

Природничих наук і технологій
 (факультет)

Кафедра Гідрогеології та інженерної геології
 (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
 кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

студентки Полієнко Валерії Андріївни
 академічної групи 103-20-1

спеціальності 103 Науки про Землю

за освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»

на тему Прогнозне оцінювання ресурсів підземних вод у прибережній зоні р.
 Дніпро після руйнування греблі Каховської ГЕС.

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Рудаков Д.В.			
розділів:				
Загальний	Рудаков Д.В.			
Спеціальний	Рудаков Д.В.			
Рецензент	Козій Є.С.			
Нормоконтролер	Інкін О.В.			

Дніпро
 2024

ЗАТВЕРДЖЕНО:В.о. завідувача кафедри
гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Рудаков Д.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню бакалавра**Студенту ПШБ групи 103-20-1

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 103 «Науки про Землю»за освітньою програмою «Геологія»на тему Прогнозне оцінювання ресурсів підземних вод у прибережній зоні р.Дніпро після руйнування греблі Каховської ГЕСзатверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.04.2024№ 333-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	<i>Вивчення природних та техногенні умов в зоні впливу Каховського водосховища. Характеристика водозабірних споруд. Аналіз водних ресурсів прибережної зони. Вивчення сучасного стану водозабезпечення після руйнування ГЕС та якості поверхневих і підземних вод.</i>	20.05.2024- 24.06.2024
Спеціальний	<i>Розробка чисельної гідрогеологічної моделі прибережної території в районі м. Нікополь в програмі ModFlow. Прогнозування гідрогеологічного режиму та можливостей водозабезпечення в умовах створення берегових водозаборів на основі моделювання.</i>	

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Рудаков Д.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

15.04.2024

Дата подання до екзаменаційної комісії

25.06.2024

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Полієнко В.А.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок – 71, рисунків – 38, таблиць – 8, джерел – 17.

Об'єкт дослідження – гідрогеологічний режим його прибережних зон колишнього Каховського водосховища в умовах змін гідрологічного режиму.

Предмет дослідження – водні ресурси прибережних зон півдня Дніпропетровської області в умовах змін гідрологічного та гідрогеологічного режиму після руйнування греблі Каховської ГЕС.

Мета дослідження – оцінка змін гідрогеологічного режиму території Каховського водосховища після руйнування греблі ГЕС та прогностичні розрахунки використання водних ресурсів прибережної зони.

У першому розділі надано характеристику досліджуваної території, а саме природні та техногенні умови в зоні впливу Каховського водосховища, у тому числі клімату, геологічної будови, гідротехнічних споруд, гідрогеологічного та гідрологічного режиму та їх зміни після руйнування.

У другому розділі розглянуто стан та заходи водозабезпечення прибережної зони Каховського водосховища, а також сучасні заходи водозабезпечення громад, що залишились без водопостачання після підриву ГЕС.

У третьому розділі представлено чисельне моделювання гідрогеологічного режиму в умовах створення прибережних водозаборів та прогностичні оцінки припливу та якості відкачуваної води на прикладі м. Нікополь.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАХОВСЬКЕ ВОДОСХОВИЩЕ, ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ, ГІДРОГЕОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ, ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, БЕРЕГОВИЙ ВОДОЗАБІР, ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

Зміст

ВСТУП	5
1. ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ТЕХНОГЕННІ ЗМІНИ В ЗОНІ ВПЛИВУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА.....	6
1.1. Клімат і орографія	6
1.2. Геологічна будова	8
1.3. Гідрогеологічний режим.....	10
1.4. Гідротехнічні споруди та гідрологічний режим до руйнування греблі 13	
1.5. Зміни гідрологічного та гідрогеологічного режиму після руйнування греблі 17	
2. СТАН ТА ЗАХОДИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА.....	23
2.1. Характеристика водозабірних споруд прибережної зони.....	23
2.2. Якість водних ресурсів прибережної зони.....	32
2.3. Сучасні заходи з водозабезпечення після припинення існування Каховського водосховища	46
3. ПРОГНОЗУВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ В УМОВАХ СТВОРЕННЯ ПРИБЕРЕЖНОГО ВОДОЗАБОРУ	49
3.1. Обґрунтуванням вибору ділянки водозабору.....	49
3.2. Алгоритм скінченно-різницевого моделювання	52
3.3. Прогнозні оцінки припливу та якості води	58
ВИСНОВКИ.....	65
Список літератури:	67
Додаток А	69
Додаток Б.....	70
Додаток В	71

ВСТУП

Руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 року стало визначальною подією для гідрологічного та гідрогеологічного режиму регіону. Внаслідок цього катастрофічного явища з'явилася необхідність переоцінки та прогнозування ресурсів підземних вод, що відіграють ключову роль у водозабезпеченні місцевих громад.

В умовах змін, спричинених руйнуванням греблі, виникла потреба в детальному аналізі гідрологічних та гідрогеологічних процесів, які визначають динаміку водних ресурсів регіону. Особливу увагу слід приділити дослідженню впливу цих змін на підземні води, які є важливим джерелом водопостачання для населення та господарської діяльності.

Метою даної роботи є оцінка змін гідрогеологічного режиму території Каховського водосховища після руйнування греблі ГЕС та прогнози розрахунки використання водних ресурсів прибережної зони.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Охарактеризувати природні та техногенні умови в зоні впливу Каховського водосховища, включаючи кліматичні умови, геологічну будову, гідротехнічні споруди, а також гідрогеологічний та гідрологічний режим.
2. Визначити стан та заходи водозабезпечення прибережної зони Каховського водосховища, а також сучасні заходи водозабезпечення громад, які залишилися без водопостачання після руйнування греблі.
3. Розробити чисельну модель гідрогеологічного режиму в умовах створення прибережного водозбору та провести прогнози оцінки припливу та якості відкачуваної води.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю забезпечення водними ресурсами населених пунктів, розташованих у прибережній зоні річки Дніпро на півдні Дніпропетровської області. Внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС виникають нові виклики для управління водними ресурсами, що потребують сучасних підходів та інноваційних рішень.

1. ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ТЕХНОГЕННІ ЗМІНИ В ЗОНІ ВПЛИВУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

1.1. Клімат і орографія

Каховське водосховище, розташоване на півдні України, є одним із найбільших штучних водойм країни. Воно було створено на річці Дніпро у 1955 році з метою регулювання стоку річки, забезпечення водопостачання, а також з метою гідроенергетики та зрошення.

Каховське водосховище знаходиться в зоні помірно-континентального клімату, що характеризується відносно м'якими зимами та спекотним літом.

Середньорічна температура повітря у районі Каховського водосховища становить близько $+10^{\circ}\text{C}$. Взимку середні температури коливаються від -2°C до -5°C , а влітку середні температури досягають $+22^{\circ}\text{C}$ - $+25^{\circ}\text{C}$. Абсолютні максимуми можуть перевищувати $+35^{\circ}\text{C}$, а мінімум опускатися нижче -20°C .

Безморозковий період триває в середньому 185 днів на рік. Температура поверхні ґрунту зазвичай переходить через точку замерзання 10-15 разів на рік. Атмосферний тиск взимку становить приблизно 1021 гПа, знижуючись влітку до 1012-1013 гПа. Сонячна радіація змінюється з півночі на південь від 4200 до 4400 МДж/м², радіаційний баланс - від 1800 до 1950 МДж/м². Тривалість сонячного сяйва становить від 2050 до 2150 годин на рік.

Середньорічна кількість опадів у регіоні становить близько 400-500 мм. Найбільша кількість опадів випадає у літній період, переважно у вигляді дощів, а найменша — взимку, часто у вигляді снігу.

Вітровий режим у районі Каховського водосховища обумовлений його розташуванням та особливостями місцевого рельєфу. Переважні вітри мають західний і північно-західний напрямок. Середня швидкість вітру становить 4-6 м/с, але в зимові місяці вона може значно збільшуватися.

Кліматична мапа України (1980—2016)



Каховське водосховище розташоване в межах Причорноморської низовини. Рельєф у районі водосховища переважно рівнинний, з невеликими пагорбами та увалами. Береги водосховища місцями круті та стрімкі, особливо у південній частині.

Річка Дніпро перетинає територію з північного заходу на південний схід, її басейн включає притоки Оріль, Самара, Мокра Сура, Базавлук, Інгулець та інші. На ділянці розташовано близько 1,5 тисячі водойм і ставків площею понад 26 тисяч гектарів. Південна частина Дніпропетровської області до руйнування греблі ГЕС омивалася водами Каховського водосховища.

Рельєф місцевості значно впливає на формування місцевого клімату. Рівнинний характер території сприяє вільній циркуляції повітряних мас, що призводить до відсутності значних температурних контрастів та рівномірного розподілу опадів. Пагорби та ували можуть бути бар'єром для вітрів, що знижує їх швидкість та інтенсивність на підвітряних схилах.

Рельєф правобережжя представлений Придніпровською височиною з висотами 100-150 м над рівнем моря і максимумом 192 м у Солонянському районі. Лівобережжя - Придніпровська низовина з висотами 50-75 м над рівнем моря.

Долина Дніпра розташована на висотах від 75 до 48 м. Найнижча точка Дніпропетровщини - 48 м на межі з Запорізькою областю. Долина річки проявляє вплив льодовика, звужуючись нижче міста Дніпро з крутизною схилів. Під водами водосховища залишаються затоплені дніпровські пороги.

На території області поширені небезпечні географічні процеси: водна ерозія ґрунтів, площинна ерозія, просідання лесових порід, вітрова ерозія на височинах, зсувонебезпечні ділянки в долині Дніпра та підтоплення в басейні Орелі.

Клімат та орографія Каховського водосховища відіграють важливу роль у формуванні його екологічного стану та умов життя місцевого населення.

Загалом територія сприятлива для різних господарських діяльностей, крім окремих небезпечних ділянок.

1.2. Геологічна будова

Територія Каховського водосховища знаходиться в межах двох великих геологічних структурних одиниць: Українського кристалічного щита та Дніпровсько-Донецької западини.

Український кристалічний щит охоплює правобережну частину району водосховища та частково його лівобережну частину. Кристалічний фундамент тут залягає на глибині від кількох метрів до десятків під поверхнею. Щит складається з кількох великих мегаблоків: Кіровоградського, Придніпровського та Приазовського, які розділені глибокими розломами.

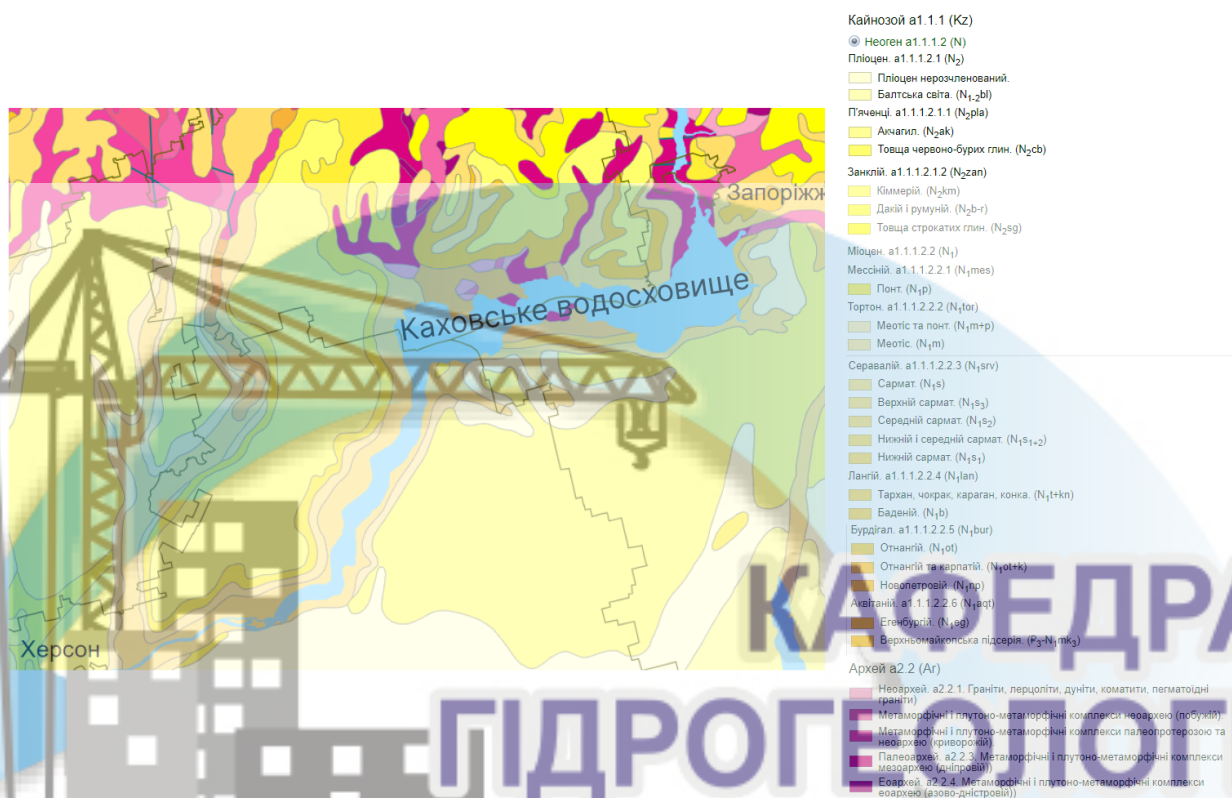


Рисунок. 1.2 – Геологічна карта району Каховського водосховища [2].

Антиклінальні структури щита поділяються на лінійні та куполоподібні, в яких широко поширені метасоматичні гранітоїди, утворені в умовах амфіболітового та гранулітового регіонального метаморфізму, а також пізньоорогенні мікроклінові граніти. Основні породи, що виходять на поверхню в долинах річок, включають гнейси, граніти, кварцити та діорити архею та протерозою.

Дніпровсько-Донецька западина представлена своїм південним бортом, відокремленим від Українського щита глибинними розломами. У цьому районі кристалічні породи поринають на глибину від 100 до 1500 метрів. Впадина характеризується потужними осадовими відкладеннями, які включають вапняки, піски, глини та алеврити палеоген-неогену.

На території Каховського водоймища осадові породи покривають як Український щит, так і Дніпровсько-Донецьку западину. В областях щита ці відкладення, як правило, тонкі і включають вапняки, піски, глини і алеврити.

На схилах щита зустрічаються більш потужні шари осадових порід, що складаються з глин, алевритів та пісків міоцену та пліоцену.

У долині Дніпра зустрічаються антропогенні відкладення, представлені делювіальними суглинками та лісами плейстоценового періоду, які замінюються еоценовими олово-делювіальними та елювіальними відкладами. На терасах Дніпра та його приток залягають алювіальні піски плейстоценового віку.

Район Каховського водоймища характеризується низькою сейсмічною активністю. Сила землетрусів зазвичай не перевищує 2,0-2,5 бали за шкалою Ріхтера. Це є позитивним фактором для сейсмостійкості інженерних споруд. Однак наявність глибинних розломів та магматичних порід потребує постійного моніторингу для забезпечення техногенної безпеки, оскільки вони можуть становити загрозу у разі активізації.

Магматичні породи, що є в районі Українського щита, сприяють підвищенню природного радіаційного фону. Проте показники залишаються в межах допустимих норм і не становлять значної загрози для населення та екосистеми водосховища.

Геологічна будова Каховського водосховища є важливим фактором, що визначає його стійкість та безпеку експлуатації.

1.3. Гідрогеологічний режим

Гідрогеологічні умови території, де розташоване Каховське водосховище, характеризуються складністю через різноманітний літологічний склад порід, наявність кількох водоносних горизонтів та їх взаємозв'язок, а також вплив водосховища та інших антропогенних факторів. Серед основних факторів, що впливають на гідрогеологічний режим, можна виділити діючі кар'єри та їх дренажні системи, промислові підприємства та їх хвостосховища, витік із водопровідних систем та безпосередньо вплив самого водосховища.

У геологічних породах, що формують цей район, виділяються п'ять основних водоносних горизонтів:

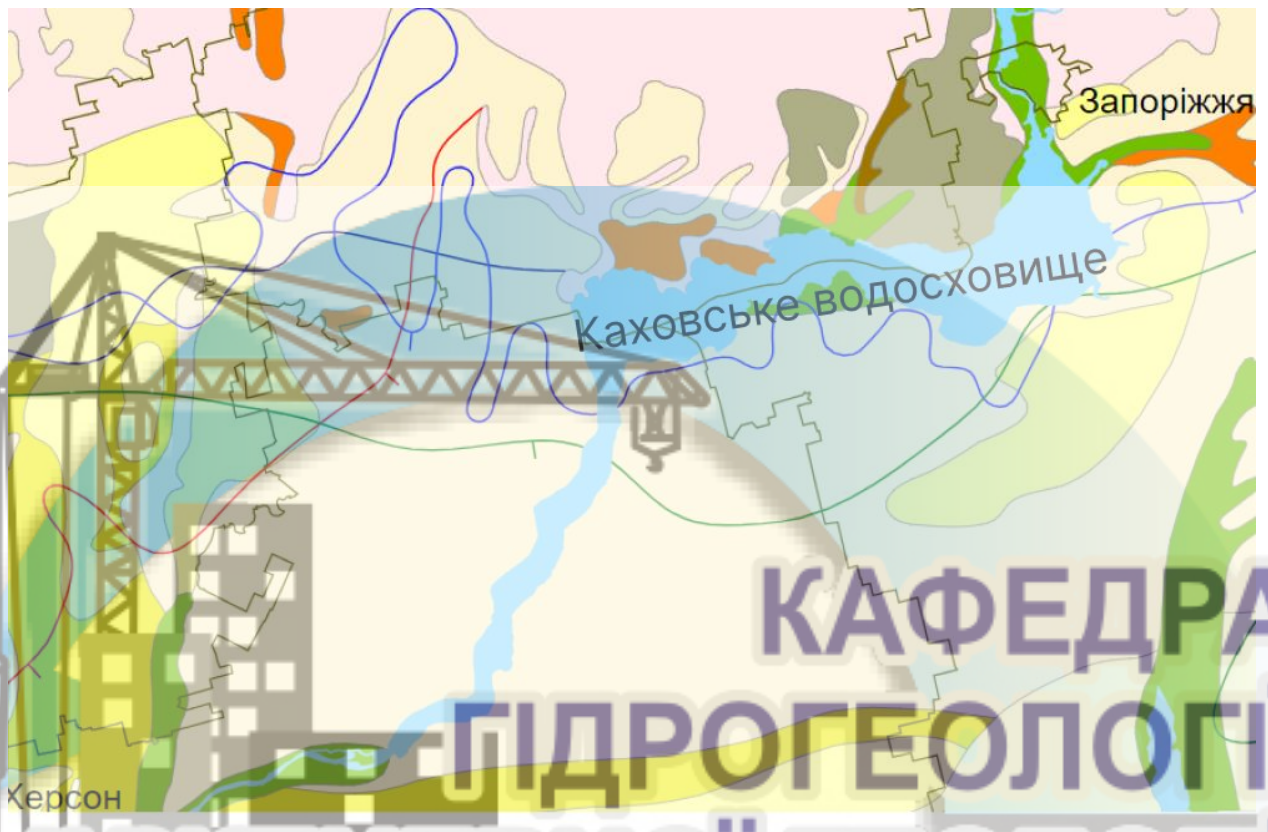
Четвертинний водоносний горизонт залягає у піщаних відкладах лісоподібних суглинків потужністю до 2 м з коефіцієнтом фільтрації 0.12 – 0.4 м/добу. Води концентруються під щільними червоно-бурими глинами, утворюючи верхівку на глибині 2.5 - 15 м від поверхні. Горизонт живиться атмосферними опадами, а розрядка відбувається на схилах балок.

Понт-меотичний водоносний горизонт поширений майже повсюдно, крім ділянок, де вапняки розмиті. Горизонт має як напірні, так і безнапірні ділянки. Потужність варіюється від 0 до 13 м, середня - 5-7 м. Коефіцієнт фільтрації становить 2.0 - 4.8 м/добу. Живлення здійснюється на водороздільних ділянках, звідки підземні води прямують до балок та водосховища.

Нижньосарматський водоносний горизонт пов'язаний з відкладеннями дрібнозернистих пісків потужністю від 2.3 до 10 м. Коефіцієнт фільтрації варіюється від 0.01 до 25.1 м/добу. Води мають сульфатно-хлоридно-натрієвий склад із сухим залишком до 6 г/л. Живлення відбувається на вододілах, часткова розрядка - у водосховищі.

Водоносні піски середньоміоценового горизонту поширені місцями та мають потужність від 2 до 3 м. Коефіцієнт фільтрації становить 0.37 м/добу, водовіддача – 0.13 – 0.17. Живлення горизонту здійснюється через інфільтрацію атмосферних опадів.

Олігоценний водоносний горизонт широко поширений і пов'язаний з лінзами дрібнозернистих пісків. Коефіцієнт фільтрації варіюється від 0.13 до 1.37 м/добу, в середньому – 0.34 м/добу. Напір води змінюється від 7 до 30 м. Живлення горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації на вододілах та розрядки до водосховища.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

- У алювіальних і озерно-алювіальних антропогенових відкладах надзаплавних терас і заплав. Піски, часто з гравієм і галькою, з прошарками супісків, суглинків і глин. В області Карпат переважають галечники з домішкою піщано-глинистого матеріалу.
- У відкладеннях середнього і верхнього пліоцену. Піски і пісковики залізисті.
- У відкладеннях понтічного ярусу. Вапняки, піски.
- У відкладеннях балтської світи. Глини з прошарками і лінзами піску.
- У відкладеннях меотічного ярусу. Вапняки, піски, рідше мергелі.
- У відкладеннях міоцену і понтічного ярусу. Піски, вапняки з прошарками глин, мергелів.
- У відкладеннях сарматського ярусу. Піски з прошарками пісковиків, вапняків, рідше глин і мергелів. В Закарпатській западині - глини, піски, конгломерати, вапняки. В районі Берегово-ліпарити і їх туфи.
- У відкладеннях неогену. Піски, пісковики, вапняки
- У відкладеннях харківської світи олігоцену і міоцену. Піски, пісковики, часто прошарки глин.
- У відкладеннях еоцену, олігоцену і міоцену. Піски, часто глинисті, місцями мергелі, пісковики, глини.
- У відкладеннях палеогену. Піски, рідше пісковики, мергелі, алевроліти.
- У відкладеннях пермі. Піски, пісковики, алевроліти, рідше глини, конгломерати, гіпси і ангідриту.
- Ділянки поширення переважно практично безводних порід. Індекс всередині контуру відповідає їх геологічного віку.

Рисунок. 1.3 – Гідрогеологічна карта району Каховського водосховища [3]

Каховське водосховище значно впливає на гідрогеологічні умови регіону. Воно змінює напрямок та інтенсивність підземного стоку, збільшуючи рівень ґрунтових вод у прилеглих територіях. Водосховище також сприяє інфільтрації води у водоносні горизонти, що посилює їхнє харчування та змінює хімічний склад підземних вод.

1.4. Гідротехнічні споруди та гідрологічний режим до руйнування греблі

Каховська ГЕС — остання (нижня) сходинка Дніпровського каскаду гідроелектростанцій. Розташована на півдні України за 0,5 км від міста Нова Каховка Херсонської області (рис. 1.4).



Рисунок. 1.4 – Каскад Дніпровських ГЕС та водосховищ. [4]

Монтаж першої турбіни, розпочатий у серпні 1954 року, завершили 18 жовтня 1955 року. 19 жовтня 1959 року Каховську ГЕС прийнято в промислову експлуатацію зі встановленою потужністю 312 МВт.

При її спорудженні було утворене Каховське водосховище. До складу гідровузла входять: будівля ГЕС, водозливна та земляна греблі, судноплавні споруди, закритий розподільний пристрій 154 кВ, що є характерною особливістю цієї ГЕС.

Через гідротехнічні споруди проходять залізничний та автомобільний шляхи. Довжина гідровузла 3,7 км. Водозливна гребля гравітаційного типу завдовжки 447 м має 28 водозливних отворів завширшки 12 м кожний. Пропускна здатність греблі 19 460 м³/сек. У машинній залі будівлі ГЕС встановлено 6 вертикальних гідроагрегатів загальною потужністю 329 МВт. Схема електричних з'єднань – блокова: генератор-трансформатор з однією 2-секційною робочою і однією обхідною системами шин 154 кВ. Кожний блок приєднано до однієї із секцій шин через вимикач 154 кВ. Станція постачає електроенергію по 6-х лініях електропередач 154 кВ. Від 1997 на Каховській гідроелектростанції проводили реконструкцію обладнання, зокрема на 5-х гідроагрегатах виконано заміну робочих коліс на екологічно чисті з підвищеним коефіцієнтом корисної дії, замінено 16 повітряних вимикачів на сучасні елегазові, 6 трансформаторів напруги, на 5-х гідроагрегатах встановлено нові тиристорні системи збудження генераторів та сучасні регулятори швидкості обертання агрегатів. Впроваджено автоматизовану систему контролю безпеки гідротехнічних споруд.

Каховське водосховище розташоване у Запорізькій, Дніпропетровській та Херсонській областях. Водосховище має сезонне регулювання стоку. Довжина його 240 км, площа дзеркала — 2155 км², повний об'єм складає 18,19 км³, а корисний — 6,8 км³.

З водоймища починаються Каховський канал, Північнокримський канал і Канал Дніпро — Кривий Ріг.

До складу Каховського гідровузла входять:

- земляна руслова гребля,
- водозливна гребля (має 28 водозливних отворів),
- будівля ГЕС із монтажним майданчиком, розбита на 4 секції

(перша секція — монтажний майданчик, три секції розміщують по два гідроагрегати),

- земляна гребля між шлюзом і ГЕС,
- судноплавний шлюз,
- земляна заплавна гребля,
- земляна надзаплавна гребля.

Довжина споруд гідровузла становить 3850,0 м.

Середньорічний проектний виробіток електроенергії Каховською ГЕС — 1420 млн кВт·год.

Турбіни — поворотно-лопатевого типу, виробництва ПАТ «Турбоатом» (м. Харків, Україна).

Генератори — синхронного типу, напругою 13,8 кВ, виробництва НПО «Електроважмаш» (м. Харків, Україна).

Електрична мережа скомпонована по три блоки «генератор–трансформатор» на дві системи шин закритого розподільчого пристрою — 154 кВ.

Протягом півстоліття існування водосховища на його берегах виникли природні лісові масиви, які захищають берег від руйнування. Прибережна захисна смуга в межах Запорізької, Дніпропетровської та Херсонської областей становить 16 тис.га.

Каховське водосховище було важливою частиною судноплавного шляху на Дніпрі, що веде до Чорного моря. На водосховищі розташовані порти в Запоріжжі, Нікополі, Кам'янці-Дніпровській та Новій Каховці. Тут також були розміщені човнові станції та водно-спортивні комплекси в містах Енергодар, Нікополь, Каховка та Запоріжжя.

Формування водосховища сприяло розвитку зрошувального землеробства на посушливих територіях Запорізької, Дніпропетровської та Херсонської областей. Зведені різноманітні зрошувальні системи, такі як «Кам'янський Под», Північно-Рогачинська, Вільнянська та інші, що сприяють підвищенню сільськогосподарської продуктивності та розвитку територій.

В Запорізькій області маємо 249,2 тис.га зрошуваних земель, а в Херсонській — 430,8 тис.га. У серпні 1963 року роботи на трасі Північно-Кримського каналу дійшли до Перекопу, а вже в жовтні води Каховського водосховища потекли до Криму. У 1976 році Дніпровська вода потрапила до міста-героя Керч.

У своїй роботі Каховська ГЕС забезпечувала річне регулювання стоку Дніпра для живлення електроенергією, зрошення та водозабезпечення посушливих районів півдня України і навігацію від Херсона до Запоріжжя.

Характерними особливостями Каховського гідровузла було безпосереднє розташування земляної греблі висотою 30 м на мулах, а також закритий розподільчий пристрій.

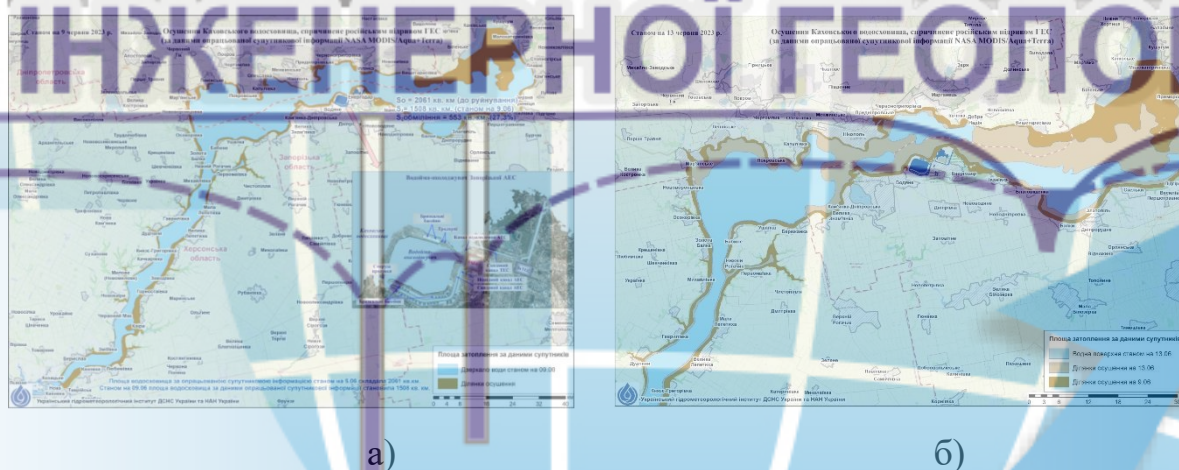
Спорудження Каховського гідровузла підняло рівень води в р. Дніпро до 16 метрів і утворило Каховське водосховище об'ємом 18,19 км³. На Каховській ГЕС встановили 6 вертикальних гідроагрегатів із поворотно-лопатеви́ми турбінами і синхронними генераторами зонтичного виконання. Потужність Каховської ГЕС складала 334,8 МВт.

Каховська ГЕС є відокремленим підрозділом ПрАТ «Укргідроенерго» — найбільшої гідрогенеруючої компанії України. 100 % акцій компанії належить державі.

Через гідровузол проходять стратегічні автомобільний і залізничний мостові переходи.

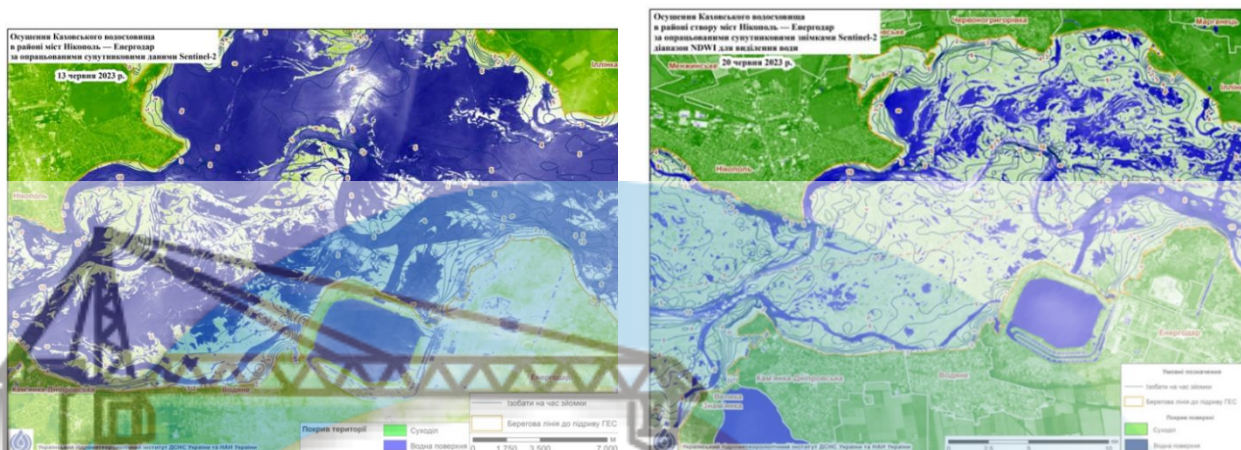
1.5. Зміни гідрологічного та гідрогеологічного режиму після руйнування греблі

До російського підриву гідроспоруди Каховської ГЕС площа однойменного водосховища складала 2155 км², а об'єм — 18,2 км³. Осушення (зневоднення) відбувалося шляхом втрати великих об'ємів води впродовж 6-18 червня 2023 р., максимальні витрати яких сягали 30-40 тис. м³ за секунду. 9 червня вже було помітно обміління північно-східної його ділянки і відступу води від берегів приблизно на 500 м вздовж решти берегової лінії. 13 червня глибина Каховського водосховища зменшилася на 4 – 5 метрів (рис. 1.5). Карти водної поверхні взяті з статті Національна академія наук України. Каховське водосховище – рік після підриву греблі [5].



Рисунки. 1.5. — Водна поверхня Каховського водосховища:
а) станом на 9 червня 2023, б) станом на 13 червня 2023.

Виділилося 2 русла: основне проходило по правому березі водосховища, тобто біля м. Нікополь; друге русло проходило біля м. Енергодар, на протилежному березі (рис. 1.6).



а)

б)

Рисунки. 1.6 – Стан ділянки в районі міст Нікополь та Енергодар:
а) через 7 днів після прориву греблі, б) через 14 днів після прориву греблі.

Тим не менше, як видно по знімку, перервано сполучення водойми-охолоджувача ЗАЕС із водою з водосховища. Станом на 16–18 червня водосховище складалося із серії водойм, частина з яких вже не була пов'язана з основним руслом р. Дніпро.

Ці замкнуті водойми вже не можна було використовувати для виконання цільових функцій водозабезпечення. На представленій карті також вказано площі цих окремих водойм. Їх сумарна площа становить менше третини (30,9%) від початкової площі водосховища. 18 червня отримано нові супутникові дані. По правому березі водосховища почало формуватися єдине русло р. Дніпро (рис. 1.7).

Решта площі водосховища почала перетворюватися на рівнину, вкриту донними відкладами. Подібна ситуація розгорнулася нижче за течією Дніпра, біля населених пунктів Берислав і Нова Каховка. Високий рівень води Каховського водосховища зумовлював наповнення водозбору Північнокримського каналу (рис. 1.8). Осушення водосховища привело до безповоротного припинення надходження води у водозбір каналу.

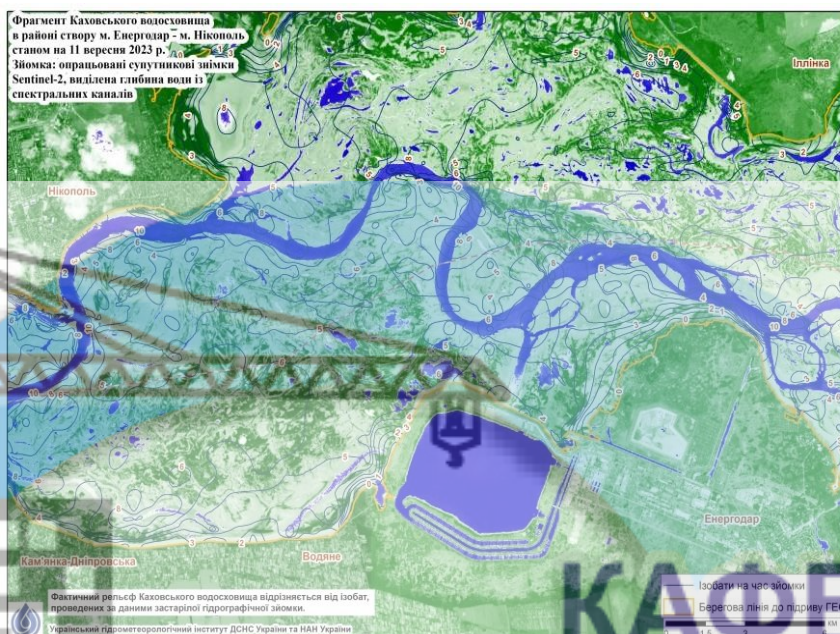


Рисунок. 1.7 – Космічний знімок покриття території водою станом на 11 вересня 2023 р.



а)

б)

Рисунок. 1.8 – Стан водозабору Північно-кримського каналу в районі міста Нова Каховка: а) 3 червня 2023 р., б) 24 червня 2023 р.

Сучасного рівня води не достатньо для наповнення водозабору навіть за умови заглиблення останнього. Утворення ряду роз'єднаних водойм сумарною площею менше третини водосховища ($655,9 \text{ км}^2$) станом на 18 червня 2023 року із тенденцією до скорочення площі водної поверхні, неможливість виконання водосховищем його функцій, формування основного русла р.

Дніпро в межах території водосховища дає підстави казати, що Каховське водосховище через 13 днів після російського теракту фактично перестало існувати.

Після опрацювання спектрональних космічних знімків на територію Каховського водосховища станом на 20 червня вдалося виділити площі, залиті водою, з високим ступенем точності (рис. 1.9). Були виявлені численні дуже дрібні водойми, площею близько $0,1 \text{ км}^2$. Для обчислення площі залишків водосховища їх не брали до уваги, оскільки вони ніяк не сполучені з іншими водоймами і руслом Дніпра, тому не відіграють ніякої ролі у водозабезпеченні. Якщо оцифрувати відносно великі за розміром водойми, можна порахувати їх площу. На 20.06 вона становила $509,23 \text{ км}^2$. Це менше, ніж аналогічні дані 3-денної давності — 17 червня ця значення було 655 км^2 . Таким чином, за три дні площа водосховища скоротилася на 22%. Відповідно, водою було вкрито лише 24% його площі від його нормального стану.

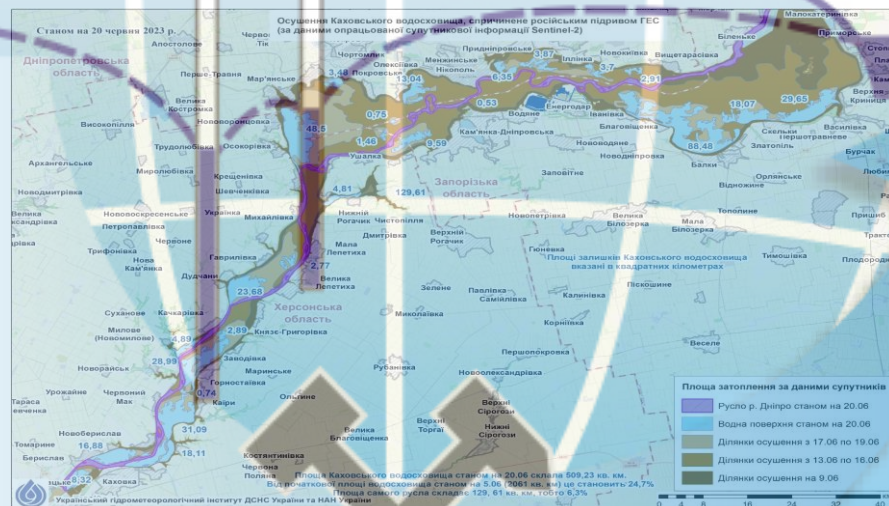


Рисунок. 1.9 — Залишкові водойми колишнього Каховського водосховища станом на 20 червня 2023 р.

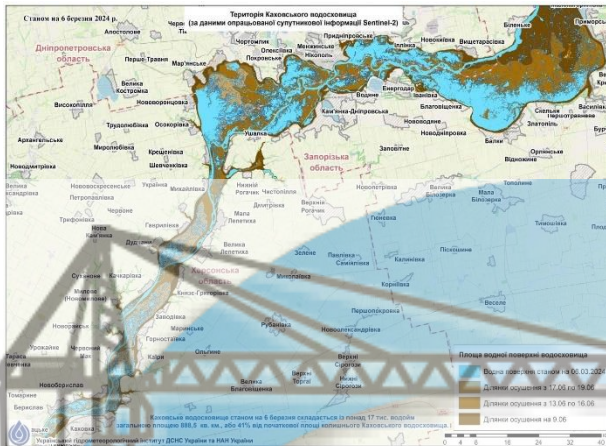
По аналізу рельєфу оточуючої території та глибин водосховища можна сказати, що останнє було заплавою р. Дніпро, а не просто територією, затопленою внаслідок підняття рівня води. Вся долина в північній частині

водосховища має трапецієвидну форму, а не трикутну, характерну для середньої течії р. Дніпро. Рівень залишкових водойм залежить від кількості води в Дніпрі і під час дощів зростає. Їх глибина більша за рівень води в руслі, тому вони можуть мати також підземне живлення і не зникнуть за умов втрати зв'язку з руслом річки. Таким чином, можна виділити 2 стадії осушення водосховища. Перша з них зумовлена швидкою втратою води, яка починається зі стрімкого обміління північної частини водосховища, його поділом на окремі водойми, через які протікає русло Дніпра і закінчується утворенням ряду дрібних і середніх водойм, частина з яких сполучені з руслом протоками. Друга стадія осушення полягає в поступовому перетворенні водосховища до стану, який ця територія мала до затоплення, але з певними корективами.

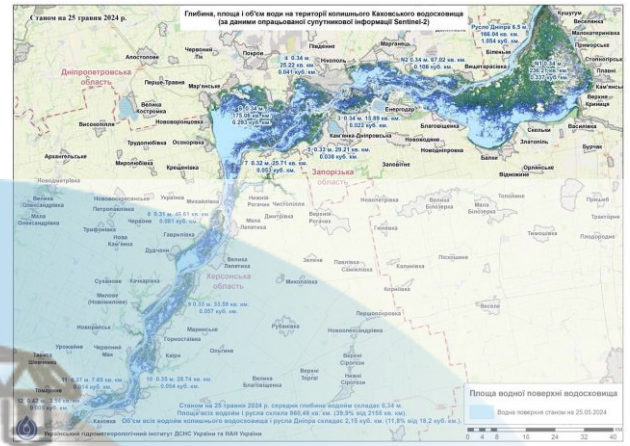
Затоплення території Каховського водосховища внаслідок весняного водопілля

На серпень 2023 р. зафіксовано мінімум площі, покритої залишковими водоймами. Він склав 392,8 кв. км (18%) від початкової площі водосховища (це з урахуванням русла р. Дніпро). Найбільш крупні водойми сконцентрувалися в північно-східній частині водосховища (т. зв. «Кінське плесо»), а ще кілька — в північно-західній. Восени підвищення рівня води в Дніпрі привело до збільшення площі і глибини залишкових водойм. Опрацювання нових космічних знімків, зроблених 6 березня 2024 р., показало зростання зони затоплення території водосховища більш ніж удвічі, до 888,5 кв.км. (41% від початкової площі водосховища). Це при тому, що рівень води у Дніпрі зріс орієнтовно на 30 см.

Таким чином, площа затоплених територій коливатиметься залежно від рівня води у Дніпрі, сягаючи 50% площі водосховища. На початок весняного водопілля територія водосховища зазнаватиме затоплення, а в сухий літній сезон – осушення.



а)



б)

Рисунки. 1.10 – Затоплена територія колишнього водосховища:

а) станом на 6 березня 2024 р, б) станом на 25 травня 2024р.

Обчислення площі та об'єму води у водоймах Каховського водосховища

Розрахунки об'єму водної маси виконувалися за допомогою річкових навігаційних карт для судноплавства, які містять детальні ізобати (ізолінії глибин) та по космічним знімкам. Останні відображають точний контур залитий водою. Опіраючись на ці методи встановлені достовірні значення глибин без виконання інструментальних вимірювань.

Сумарний об'єм води у всіх водоймах колишнього водосховища і руслу р. Дніпро станом на 10 жовтня складав 0,647 куб. км. (3,55% від 18,2 куб. км.). Найкрупніші водойми були сконцентровані на півночі зневодненої території.

Більша частина води з цього об'єму була зосереджена у руслі Дніпра. У найсухіший період 2023 р. у ньому була сконцентрована майже вся вода (0,5 куб. км.). Решта – 0,147 куб. км. – припадає на утворені водойми. Це надзвичайно мало (менше 1%).

Підвищена водність Дніпра в 2024 р. привела до суттєвого зростання рівня води і на кінець травня поточного року її об'єм суттєво збільшився.

2. СТАН ТА ЗАХОДИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

2.1. Характеристика водозабірних споруд прибережної зони

За характеристиками джерела водозабори поділяють на *підземні* та *поверхневі*. Підземні джерела водопостачання, як правило, відрізняються стабільнішими характеристиками якості води та відносною захищеністю від забруднення з поверхні. Поверхневі джерела водопостачання відрізняються високою продуктивністю, але потребують постійного нагляду за дотриманням санітарно-технічного стану території поверхневого джерела: озера, річки, водосховища.

За технологією забору води з водотоків та водойм розрізняють *береговий* та *руслівий* водозабори. Вони різняться між собою розташуванням місця забору води щодо берега.

Водозабори можуть бути поєднаними з насосними станціями одного підйому або роздільними.

Умови у місці забору води для берегового типу:

- крутий берег
- глибина водойми понад 10 м
- стійкі щільні ґрунти
- коливання рівнів води понад 6 м
- незначні утворення донних наносів

Береговий водозбір роздільного типу характеризується:

- колодязем із залізобетону на схилі берега;
- вхідними вікнами з решітками із сталевих стрижнів із зазором 40-100 мм для грубого очищення. При значному коливанні рівня води розташовуються у два яруси;
- перегородкою;
- сіткою, що встановлюється в отворі перегородки;

- приймальною камерою;
- всмоктувальною камерою;
- всмоктувальними патрубками;
- відцентрові насосами, які розташовані у насосній станції;
- всмоктувальними трубами відцентрових насосів у спеціальній галереї;
- службовим павільйоном, що влаштовується над водоприймальним колодязем, з якого здійснюється керування арматурою та механізмами очищення сіток.

Роздільний водозабір берегового типу є колодязь 1 (зазвичай залізобетонний), передня стінка якого виходить у русло річки. Вода надходить у водозабір через вхідні вікна 2, забезпечені решітками для запобігання влученню всередину водозабору великого сміття та сторонніх предметів.

Далі вода проходить через сітки 4, встановлені в перегородці 5, що розділяє водозабірний колодязь на два відділення: А - приймальне та В - всмоктувальне. На сітках затримується значна частина забруднень (водорості, дрібне сміття).

Вода, що пройшла через сітки крізь всмоктувальні труби 3, забирається насосами 7. Над водозабірним колодязем надбудовується службове приміщення 6. Пристрій насосної станції в будівлі, що стоїть окремо 8 може бути обумовлено характером рельєфу берега і ступенем його затоплення паводковими вод.

Для кращого всмоктування бажано розташовувати насосну станцію 8 якомога ближче до водозабірної колодязя.

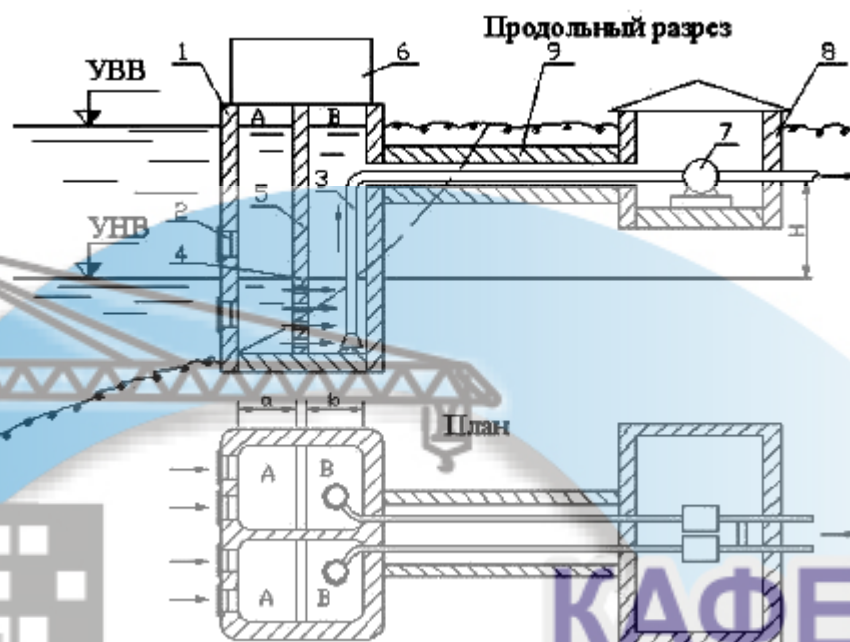


Рисунок. 2.1 – Роздільний водозабір берегового типу. [6]

Для водозаборів середньої продуктивності та наявності нещільних ґрунтів влаштовують берегові колодязі суміщеного типу.

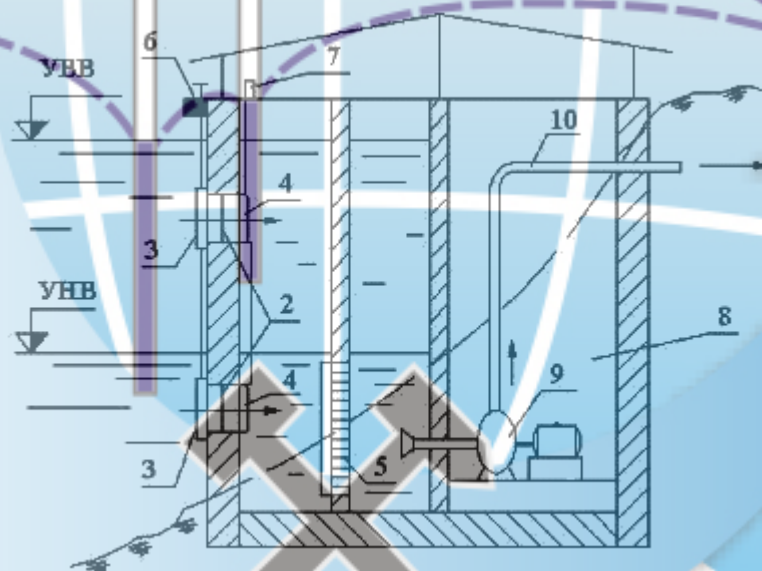


Рисунок. 2.2 – Береговий водозабір суміщеного типу: 1 – берегова криниця; 2 – водоприймальні вікна; 3 – сороутримуючі ґрати; 4 – затвори (шибери) для закриття вікон; 5 – плоскі сітки; 6 – місток для обслуговування ґрат; 7 – колонка керування затворами; 8 – насосна станція; 9 – насос; 10 - напірний трубопровід. [6]

Умови у місці забору води для руслового типу:

- пологий берег
- мала глибина водойми (до 10 м)
- нестійкі ґрунти в основі берега
- амплітуда коливання води менше 6 м
- незначні утворення донних наносів

Водозабір руслового типу несумісний з насосною станцією характеризується:

- оголовком;
- самопливними лініями;
- всмоктуючими патрубками;
- відцентровими насосами, розташованими у насосній станції першого підйому;

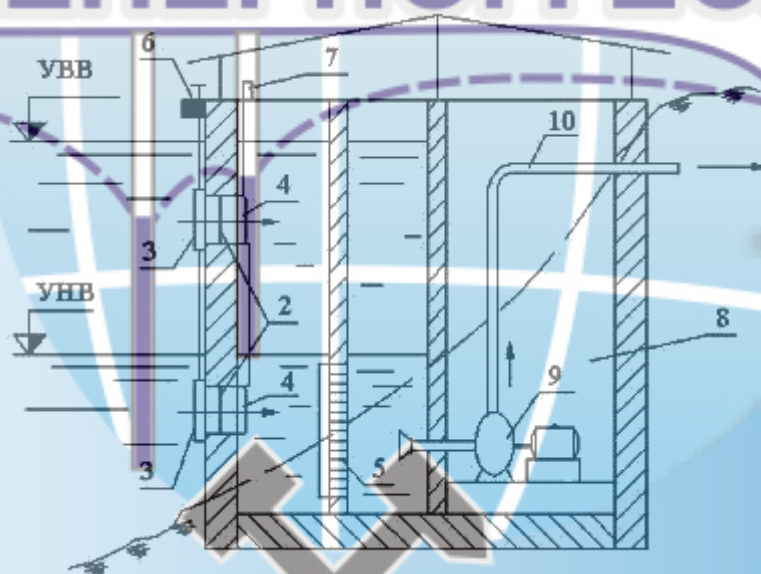


Рисунок. 2.3 – Береговий водозабір суміщеного типу: 1 – берегова криниця; 2 – водоприймальні вікна; 3 – сороутримуючі ґрати; 4 – затвори (шибери) для закриття вікон; 5 – плоскі сітки; 6 – місток для обслуговування ґрат; 7 – колонка керування затворами; 8 – насосна станція; 9 – насос; 10 - напірний трубопровід. [6]

Самопливні лінії виконують із сталевих, залізобетонних та азбестоцементних труб не менше ніж у дві нитки.

Оголовки бувають дерев'яними, бетонними та залізобетонними.

Для відбирання підземних вод використовуються вертикальні (свердловини, шахтові колодязі), горизонтальні (траншейні і трубчасті споруди, галереї, штольні, кязиси — комбінації штолень і шахтових колодязів), променеві водозабірні споруди і каптажі джерел.

Для забору напірних та безнапірних підземних вод, що глибоко залягають, влаштовують *бурові колодязі*, що мають вид вертикальних циліндричних свердловин (рис. 2.4).

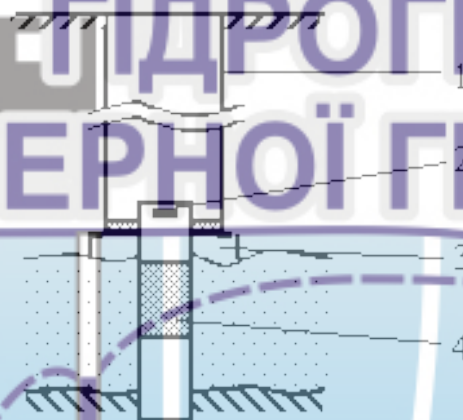


Рисунок. 2.4 – Схема влаштування бурового колодязя: 1 – обсадна труба; 2 – замок для кріплення фільтра; 3 – сальник; 4 – фільтр. [8]

Стінки свердловини закріплюють обсадною трубою 1 з чавуну або сталі та опускають до верхньої межі водоносного шару. В обсадну трубу опускають трубу меншого діаметра до нижньої межі водоносного шару. В нижній частині цієї труби за допомогою спеціальних замків 2 встановлюють сальники 3 та фільтри 4. Фільтри можуть бути дірчасті, сітчасті, дротові, гравійні (рис. 2.5).

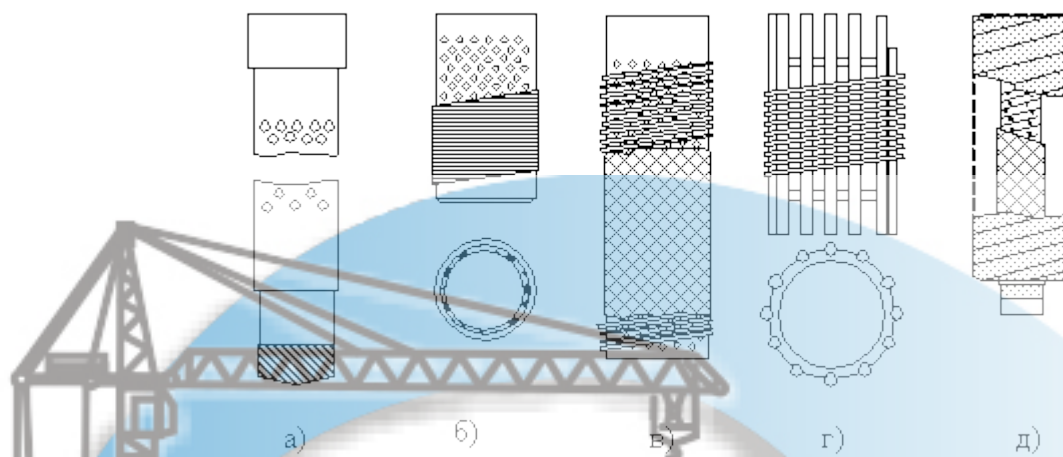


Рисунок. 2.5 – Типи фільтрів: а - дірчастий, б - дротовий, в – сітчастий, г – каркасно – стержневий, д – гравійний. [8]

Якщо водоносні породи залягають на великій глибині, буровий колодязь обладнують декількома обсадними трубами різних діаметрів, тампонуючи кільцевий зазор між кінцями труб цементним розчином.

Рівень води в колодязі до забору є статичним. При відборі води з колодязя рівень її знижується та, коли кількість води стає рівною кількості води, що надходить від ґрунту, вода в колодязі встановлюється на певному рівні, який зветься динамічним.

Кількість води, яку можна зібрати при зниженні динамічного рівня на 1 м, є дебітом колодязя (свердловини).

Спосіб одержання води з *трубчатих колодязів* залежить від глибини залягання водоносного шару. Вода може самозливатися під природним тиском в шарі або забиратися насосами, гідроелеваторами, ерліфтами.

Від *самозливних колодязів* води забирається трубопроводами до резервуара, з якого її перекачують насосами.

При заборі води зі свердловин насосами її динамічний рівень розташовується на глибині більше 10 м, електродвигуни, що приводять її в дію, можуть встановлюватися на поверхні землі, маючи вертикальний трансмісійний вал для приводу насоса, або розташовуються безпосередньо в

свердловині. Насоси подають воду до резервуара, з якого насоси другого підйому подають її до водоспоживачів.

Для колодязів з невеликим дебітом ($10-15 \text{ м}^3/\text{год}$) використовують ерліфти, де вода змішується з повітрям, за рахунок чого щільність води зменшується і вона піднімається на поверхню, попадає в повітровідділювач, після чого через вентиляційний канал повітря виходить назовні, а вода подається в резервуар.

При використанні *ежекторів* вода може забиратися по схемах на рис.2.6 а, б. Найкращою є схема б, у якій використовують двоступеневий насос. Відбір корисних витрат води із невеликим тиском виконується від першої ступені, а витрати води, що ежектують - від останньої ступені із невеликим тиском, за рахунок чого збільшується висота підйому води із колодязя.

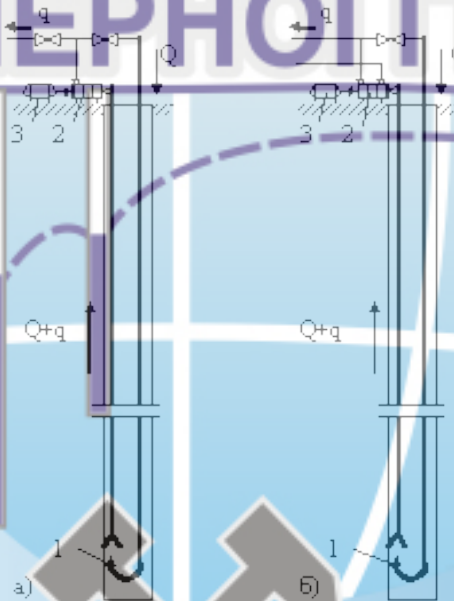


Рисунок. 2.6 – Схема забору підземних вод за допомогою ежектора:

а) із одноступеневим насосом, б) із двоступеневим насосом,

1 – ежектор, 2 – насос, 3 – електродвигуни. [8]

Шахтні колодязі використовують для прийняття невеликої кількості води від безнапірних водоносних шарів, що залягають на невеликій глибині

(не більше 20 м). Найчастіше вони використовуються для водопостачання сільської місцевості. Можуть бути залізобетонними, бетонними, цегляними та дерев'яними.

В стінках колодязя в межах водоносного шару є отвори, за рахунок яких збільшується кількість води. Діаметр шахтного колодязя не перевищує 3 – 4 м. При влаштуванні декількох колодязів їх об'єднують сифонними трубами або трубами, в яких вода рухається самостійно. Стінки колодязя виводять не менш ніж на 0,7 м вище поверхні землі. Навколо колодязя у поверхні землі влаштовують глиняний замок на глибині 1,5 – 2 м, а в радіусі близько 2 м – відсіпку. На дні колодязя влаштовується фільтр у вигляді шару гравію. Принципова схема шахтного колодязя, який забирає воду з безнапірного водоносного шару, наведена на рис.2.7.

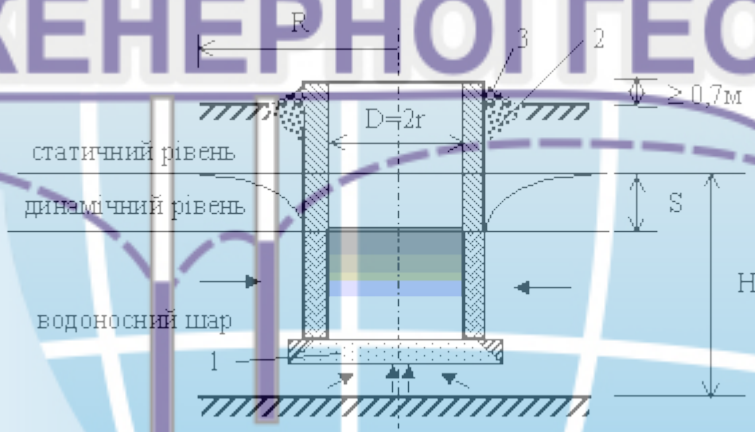


Рисунок. 2.7 – Схема влаштування шахтного колодязя:

1 – фільтр; 2 – глиняний замок; 3 – відсіпка. [8]

Горизонтальні водозабори (рис. 2.8) влаштовують у вигляді дренажів або водозбірних галерей. Вода, яка поступає із ґрунта до дренажних труб, подається у колодязь, із якого її відкачують насосами. Горизонтальні водозбірники використовують за малою глибини залягання водоносного шару (до 8 м) із невеликим дебітом.

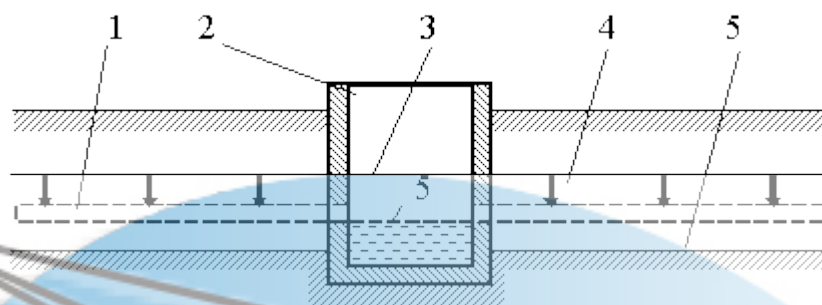


Рисунок. 2.8 – Схема горизонтального водозабору:

1 – горизонтальні водозабори; 2 – збірний колодезь; 3 – статичний рівень підземних вод; 4 – водоносний шар; 5 – водоупор; 6 – рівень води у колодезні.

[8]

Найбільш ефективними водоприймальними спорудами є променеві водозабори, в яких вода збирається до колодезя за кількома променями (трубами), які розміщуються у межах водоносного шару. Променеві водозабори виконують із перфорованих сталевих труб. За довжини труб більше 60 м вони можуть бути телескопічними.

Споруди для каптажу джерельних вод. Джерела можуть бути двох типів - напірні та безнапірні. Споруди для приймання вод зветься каптажними, а процес збору джерельних вод – каптажем джерел. Для каптажу джерельних вод, що підіймаються, влаштовують колодезі, резервуари або шахти (рис. 2.9).

Зібрана вода відводиться по трубі 1 до насосної станції. Для усунення підпору влаштовують переливну трубу 2.

Каптаж безнапірних джерел виконується шляхом влаштування приймальних камер, які розміщують у місці найбільш інтенсивного виходу джерельних вод.

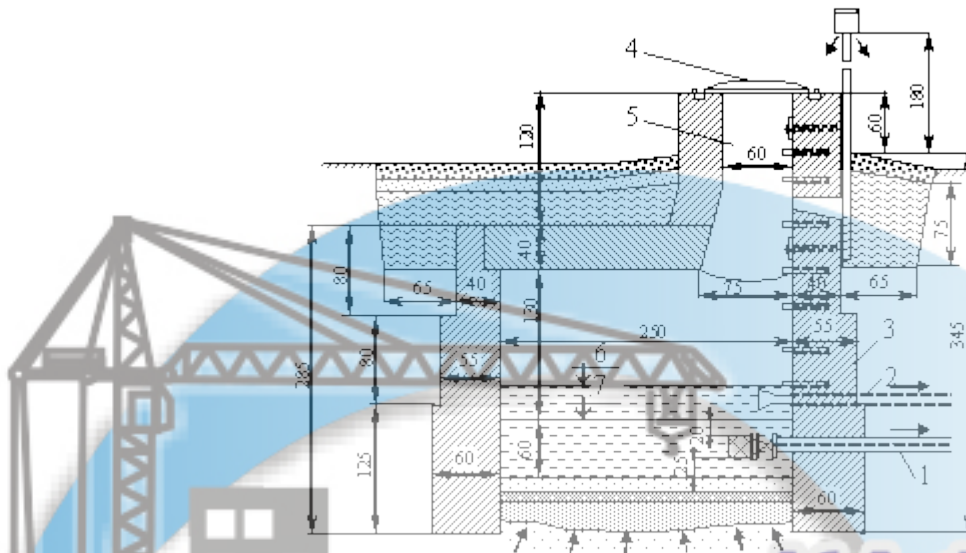


Рисунок. 2.9 – Каптажний колодезь:

1 – труба для забору води, 2 – переливна труба, 3 – колодезь, 4 – кришка, 5 – горловина, 6 – максимальний рівень води; 7 – робочий рівень води. [8]

2.2. Якість водних ресурсів прибережної зони

Аналіз водозаборів і скидів підприємств-водокористувачів

За даними аналізу, найбільшим водокористувачем є ДПП "Кривбаспромводопостачання" з обсягом 161.463 млн. м³. Також крупними водокористувачами є :

- МКП "Покровводоканал" - водозабір 3.0377 млн. м³.
- ПрАТ «Енергоресурсі» - водозабір 9.2859 млн. м³.
- КП "Нікопольське ВУВКГ" НМР – водозабір 11.2818 млн м³.
- КП "Марганецьке ВУВКГ" – водозабір 10.1329 млн м³.

Сільськогосподарські підприємства та дрібні підприємства:

- СФГ "Мацько Володимир Олександрович" - 1.065 млн. м³.
- ТОВ "Птахокомплекс "Дніпровський" - водозабір 0.1131 млн м³.
- ТОВ "Мегапромекологія" - водозабір 0.133 млн. м³.

Отже, у Дніпропетровській області найбільші водокористувачі концентруються у промисловому та комунальному секторах. Більшість

підприємств використовують поверхневі води. Положення водозаборів та водоскидів представлено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10. – Положення водозаборів (сині точки) та місць скиду води (жовті точки) басейну р. Дніпро

Таблиця. 2.1 – Дані водозабору підприємств-водокористувачів

Назва водокористувача	Об'єм забору води, млн м ³	Забір поверхневої води, млн м ³	Звіт про використання води	Дозвіл на спеціальне водокористування
ДПП "Кривбаспромводопостачання"	161.463	161.463	58/ДП/49д-20	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=23292
"Мар'янське 2"	0.0695	0.0695	502/ДП/49д-19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=7868
ТОВ "Грушівська водонасосна станція"	0.114	0.114		
МКП «Покровводоканал»	3.0377	3.0377	105/ДП/49д-20	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=24757

Продовження таблиці 2.1 – Дані водозабору підприємств-водокористувачів

КП "Покровський ККП "Джерело"	0.1675	0.1675	530/ДП/49д- 19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=8211
ПрАТ «Енергоресурси»	9.2859	9.2859	283/ДП/49д- 19	
КП "Нікопольське ВУВКГ" НМР	11.2818	11.2818	487/ДП/49д- 19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=7640
КП "ДНІПРО" ОК "Урожай"	0.1834 0.0413	0.1834 0.0413	151ДП/49д- 20	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=1499
ОК "Світанок-2-1"	0.1512	0.1512		
КП "ЛИМАН"	0.0567	0.0567	378/ДП/49д- 19	
ОК "Водогін"	0.069	0.069	152ДП/49д- 20	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=26247
КП "Марганецьке ВУВКГ" Тип	10.132 9	9.8638	639/ДП/49д- 19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=19716
СФГ "Мацько Володимир Олександрович"	1.065	1.064	140ДП/49д- 20	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=25829
АТ "Покровський ГЗК"	6.8228	2.4997	663/ДП/49д- 19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=20272
ТОВ "Птахокомплекс "Дніпровський"	0.1131	0.0551	941/ДП/49д- 20	
ПАТ "Новопавлівський гранітний кар'єр"	0.1272		496/ДП/49д- 19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=7758
ТОВ "Мегапромекологія"	0.133	0.053	374/ДП/49д- 18	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=6122
ПАТ "Марганецький ГЗК"	0.3169		127/ДП/49д- 20	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=25549

Об'єми скидів стічних вод:

КП "Нікопольське ВУВКГ" НМР є найбільшим водоскидним підприємством з обсягом скидання стічних вод 1.4648 млн. м³.

МКП «Покровводоканал» має найнижчий обсяг скидання стічних вод серед розглянутих підприємств – 1.0354 млн. м³.

Всі перелічені підприємства виробляють скидання стічних вод, але жодна з них не скидає забруднені води. Це говорить про те, що води, що скидаються, проходять достатню очистку, або використовується замкнутий цикл водообігу, що мінімізує забруднення.

Таблиця. 2.2 – Дані водоскиду підприємств-водокористувачів

Назва водокористувача	Об'єм скиду стічних вод, млн м ³	Об'єм скиду забрудн. вод, млн м ³	Звіт про використання води	Дозвіл на спеціальне водокористування
МКП «Покровводоканал»	1.0354	-	105/ДП/49д-20	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=24757
АТ «Покровський ГЗК»	-	-	663/ДП/49д-19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=20272
КП "Нікопольське ВУВКГ" НМР	1.4648	-	487/ДП/49д-19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=7640
ПрАТ «Енергоресурси»	1.3833	-	283/ДП/49д-19	
КП "Марганецьке ВУВКГ"	1.3074	-	639/ДП/49д-19	https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-permit-registry/view-permit?id=19716

Лабораторний аналіз якісних показників води. Відомчий лабораторний контроль здійснювався хіміко-бактеріологічною лабораторією КП «Нікопольводоканал» наприкінці 2020 року. Об'єктом дослідження була поверхнева вода Каховського водосховища, що відбиралась з насосної станції

I-го підйому «Берегова». Вода відбиралася на відстані 180-200 м від берегової лінії, на глибині 6-6,5 м. Результати вимірювань органолептичних показників води наведені в таблиці 2.3, фізико-хімічних показників — в таблиці 2.4, санітарно-токсикологічних показників — в таблиці 2.5.

Таблиця. 2.3 – Органолептичні показники води з поверхні Каховського водосховища

Найменування показника об'єкту	Одиниці вимірювання	Фактичне значення показника об'єкту вимірювання		Нормативне значення показника об'єкту вимірювання
		max	min	
Інтенсивність запаху при 20°C	бали	0	0	>1
Інтенсивність запаху при 60°C	бали	0	0	>1
Смак, присмак (після кип'ятіння)	бали	0	0	1-4
Кольоровість	градуси	30	20,2	20-80
Забарвлення		нема	нема	не повинно виявлятися у стовпчику 20см
Каламутність	мг/дм ³	10,8	1,18	20-1500
Плаваючі домішки		нема	нема	на поверхні водоймища не повинні виявлятися плаваючі, плями мінеральних масел і скупчення ін. домішок
Заключення: показники в межах норми				

Таблиця. 2.4 – Фізико-хімічні показники води з поверхні Каховського водосховища

Найменування показника об'єкту	Одиниці вимірювання	Фактичне значення показника об'єкту вимірювання		Нормативне значення показника об'єкту вимірювання
		max	min	
Водневий показник	одиниці рН	8,4	8,15	6,5-8,5
Жорсткість загальна	моль/м ³	3,32	3,2	3-5
Лужність загальна	моль/м ³	2,9	2,7	1,5-4
Сухий залишок	мг/дм ³	296	264,4	<1000
Залізо загальне	мг/дм ³	0,074	0,02	<0,3
Кальцій	мг/дм ³			
Магній	мг/дм ³			
Марганець	мг/дм ³			<0,1
Мідь	мг/дм ³			<1
Цинк	мг/дм ³			<1
Фосфати	мг/дм ³	0,254	0,2	<3,5
Сульфати	мг/дм ³	40,58	40,57	<500
Хлориди	мг/дм ³	34,05	33,85	<350
Кисень розчинений	мгОдм ³	10,44	10,31	>4
Заключення: показники в межах норми				

Вода не мала інтенсивного запаху при нагріванні до 20 та 60°С, також не мала запаху після кип'ятіння, була прозора, не каламутна та не містила видимих домішок.

Вода характеризувалася нормальною жорсткістю, лужністю та сухим залишком. Вміст заліза, кальцію, магнію, марганцю, міді, цинку, фосфатів,

сульфатів та хлоридів був в межах допустимих норм. Всі санітарно-токсикологічні показники не перевищували встановлених граничних значень.

Таким чином, вода відповідала вимогам. Відповідно до ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання», поверхнева вода Каховського водосховища може використовуватися як джерело централізованого питного водопостачання.

Таблиця. 2.5 – Санітарно-токсикологічні показники води з поверхні Каховського водосховища

Найменування показника об'єкту	Одиниці вимірювання	Фактичне значення показника об'єкту вимірювання		Нормативне значення показника об'єкту вимірювання
		max	min	
Алюміній	мг/дм ³	0,02	0,01	<0,5
Літій	мг/дм ³			<0,03
Барій	мг/дм ³			<0,1
Натрій	мг/дм ³			<200
Калій	мг/дм ³			
Стронцій	мг/дм ³			<7
Берилій	мг/дм ³			<0,0002
Бор	мг/дм ³			<0,5
Ванадій	мг/дм ³			<0,1
Кадмій	мг/дм ³			<0,001
Кобальт	мг/дм ³			<0,1
Кремній	мг/дм ³			<10
Миш'як	мг/дм ³			<0,05
Молібден	мг/дм ³			<0,25
Нікель	мг/дм ³			<0,1
Ртуть	мг/дм ³			<0,0005
Свинець	мг/дм ³			<0,03
Селен	мг/дм ³			<0,01
Срібло	мг/дм ³			<0,05

Заключення: показники в межах норми

Аналіз даних моніторингу Державного агентства водних ресурсів України. Дані моніторингу Державного водного агентства водних ресурсів України містять інформацію про концентрації різних забруднюючих речовин у воді, таких як амоній-іони, біохімічне споживання кисню (БПК), завислі речовини, розчинений кисень, нітрат-іони, нітрит-іони, сульфат-іони, фосфат-іони та хлорид-іони в районах поблизу Каховського водосховища з 2014 по 2024 роки. Гістограми та графіки змін цих показників представлено на рисунках 2.11-2.16.

Аналіз за цими показниками дозволяє зробити такі висновки:

Амоній-іони (мг/дм³): У середньому спостерігається деяке зниження концентрації амоній-іонів у 2024 році, порівняно з попередніми роками.

Біохімічне споживання кисню (БПК, мгО₂/дм³): Значне збільшення БПК у 2024 році, що може вказувати на посилення органічного забруднення.

Завислі речовини (мг/дм³): У середньому концентрація завислих речовин варіюється до збільшення в останні роки. Найвищі значення було відзначено у 2018 році.

Розчинений кисень (мгО₂/дм³): Спостерігаються коливання у концентрації розчиненого кисню, з підвищеними значеннями у 2023 та 2024 роках. Високі рівні розчиненого кисню можуть свідчити про кращий стан води у деяких районах.

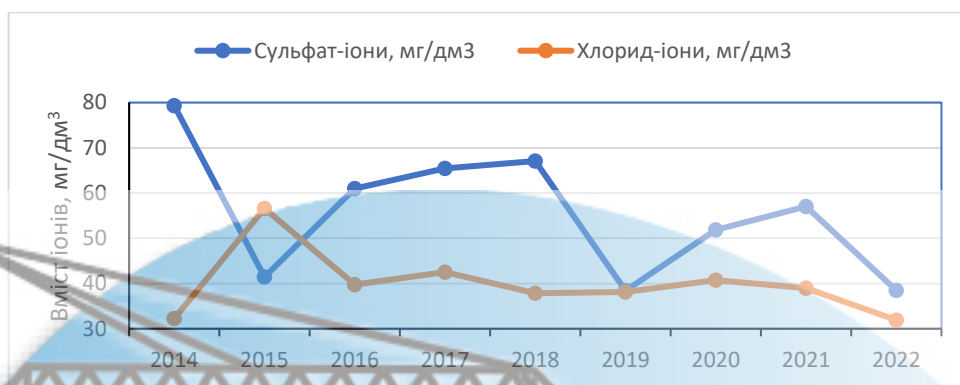
Нітрат-іони (мг/дм³): Концентрація нітрат-іонів має тенденцію до збільшення у 2024 році, що може вказувати на аграрне чи побутове забруднення.

Нітрит-іони (мг/дм³): Концентрації нітрит-іонів залишаються відносно стабільними протягом усього періоду спостереження.

Сульфат-іони (мг/дм³): Майже в усіх пунктах спостережень простежується тенденція до збільшення концентрації сульфат-іонів в 2024 р.



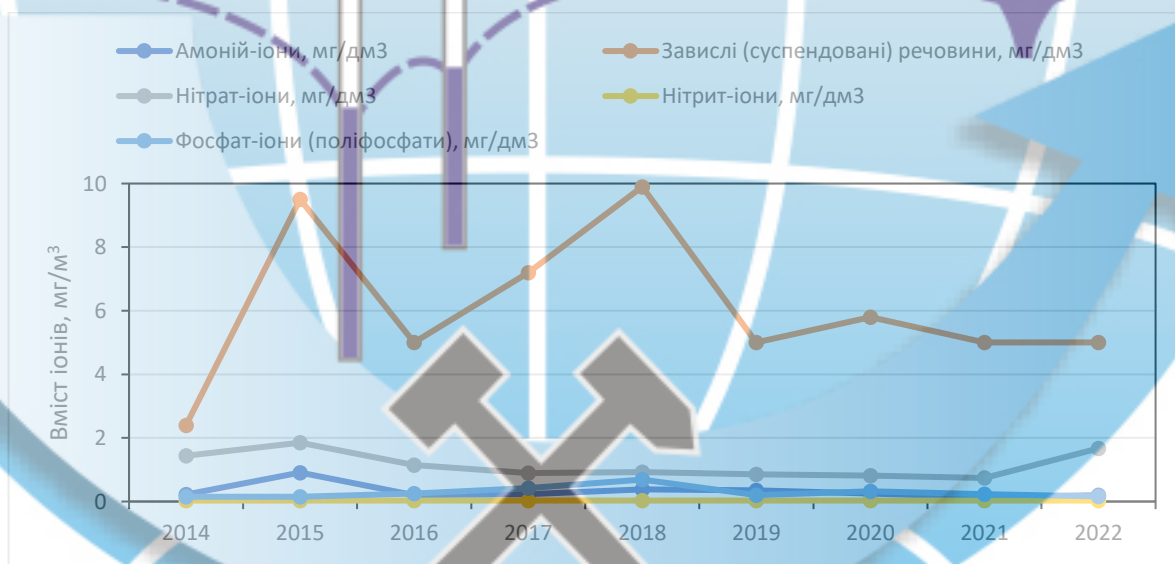
Рисунок. 2.11 – Гістограма зміни якісних показників води з Каховського магістрального каналу за 2014-2015 роки.



а)



б)



в)

Рисунок. 2.12 – Графіки зміни якісних показників води р. Дніпро у пункті спостережень 201 км, м. Покров, питний водозабір за 2014-2022 роки: а) вміст сульфатів та хлоридів; б) біохімічне споживання кисню та вміст кисню; в) вміст амоній-іонів, завислих речовин, нітратів, нітритів, фосфатів.

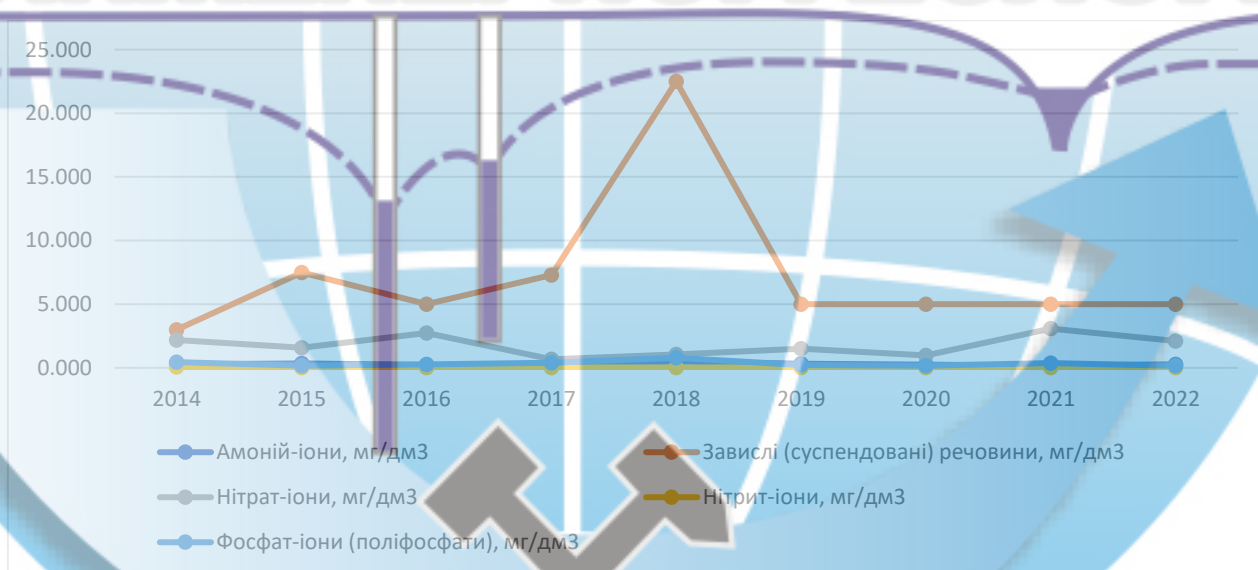
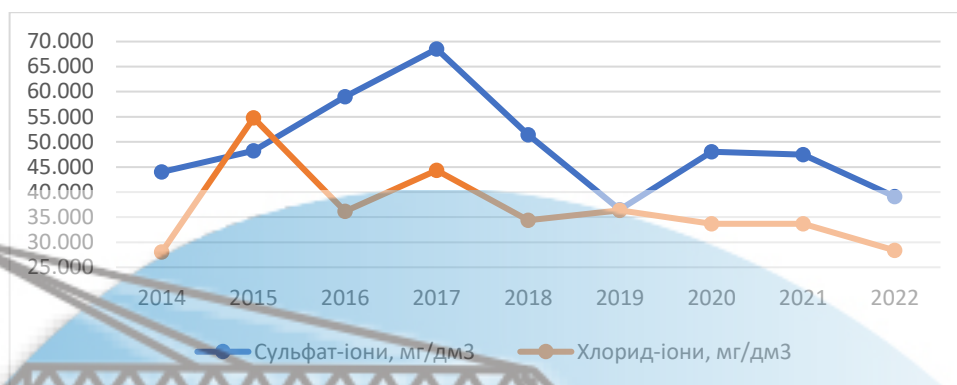


Рисунок. 2.13 – Графіки зміни якісних показників води р. Дніпро, 228 км, м. Нікополь, питний в/з за 2014-2022 роки: а) графік зміни вмісту сульфат-іонів і хлорид-іонів; б) графік зміни біохімічного використання кисню та вмісту кисню; в) графік зміни вмісту амоній-іонів, завислих речовин, нітрат-іонів, нітрит-іонів, фосфат-іонів.

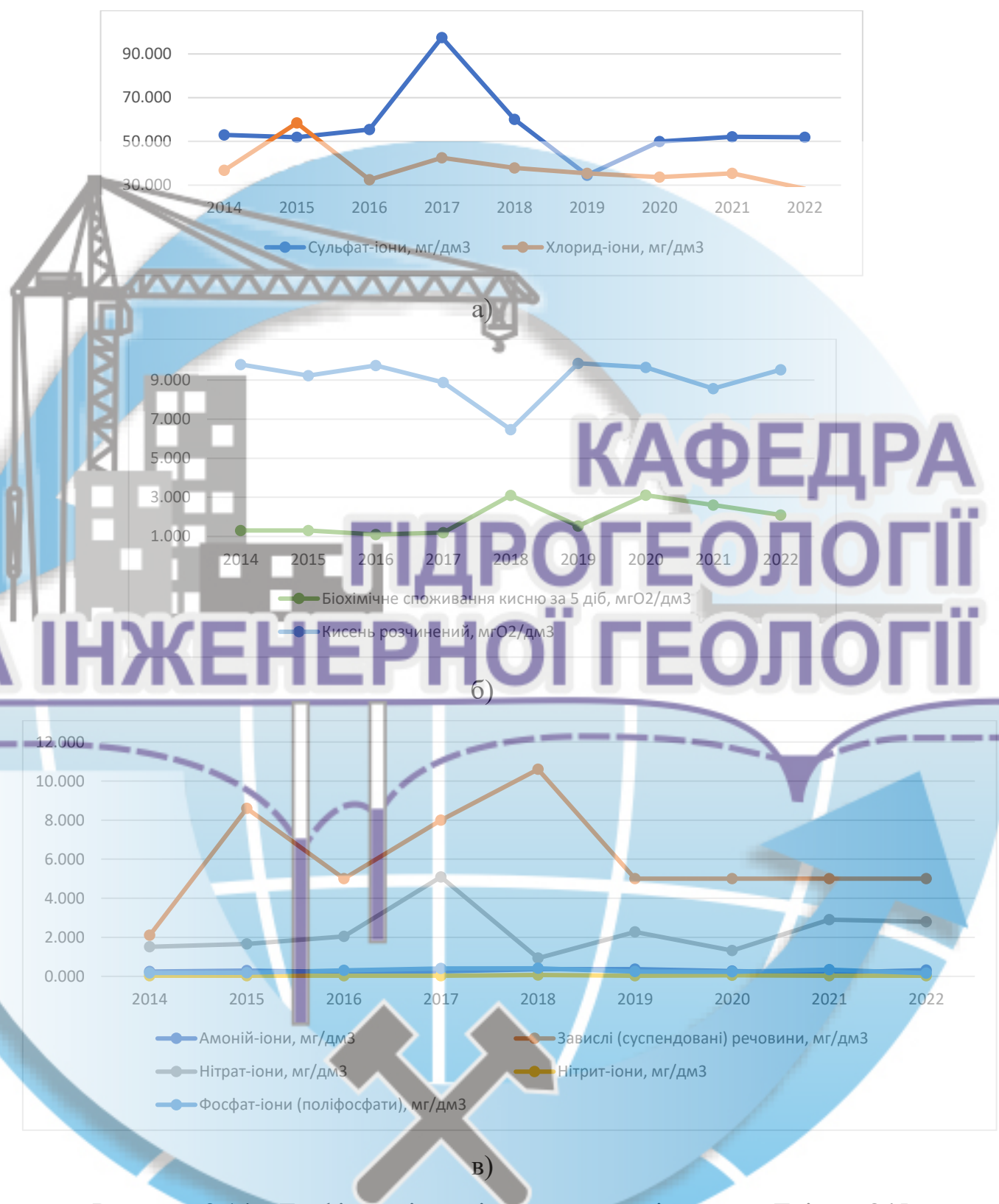


Рисунок. 2.14 – Графіки зміни якісних показників води р. Дніпро, 245 км, м. Марганець, Каховське водосховище, питний в/з за 2014-2022 роки: а) графік зміни вмісту сульфат-іонів і хлорид-іонів; б) графік зміни біохімічного використання кисню та вмісту кисню; в) графік зміни вмісту амоній-іонів, завислих речовин, нітрат-іонів, нітрит-іонів, фосфат-іонів.

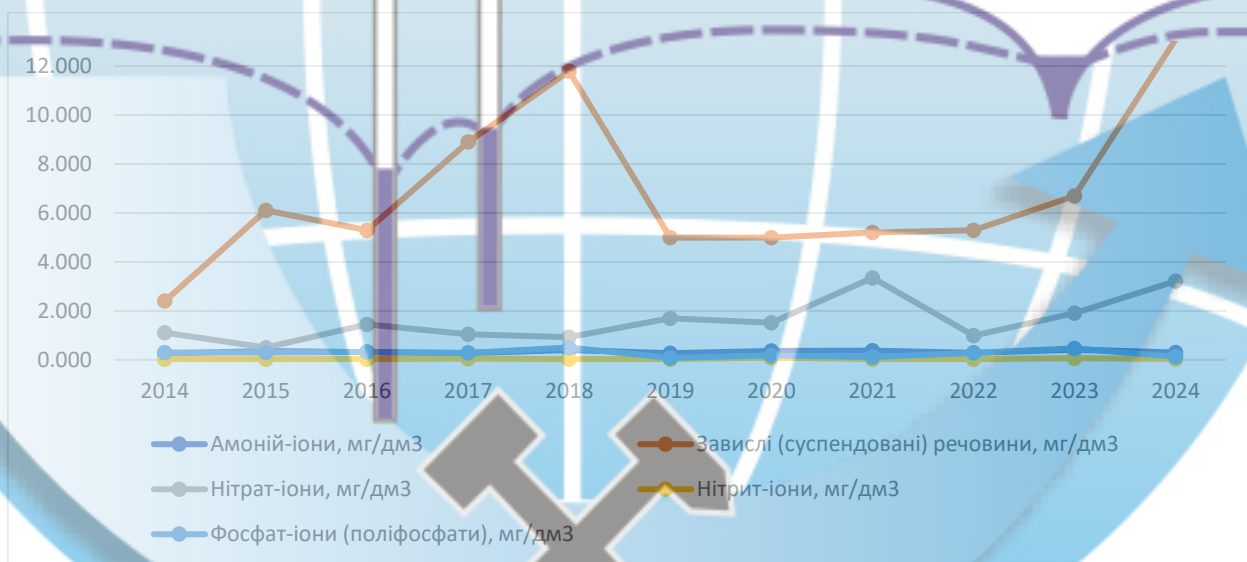
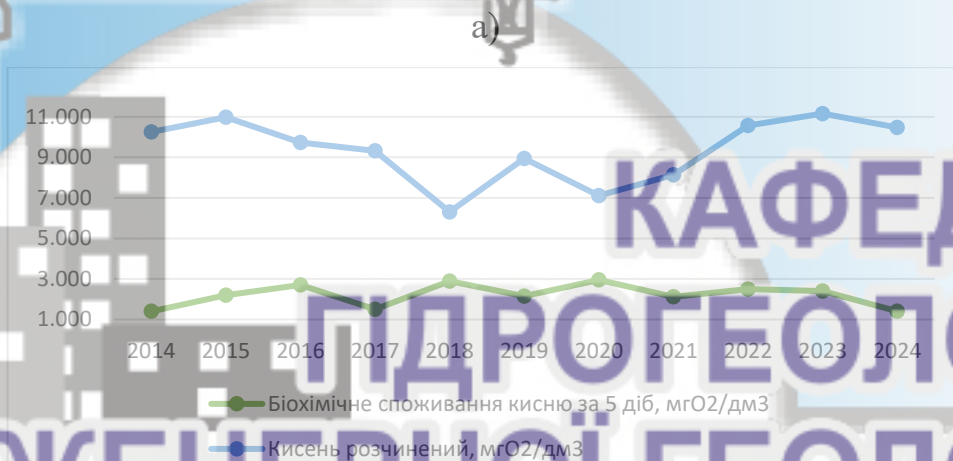
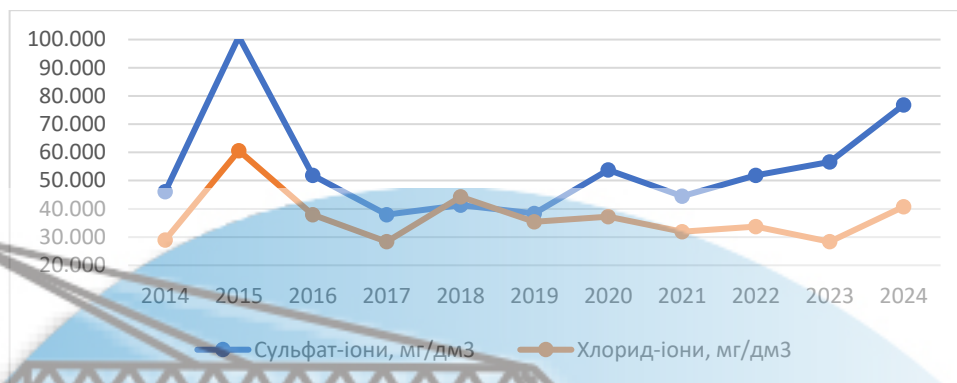


Рисунок. 2.15 – Графіки зміни якісних показників води р. Дніпро, 404 км, м. Дніпро, ВП "ПдТЕС" ПАТ "ДТЕК Дніпроенерго", питний в/з за 2014-2024 роки: а) графік зміни вмісту сульфат-іонів і хлорид-іонів; б) графік зміни біохімічного використання кисню та вмісту кисню; в) графік зміни вмісту амоній-іонів, завислих речовин, нітрат-іонів, нітрит-іонів, фосфат-іонів.

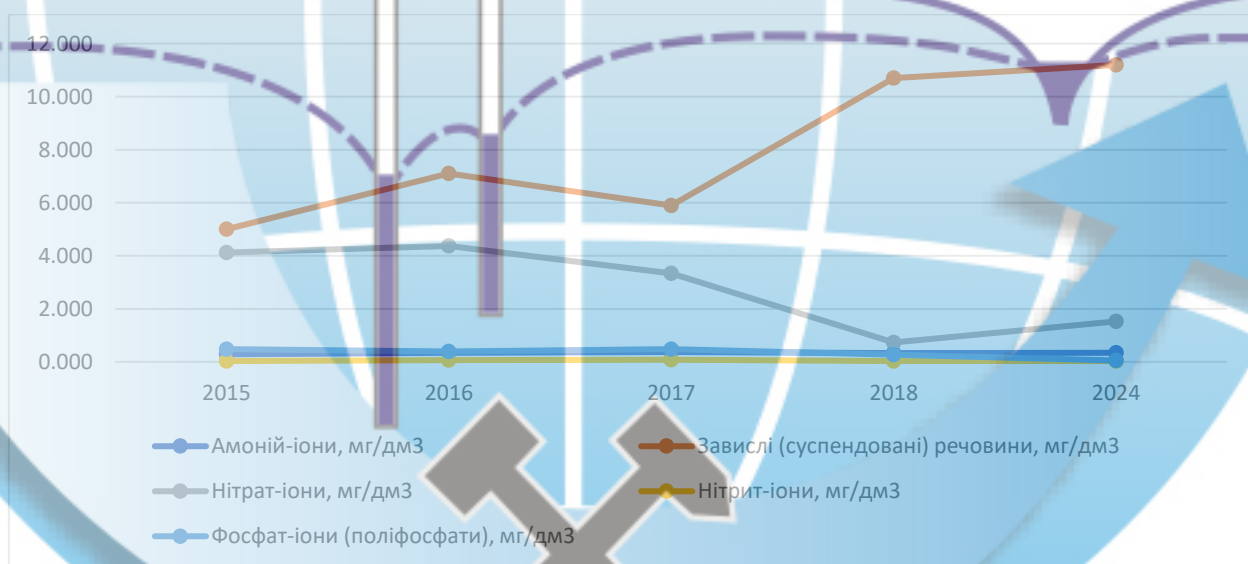
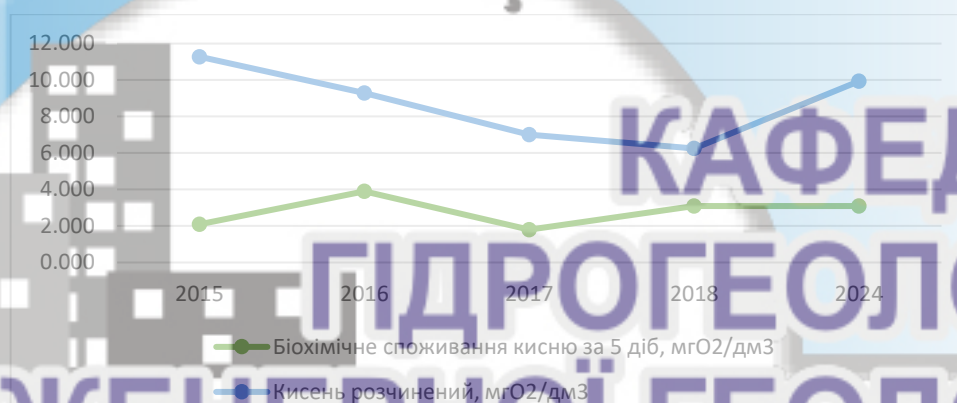
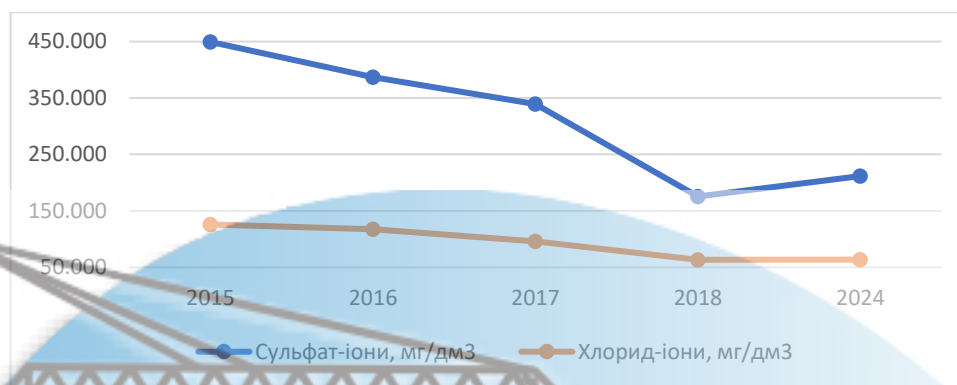


Рисунок. 2.16 – Графіки зміни якісних показників води р. Інгулець, 348 км, с. Чкаловка, район автомобільного мосту за 2015-2018, 2024 роки: а) графік зміни вмісту сульфат-іонів і хлорид-іонів; б) графік зміни біохімічного використання кисню та вмісту кисню; в) графік зміни вмісту амоній-іонів, завислих речовин, нітрат-іонів, нітрит-іонів, фосфат-іонів.

Фосфат-іони (мг/дм³): Спостерігається деяке збільшення концентрацій фосфат-іонів останніми роками, що може свідчити про підвищення рівня забруднення.

Хлорид-іони (мг/дм³): Концентрації хлорид-іонів також мають тенденцію до збільшення, що може бути пов'язане із промисловим забрудненням.

Отже, якість води в досліджених водоймах схильна до значних коливань, що може бути пов'язане з сезонними змінами, змінами в промисловій та сільськогосподарській діяльності, а також зі змінами в рівні очищення стічних вод. Особливу увагу слід приділити районам із високим рівнем забруднення

2.3. Сучасні заходи з водозабезпечення після припинення існування Каховського водосховища

Ситуація з водопостачанням у деяких громадах Херсонщини була дуже напруженою. Ідеться про місто Берислав, а також Милівську і Нововоронцовську громади. За словами посадовців, зараз тривають роботи з якнайшвидшого відновлення повноцінного водопостачання.

Голова Херсонської обласної військової адміністрації повідомив, що в регіоні визначено місця для буріння 50 нових свердловин: 13 – у Бериславській громаді, 9 – Новорайській, 10 – Милівській, 8 – Новоолександрівській громаді, 8 – у Нововоронцовській і 2 – у Новокаховській.

У Нововоронцовці, що на Херсонщині, водозабезпечення здійснено шляхом видобутку води з підземних свердловин. Також на території громади розмістили бочки, які наповнюються питною водою, розчистили й привели до ладу 10 старовинних колодязів, вода в яких була ще до створення Каховського водосховища.

Представник Департаменту розвитку сільського господарства та зрошення Херсонської ОВА, як в області відновлюють зрошення сільськогосподарських земель. На Херсонщині до повномасштабного вторгнення було 427 тисяч гектарів зрошуваних земель.

«Це саме вода, яка поступала з річки Інгулець. Потім ця вода змогла б забезпечити 7 громад Херсонської області. Це Станіславська, Білозерська, Чернобаївська, Херсонська, Музиківська, Дар'ївська і Тягинська громади. Загальна площа зрошення 25 тисяч гектарів», – каже представник.

На будівництво нових магістральних водогонів витратили 1,5 млрд грн. Це експериментальний проєкт з будівництва таких магістральних водопроводів:

- Марганець – Нікополь – Покров будує ТОВ «Ростдорстрой» за 2 млрд грн. Довжина водогону складає 40,9 км, заявлена потужність об'єкта — 102 000 куб. м на добу.
- Від річки Інгулець до Південного водосховища будує «Автомагістраль-Південь» за 5,32 млрд грн. Довжина водогону складає 26,9 км, заявлена потужність об'єкта — 400 000 куб. м на добу.
- Хортиця (ДВС2) – Томаківка – Марганець будує «Група компаній «Автострада» за 5,3 млрд грн. Довжина водогону складає 76,7 км, заявлена потужність об'єкта — 150 000 куб. м на добу.

Водопроводи дозволять постачати воду до Нікополя, Марганця та Кривого Рогу.



Рисунок. 2.17 – Початок будівництва нових магістральних водогонів після руйнації Каховської ГЕС. Фото: РадіоСвобода.

Служба відновлення та розвитку інфраструктури у Дніпропетровській області будувала магістральний водопровід загальною протяжністю майже 150 кілометрів.

Ланки водоводу Інгулець – Кряжове (Кривий Ріг) має протяжність майже 27 кілометрів. Магістральний трубопровід будують у чотири нитки. Також фахівці на місці розчищали чинний канал і відновлювали пропускні споруди.

Крім того, роботи велись на річці Інгулець у місці, де здійснюватиметься водозабір. Також будували дві насосні станції та розподільчу станцію, щоб забезпечувати насосні групи. Одна насосна станція потужністю підйому 4 мегавати, друга – 5 мегаватів.

«7 травня 2024 року відкрили першу ланку водогону Інгулець — Південне водосховище. Жителі Кривого Рогу вже отримали воду» - повідомила заступниця голови Агентства відновлення України Валерія Іванова.

18 червня 2024 року запрацювали ще дві ланки нового магістрального водогону — «Запоріжжя – Томаківка — Марганець» та «Марганець — Нікополь — Покров». Це означає, що мешканці Мирівської, Томаківської, Марганецької, Покровської, Червоногригорівської та Нікопольської громад, постраждалих від підриву росіянами Каховської ГЕС, отримають стабільне та якісне водопостачання. Водозабір на ділянках здійснили з річки Дніпро. На всій протяжності водогону збудовано 8 сучасних насосних станцій. Насоси потужністю від 747 кВт до 260 кВт транспортують воду до фільтрувальних станцій, де вода проходить очищення та потрапляє до споживачів.

Водогін цілком готовий, аби поставляти воду до Нікополя. Уся технічна частина на 100 % виконана. Наразі ведуться перемовини між водоканалом міста Нікополя та регіональним офісом водних ресурсів у Дніпропетровській області (балансоутримувач). Постачання розпочнеться одразу після підписання угоди між зазначеними організаціями.

3. ПРОГНОЗУВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ В УМОВАХ СТВОРЕННЯ ПРИБЕРЕЖНОГО ВОДОЗАБОРУ

3.1. Обґрунтуванням вибору ділянки водозабору

Після підриву Каховської ГЕС, у Нікополі виникли проблеми з питною та технічною водою. Через те, що Нікополь знаходиться поряд з лінією бойових дій, створювати масштабний проект, щоб забезпечити потреби населення з водопостачання було б не доцільно.

З метою аналізу і прогнозування гідрогеологічного режиму в умовах створення прибережного водозабору створено чисельну модель берегу міста Нікополь Дніпропетровської області.

Район Нікополя знаходиться у зоні прямої дії зміни русла річки Дніпро після руйнування греблі Каховської ГЕС. Тут добре помітні зміни гідрографічної мережі. У цій зоні є кілька водоносних горизонтів з достатньою потужністю, що дозволяє забезпечити стабільний приплив підземних вод.

Глибина залягання водоносного горизонту становить 20-50 метрів, що оптимально для буріння та експлуатації свердловин.

Чисельне моделювання течії підземних вод до прибережного водозабору створено у програмі ModFlow. Напірний водоносний горизонт має контакт з річкою. У водоносному горизонті розміщено 3 відкачувальних свердловин. Внаслідок відкачування рівень підземних вод (РПВ) знижений у порівнянні з непорушеним режимом. Відбір води свердловинами забезпечується за рахунок припливу підземних, річкових та інфільтраційних вод, які мають різну мінералізацію.

Фільтраційні властивості, геометрія прибережної частини та розподіл рівнів води визначені для водоносного горизонту (табл. 3.1).

Таблиця. 3.1 – Стратиграфічна колонка осадових порід.

Індекс	Літологічний склад	Потужність			Коротка літологічна характеристика порід
		от	до	ср	
Q		3	30	15	Ґрунтово-рослинний шар, суглинок лесоподібний
N ₁ +Q ₂		2	30	18	Ґлина червоно-бура
N ₂ ¹⁻² ks				5	Ґлина темно-сіра вапнякова
N ₂ ¹				25	Вапняк черепашковий
Pm				15	Вапняк оолітовий
N ₁ ³ tp		8	25	15	Пісок кварцовий світло-зелений з прошарками темно-сірої глини
N ₁ ³ S ₃		15	25	20	Ґлина світло-зелена вапняна з прошарками мергелю та рихлого вапняку
N ₁ ³ S ₂				2	Ґлина зеленувато-сіра, вапняна
N ₁ ³ S ₁				65	Ґлина майже чорна, шарувата з бетритусом
N ₁ ² S ₁		0,5	8	3	Пісок глауконіто - кварцовий
N ₁ ² ko				5	Ґлина зелена з прошарками піску, мергелю
N ₁ ² кг		2	4	3	Ґлина блакитно-зелена з великими зернами кварцу
N ₁ ² tm		3	12	5	Ґлина охристо зелена на південь переходить у пісок
Pq ₃ ²		4	25	5	Ґлина буро-сіра з прошарками бурого вугілля

Для подальших розрахунків і розробки чисельної моделі було визначено вихідні дані прибрежного водозабору і занесено у табл. 3.2.

Таблиця. 3.2 – Вихідні дані для розрахунків.

Параметр	Значення
Рівень води в р. Дніпро	11 м
Рівень підземних вод на вододільних ділянках	До 16 м
Коефіцієнт фільтрації	6 м/добу
Провідність донних відкладень	50 м ² /доб
Питомий запас	0.0001м ⁻¹
Питома продуктивність	0.12
Ефективна пористість	0.2
Загальна пористість	0.3

Модель розміром 11 км на 7 км з кроком сітки від 35 м до 100 м створено в системі координат WGS 84 (EPSG:4326), яка є географічною системою координат, заснованої на широті та довготі. Старий і новий контур берегової лінії було визначено за допомогою програми QGIS (Quantum GIS).

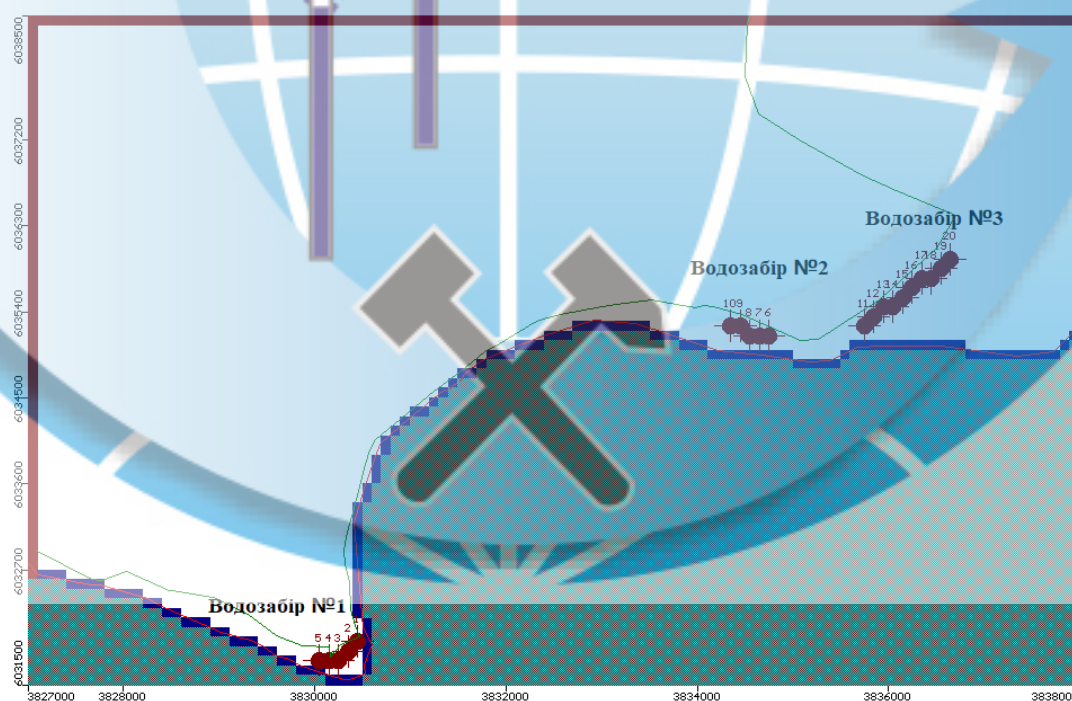


Рисунок. 3.1 – Розташування пропонуваніх водозаборів у моделі.

3.2. Алгоритм скінченно-різницевого моделювання

Скінченно-різницева апроксимація. Розглядається плановий фільтраційний потік на слабо похилому водотриві, коли застосовні припущення гідравлічної теорії фільтрації. Згідно з нею можна осереднювати напір уздовж вертикалі за потужністю водоносного шару, швидкість фільтрації не залежить від вертикальної координати.

Область фільтрації покривається прямими, паралельними осям координат Ox та Oy (рис. 3.2). Прямокутники, створені перетином прямих, називаються блоками сітки, а їхні центри – вузлами сітки. Серед вузлів і відповідних ним блоків виділяють внутрішні, в яких всі сусіди належать області, та граничні, у яких хоча б один сусід знаходиться за межами області.

Відстані між прямими (гранями блоків) називаються кроками сітки і позначаються так: $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$, $\Delta y_j = y_j - y_{j-1}$, $i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$; де x_i та y_j – координати граней блоків.

Вертикальний розмір блоку дорівнює потужності водоносного шару. Отже, геометрично водоносний горизонт представляється у вигляді сукупності паралелепіпедів різної висоти, ширини та довжини, що торкаються сусідніх блоків боковими гранями. Всі параметри моделі визначаються лише у вузлах сітки і ці значення приписуються всьому блоку. Незважаючи на таке спрощення, модель дозволяє відтворювати складну структуру та форму області, змінюючи параметри у різних вузлах сітки, а також розміри блоків [L].

Подрібнення сітки доцільно в зонах різкої зміни фільтраційних властивостей та швидкості фільтрації (наприклад, поблизу свердловин або меж області); у відносно однорідних зонах можна використовувати більші кроки сітки. Чим менші кроки сітки, тим детальнішою є модель. Разом з тим, слід уникати надмірного збільшення кількості вузлів, оскільки це ускладнює розрахунок з точки зору отримання стабільного результату, а також часто не може бути забезпечено вхідними даними з потрібною деталізацією.

Увесь проміжок часу τ ділиться інтервалами (часовими кроками) тривалістю Δt_k , такими, що $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$, $k=1, \dots, Z$, $t_0=0$, $t_Z = \tau$.

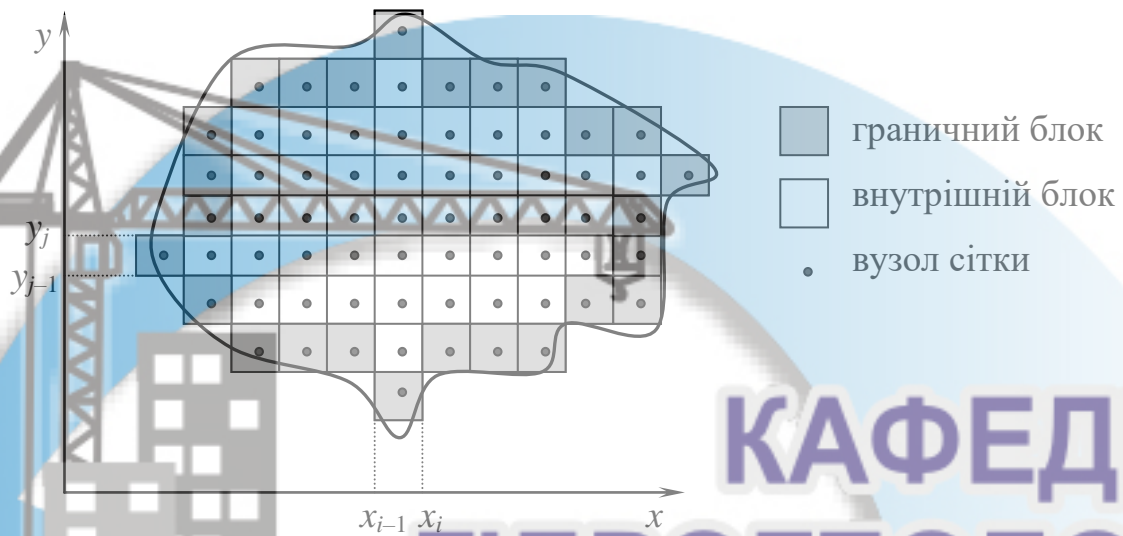


Рисунок. 3.2 – Скінчено-різницева апроксимація області фільтрації.

Всі значення розрахованих величин та параметрів у фіксований момент часу називаються часовим шаром.

Баланс води в розрахунковому блоці сітки. Розглянемо довільний блок сітки, позначивши його індексом «0», а його сусідів – індексами «1», «2», «3», «4» (рис. 3.3). Напори (рівні) підземних вод у блоках позначимо через H_0, H_1, H_2, H_3, H_4 , коефіцієнти фільтрації – K_0, K_1, K_2, K_3, K_4 , товщини водоносного горизонту – відповідно m_0, m_1, m_2, m_3, m_4 , розміри всіх блоків у плані – Δx та Δy .

Згідно закону Дарсі, потік води з лівого блоку з індексом «1» до центрального блоку з індексом «0» записується у вигляді

$$Q_{10} = -K_{10} F_{10} I_{10} = -K_{10} m_{10} \Delta y \frac{H_0 - H_1}{\Delta x}, \quad (1)$$

де K_{10} та m_{10} – відповідно усереднені значення коефіцієнту фільтрації та товщини водоносного горизонту для блоків «0» та «1».

Для усереднення значень параметрів на блоках сітки використовується формула, що більшою мірою відповідає фізичній природі фільтрації

$$K_{10} m_{10} = T_{10} = \frac{2T_0 T_1}{T_0 + T_1}, \quad T_0 = K_0 m_0, \quad T_1 = K_1 m_1. \quad (2)$$

Аналогічно формулі (1) визначаються потоки води з блоку «2» до центрального блоку, та з нього до блоків «3» та «4».

Потік води зверху за рахунок інфільтрації у безнапірний водоносний горизонт визначається як

$$Q_v = w\Delta x\Delta y. \quad (3)$$



Рисунок. 3.3 – Схема до балансу підземних вод у блоці скінченорізницевої сітки.

У разі перетікання по площі з іншого водоносного горизонту вертикальний потік визначається так

$$Q_{v,d} = -K'_0\Delta x\Delta y \frac{H_0 - H_{0,d}}{m'_0}, \quad Q_{v,u} = -K'_0\Delta x\Delta y \frac{H_{0,u} - H_0}{m'_0} \quad (4)$$

де K'_0 та m'_0 – відповідно коефіцієнт фільтрації та товщина водотривкого шару, $H_{0,u}$ та $H_{0,d}$ – напір у іншому (верхньому або нижньому) водоносному горизонті. Вертикальні потоки зверху визначаються за однією з формул (3) чи (4).

До складових балансу в центральному блоці слід додати надходження (відбір) води внаслідок роботи свердловини дебітом Q_w .

Отже, рівняння балансу води в блоці скінчено-різницевої сітки на проміжку часу Δt_k записується для безнапірного потоку у вигляді

$$Q_{10} + Q_{20} - Q_{03} - Q_{04} + Q_{v1} - Q_{v2} + Q_w = n_0 \Delta x \Delta y \frac{H_0^{(k)} - H_0^{(k-1)}}{\Delta t_k}, \quad (5)$$

Тут n_0 – пористість порід у центральному блоці. Всі члени рівняння (5) мають вимірність об'ємної витрати. У разі безнапірного потоку товщина водоносного шару залежить від рівня підземних вод

$$m = H - b \quad (6)$$

де b – позначка (висотне положення) підшови водоносного горизонту. Для напірного потоку параметр m не залежить від H і визначається лише різницею висотного положення кривлі та підшови пласта.

Зменшуючи розміри блоку до нескінченно малих величин ($\Delta x \rightarrow 0$, $\Delta y \rightarrow 0$, $\Delta t \rightarrow 0$), можна перейти до диференціального рівняння фільтрації для безнапірного пласта

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} \left(Km \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Km \frac{\partial H}{\partial y} \right) \right) + w + \sum_{i=1} Q_i = \mu \frac{\partial H}{\partial t}; \quad (7)$$

Тут Q_i – додаткові потоки води до центрального блоку від точкових, лінійних, або площинних джерел, розташованих в його межах.

Алгоритм розрахунку нестационарної фільтрації полягає у послідовному визначенні напору H на наступному часовому шарі при $t=t_k$, виходячи з відомих значень напору на поточному часовому шарі при $t=t_{k-1}$. Розроблено декілька схем такого розрахунку L [17]. Найбільш відомі з них називають явною та неявною схемами (рис. 3.4).

Фактично ці схеми відрізняються тим, на якому часовому шарі визначаються потоки води Q_{10} , Q_{20} , Q_{03} , Q_{04} , Q_{v1} , Q_{v2} та Q_w . Якщо вони обчислюються на поточному часовому шарі при $t=t_{k-1}$, то після підстановки виразів (1) – (4) до (5) та приведення подібних отримуємо рівняння, яке пов'язує значення напору в п'яти блоках сітки

$$A H_1^{(k-1)} + B H_2^{(k-1)} + C H_0^{(k-1)} + D H_3^{(k-1)} + E H_4^{(k-1)} + Q_{v,\Sigma}^{(k-1)} = F H_0^{(k)}, \quad (8)$$

де коефіцієнти A, B, C, D, E та F залежать від кроків сітки, часу та фільтраційних параметрів, індекси « $k-1$ » та « k » позначають часовий шар, доданок $Q_{v,\Sigma}^{(k-1)}$ позначає сумарний потік до блоку за рахунок інфільтраційного живлення, вертикального перетікання між водоносними шарами та водовідбору (нагнітання води).



Рисунок. 3.4 – Шаблони явної (а) та неявної (б) схем розрахунку фільтраційного напору методом скінчених різниць.

Якщо ж потоки до центрального блоку та витіки з нього обчислюються на наступному часовому шарі при $t=t_k$, то після підстановки виразів (27) – (34) до (35) чи (36) і приведення подібних отримуємо рівняння такого виду.

$$A'H_1^{(k)} + B'H_2^{(k)} + C'H_0^{(k)} + D'H_3^{(k)} + E'H_4^{(k)} + Q_{v,\Sigma}^{(k)} = F'H_0^{(k-1)}, \quad (9)$$

де коефіцієнти зі штрихом відрізняються від аналогічних у рівнянні (40).

Використовуючи явну схему (40), можна безпосередньо обчислити напір у центральному блоці в наступний момент часу. Для неявної схеми (41) необхідно розв'язувати систему алгебраїчних рівнянь, невідомими в якій є значення напору в наступний момент часу у всіх блоках, крім тих, де H однозначно заданий.

Рівняння типу (8) чи (9) розв'язуються послідовно для всіх часових шарів від $t=t_0$ до $t=\tau$, причому кожний раз наступний часовий шар, де вже визначений напір, стає поточним. Тривалість кроку у часі зазвичай змінюється: зменшується

одразу ж після різких змін у часі фільтраційних параметрів та граничних умов, збільшується у періоди, коли значення цих параметрів відносно стабільні.

Граничні умови. На межах області фільтрації можуть задаватись змінні за часом і у просторі (уздовж певного контуру або на поверхні) такі величини: 1) напір (рівень) підземних вод, 2) їхня витрата, 3) співвідношення між напором і витратою.

Умова першого роду відповідає безпосередньому та довершеному контакту з річкою, великим ставком, тобто об'єктами, розміри яких порівняні з розмірами області фільтрації. Вважається, що рівень підземних вод у водоносному горизонті на такій межі дорівнює рівню води h_r у таких об'єктах, який може змінюватись у часі (протягом року або тривалішого періоду).

Умова другого роду ставиться переважно у внутрішніх блоках з додатковими джерелами (свердловини, техногенне інфільтраційне живлення з каналів, ставків накопичувачів, хвостосховищ). Витрата води, що надходить з лінійних та площинних джерел, розраховується відповідно за формулами

$$Q_l = q_l l_b, \quad Q_F = q_F F_b, \quad (10)$$

де q_l, q_F – питома витрата з лінійного або площинного джерела, l_b, F_b – сумарні довжини лінійних та площинних джерел у межах блоку. Окремим випадком умови другого роду є межа, з нульовою витратою ($Q=0$), наприклад, вододіл, лінія току, непроникна стінка в ґрунті.

Умова третього роду

$$K \frac{\partial H}{\partial s} = \alpha(H - H_r) \quad \text{або} \quad \frac{\partial H}{\partial s} = \Phi(H - H_r), \quad (11)$$

де s – локальна координата, перпендикулярна межі області фільтрації, $\Phi = \alpha/K$ – коефіцієнт, що враховує проникність відкладів під річищем або недовершеність межі.

Геометрична схематизація меж проводиться, виходячи з умови максимальної близькості центрів граничних блоків до реальної межі області, де заданий напір чи витрата.

Середня мінералізація відкачуваних вод наближено визначається за формулою

$$C_s = \frac{C_{gw}Q_{gw} + C_rQ_r + C_{in}Q_{in}}{Q_{gw} + Q_r + Q_{in}}, \quad (12)$$

де C_{gw} , C_r , C_{in} – мінералізація підземних, річкових і інфільтраційних вод відповідно, Q_{gw} , Q_r , Q_{in} – їхні притоки до свердловин, що розраховуються як складові балансу води в межах області розрахунку.

3.3. Прогнозні оцінки припливу та якості води

В результаті серії розрахунків в діапазоні параметрів інфільтрації та дебіту свердловин, що представлено на рис.3.5-3.11 та у табл. 3.3, були оцінені можливості водовідбору з прибережних водозаборів в район м. Нікополь.

Розрахунки виконані в ліцензійній програмі Modflow, призначеної для чисельного моделювання гідрогеологічних процесів.

Ізолінії рівня підземних вод узагальнено повторюють форму нової берегової лінії, причому швидкість фільтрації в цілому зростає від вододільних ділянок до берега. Зони впливу водозаборів локалізовані відстанями до 100 – 150 м (рис. 3.5).

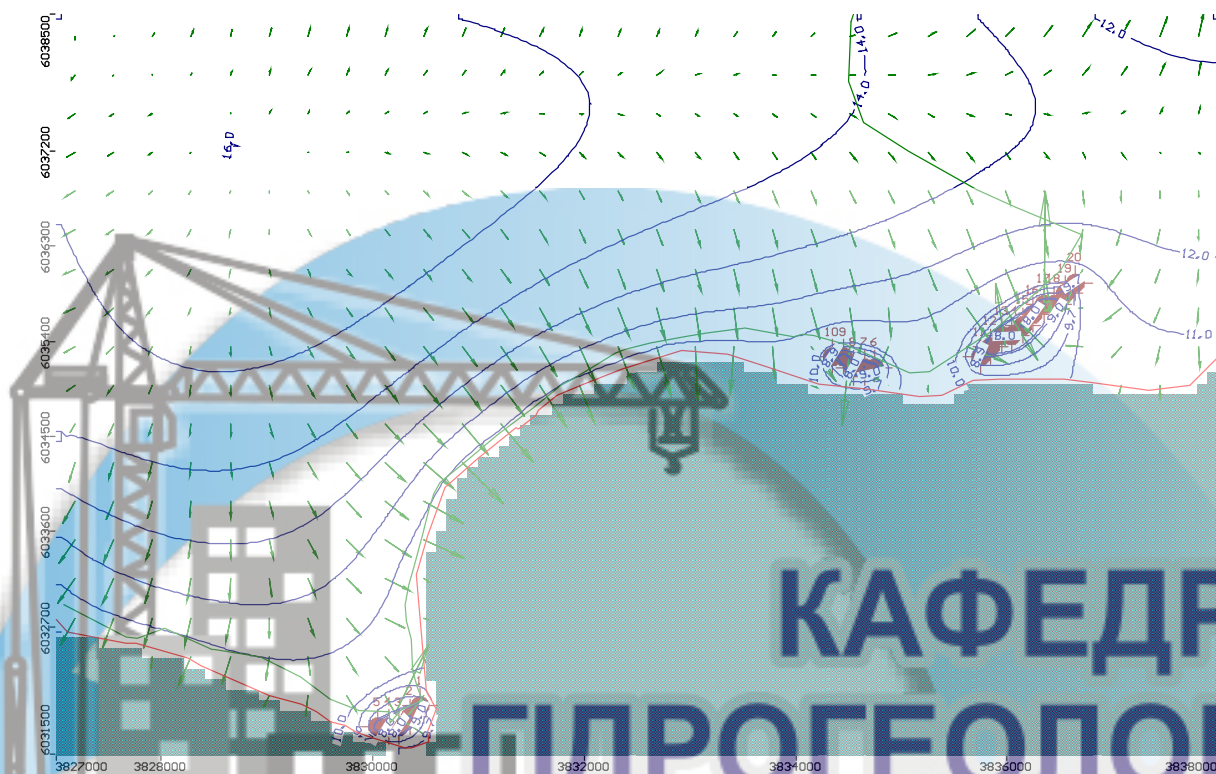


Рисунок 3.5 – Карта ізолій рівня підземних вод та напрямків їх течії для всієї модельованої області за умов інфільтрації 20 мм/рік. Стара берегова лінія позначена червоною лінією, нова берегова лінія – зеленою лінією, сіра заливка – територія за межами області моделювання.

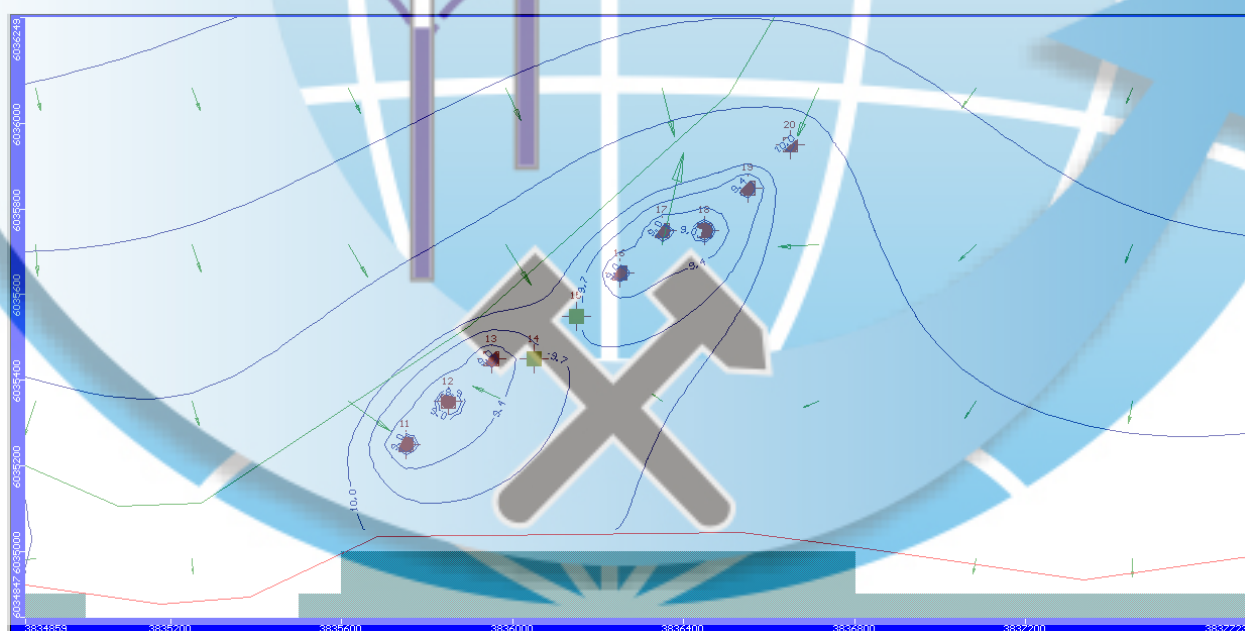


Рисунок. 3.6 – Карта ізолій рівня підземних вод та напрямків їх течії навколо водозабору №3 при інфільтрації 30 мм/рік.

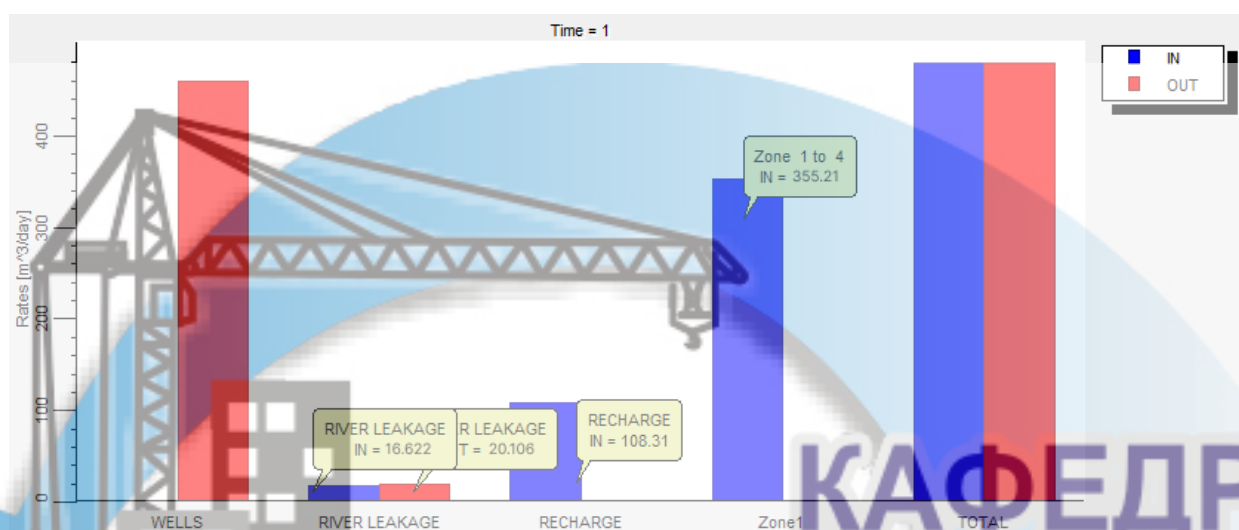


Рисунок. 3.7 – Графік водного балансу водозабору №3 при максимальному дебіті та інфільтрації.

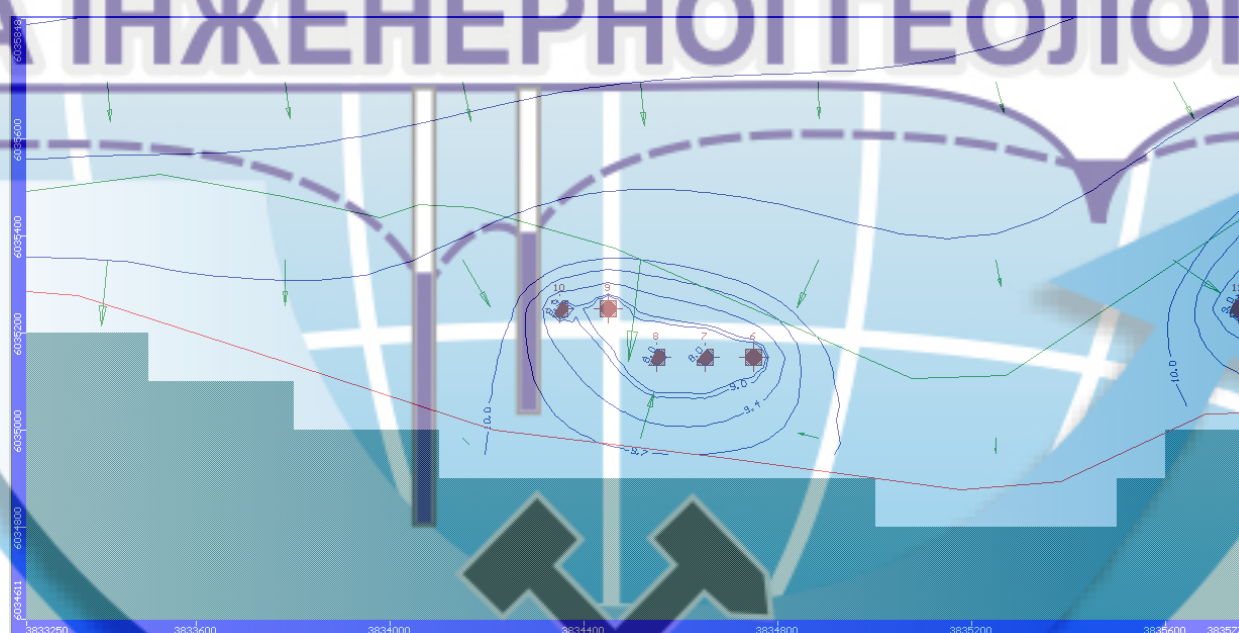


Рисунок. 3.8 – Карта ізолій рівня підземних вод та напрямків їх течії навколо водозабору №3 при інфільтрації 30 мм/рік.

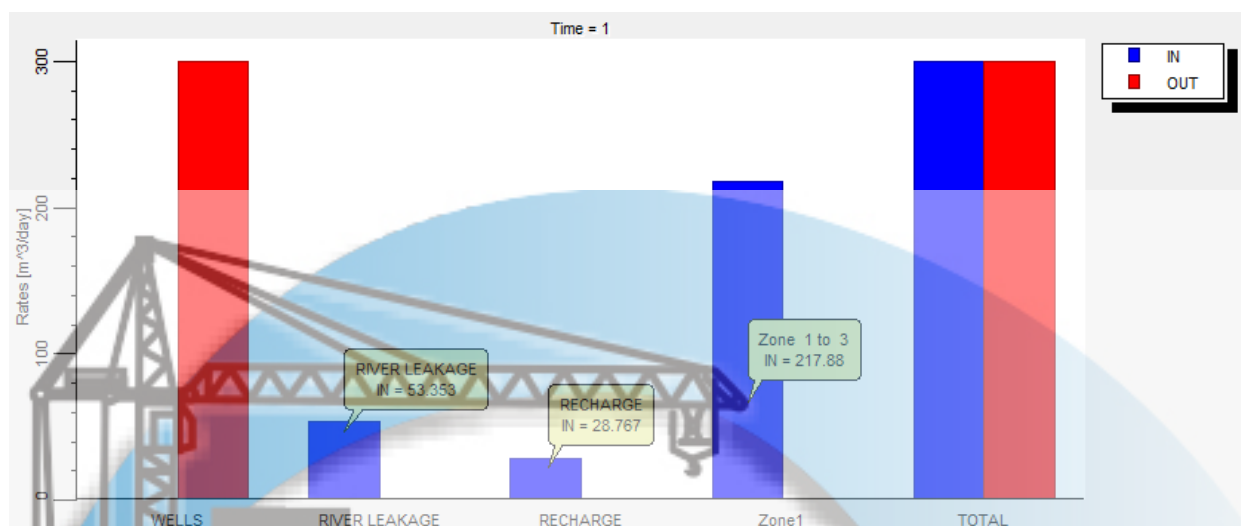


Рисунок. 3.9 – Графік водного балансу водозабору №2 при максимальному дебіті та інфільтрації.

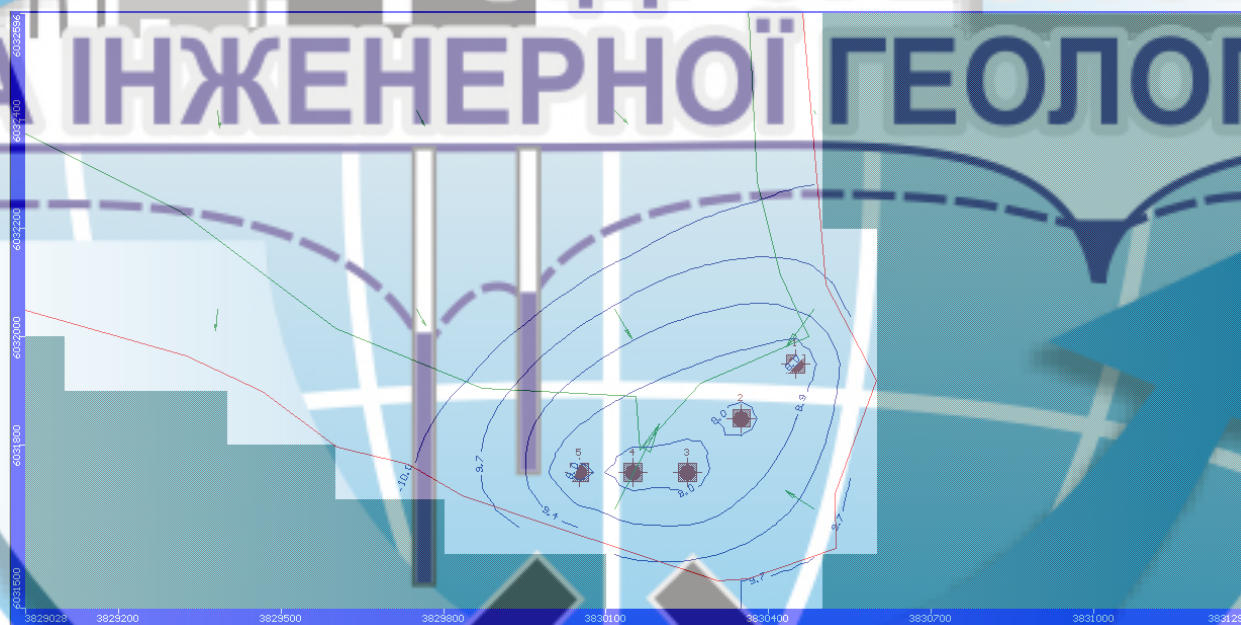


Рисунок. 3.10 – Карта ізоліній рівня підземних вод та напрямків їх течії навколо водозабору №3 при інфільтрації 30 мм/рік.

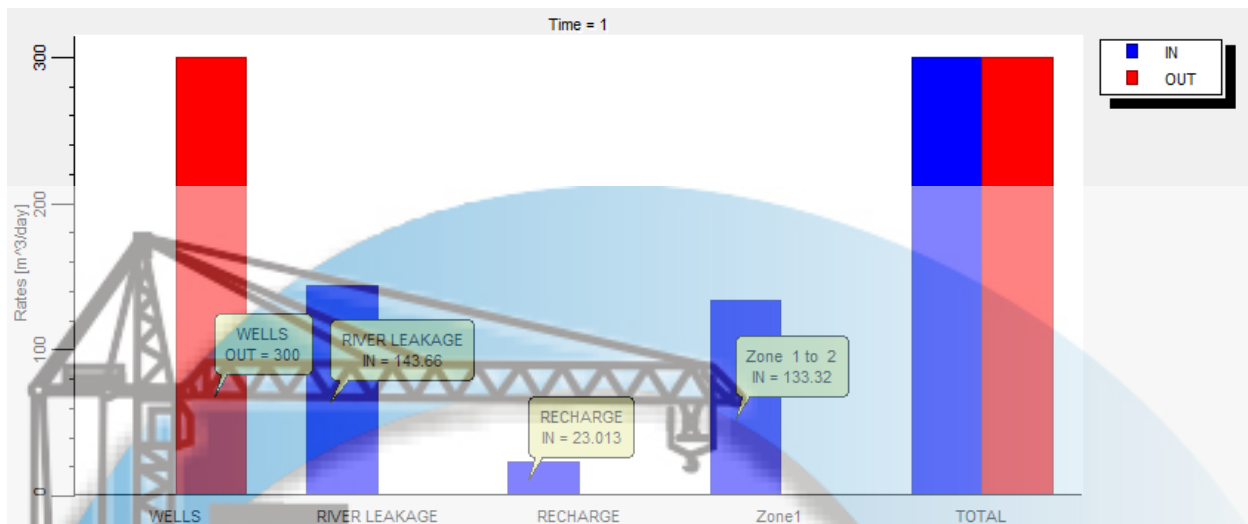


Рисунок. 3.11 – Графік водного балансу водозабору №1 при максимальному дебіті та інфільтрації.

При розрахунках якості води, що відбирається водозаборами, з урахуванням даних моніторингу гідросфери (розділ 2.2) було прийнято: мінералізація підземних вод 1,5 г/л, річкових вод – 0,4 г/л, інфільтраційних вод – 0,2 г/л.

Таблиця. 3.3 – Результати моделювання експлуатації водозаборів

№	Q_w , м³/доб	w , мм/рік	№ водозабору	Q_{tot} м³/доб	Q_{gw} , м³/доб	Q_r , м³/доб	Q_{in} , м³/доб	C_s , г/л
1	40	20	3	420	297.9	49.8	72.3	1.15
2	40	25	2	220.9	170.9	26.1	23.9	1.23
3	40	30	1	200	93.1	83.9	23	0.89
4	50	20	3	400	294.9	33.1	72.2	1.17
5	50	25	2	250	187.8	38.2	23.9	1.21
6	50	30	1	250	113.2	113.7	23	0.88
7	55	20	3	327.6	201.4	54.3	71.9	1.03
8	55	25	2	275	199.9	51.2	23.9	1.18
9	55	30	1	275	123.3	128.7	23	0.88
10	60	30	3	467	355.2	-3.5	108.3	1.19
11	60	30	2	300	217.9	53.4	28.8	1.18
12	60	30	1	300	133.3	143.7	23	0.87

Отже, високий дебіт дозволяє видобувати більше води, що підвищує потужність водозабору. Низький дебіт обмежує обсяги води, які можна видобувати, що може призвести до недостатнього водопостачання та необхідності буріння додаткових свердловин. Але можливість збільшення дебіту обмежена, що демонструє рис. 3.5 для водозабору №3 з двома осушеними комірками, де знаходяться свердловини, які фактично не відбирають воду через низьку провідність.

Вищий рівень інфільтрації є чинником кращого живлення водоносного горизонту, що дозволяє підтримувати більший дебіт і, відповідно, потужність водозабору. Низький рівень інфільтрації може призвести до виснаження водоносних горизонтів, що зменшить дебіт та знизить потужність водозабору.

Рівень мінералізації менше 1 г/л означає, що вода є придатною для більшості споживачів без необхідності додаткового очищення, що зменшує витрати на обробку води та підвищує ефективність водозабору. Таку ситуацію можна очікувати для варіантів 3, 6, 9, 12, з такими значеннями : 0.89, 0.88, 0.88, 0.87 г/л відповідно.

Підвищена мінералізація понад 1 г/л може обмежити використання води для питних або промислових потреб, або потребуватиме додаткової демінералізації. Висока мінералізація може також негативно впливати на обладнання водозабору, викликаючи корозію та зниження ефективності. Це може зменшити загальну потужність водозабору через підвищені витрати на обробку та підтримку. Таку ситуацію можна очікувати для варіантів 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11 з такими параметрами: 1.15, 1.23, 1.17, 1.21, 1.03, 1.18, 1.19, 1.18 г/л відповідно.

Всі ці фактори взаємопов'язано впливають на потужність водозабору. Так, високий дебіт та низька мінералізація разом створюють сприятливі умови для ефективного водозабору. Однак, за малої інфільтрації це може призвести до виснаження ресурсів підземних вод і зниження дебіту. У свою чергу, високий рівень мінералізації може потребувати додаткових витрат на обробку води, що зменшить економічну ефективність водозабору.

Згідно табл. 3.3, у разі експлуатації всіх трьох водозаборів до водного балансу м. Нікополь може бути додатково залучено до 1067 м³/доб, що становить 3,6% від потужності тих водозаборів, які експлуатувалися до руйнування Каховської ГЕС. За якістю така вода може бути використана для технічного та промислового водопостачання

Оптимізація дебіту за умов існуючого та прогнозованого рівня інфільтрації та мінералізації підземних вод дозволить стабілізувати забезпеченість водою населення та промисловості м. Нікополь додатковими прибережними водозаборами. Уточнення результатів даної роботи можливо за рахунок деталізації гідрогеологічних параметрів водоносного горизонту, його живлення та зв'язку з іншими горизонтами, а також місць розміщення свердловин.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



ВИСНОВКИ

До руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 року Каховське водосховище представляло собою одну з найбільших штучних водойм України з площею поверхні 2155 км², об'ємом води 18,2 км³, корисним об'ємом 6,8 млрд м³ та середньою глибиною 8,5 м. З нього забиралось до 194 млн м³ води для господарських та побутових потреб.

у Дніпропетровській області найбільші водокористувачі концентрувалися у промисловому та комунальному секторах. Більшість підприємств використовували поверхневі води.

Відповідно до ДСТУ поверхнева вода Каховського водосховища могла бути джерелом централізованого питного водопостачання.

Стан водозабезпечення у Дніпропетровській області після руйнування Каховської ГЕС суттєво погіршився. Запаси підземних вод, які складають 73 млн м³, є недостатніми для задоволення поточного споживання, яке становить 672 млн м³. З цієї кількості 534 млн м³ використовуються промисловістю, а 105 млн м³ – для санітарних потреб.

До руйнування греблі Каховської ГЕС у регіоні діяли різноманітні водозабори, які забезпечували населення та промисловість водою. Проте після катастрофи їх функціонування було значно ускладнено через зміни у гідрогеологічному режимі.

З метою аналізу і прогнозування гідрогеологічного режиму в умовах створення прибережного водозбору було розроблено чисельну гідрогеологічну модель в програмі Modflow. Було обрано ділянку узбережжя р. Дніпро в районі міста Нікополь Дніпропетровської області, де відступ берегової лінії мінімальний порівняно з іншими ділянками.

За результати моделювання були визначені рівні підземних вод та складові водного балансу в діапазоні змін інфільтрації від 20 до 30 мм/рік при варіації дебітів свердловин від 40 до 60 м³/добу.

Встановлено, що у разі експлуатації всіх трьох водозаборів до водного балансу м. Нікополь може бути додатково залучено до $1067 \text{ м}^3/\text{доб}$, що становить 3,6% від потужності тих водозаборів, які експлуатувалися у м. Нікополь до руйнування Каховської ГЕС. За якістю така вода може бути використана для технічного та промислового водопостачання.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Список літератури:

1. Beck, H.E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. - "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution". Nature Scientific Data. DOI:10.1038/sdata.2018.214.
Köppen–Geiger climate classification map for Ukraine
2. Геологічна будова України (дочетвертинний зріз).
<https://geomap.land.kiev.ua/geology-1-950.html>
3. Гідрогеологічна карта України. <https://geomap.land.kiev.ua/water.html>
4. <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/dniproges-ta-inshi-ges-dniprovsкого-kaskadu-infografika-mapa-dani-pro-grebli-novini-ukrajini-50403501.html>
5. Національна академія наук України. Каховське водосховище – рік після підриву греблі.
https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=11414&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAAR1ZVecVXJO7ye2hc1bpmRltpBoIyaa7hTYPwEebgGjmRUeQ5s8RKs7fApU_aem_ZmFrZWR1bW15MTZie
6. Принцип роботи водозабору берегового типу
<https://studfile.net/preview/4402072/page:4/>
7. 1.6 Водозабірні споруди прийому підземних вод. Водозабірні свердловини
<https://studfile.net/preview/4402072/page:5/>
8. Споруди для забору підземних вод <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/voda2/2730.html>
9. Дія. Загальні показники використання води 2021 рік
https://data.gov.ua/dataset/cadastre-water-use/resource/3ff8b28b-148b-423b-a771-0dd706a5291a?view_id=05cc0222-4a8c-4d75-ab80-9840d35de5a1
10. КП НІКОПОЛЬВОДОКАНАЛ. Лабораторний аналіз води.
<https://nikvoda.dp.ua/>
11. Нікопольське управління захисних масивів Дніпровських водосховищ. Історія розвитку. <https://www.nik-up.gov.ua/istoriia-rozvytku/>
12. Державне агентство водних ресурсів України. Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів. <https://davr.gov.ua/>

13. Національна академія наук України. Каховське водосховище перетворюється на річку.

<https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=10244>

Прес-служба НАН України

14. Аналітичні матеріали Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України щодо підриву рф Каховської ГЕС та зневоднення Каховського водосховища.

<https://uhmi.org.ua/pub/books/Kakhovka-reservoir-annual.pdf>

15. Будують водогони, бурять свердловини. Кому не вистачає води на півдні України?

<https://www.radiosvoboda.org/a/novyny-pryazovya-voda-na-pivdennyu-defitsyt-budivnytstva-vodohoniv/32513367.html>

16. Каховська ГЕС ім. П. Непорожнього / К. В. Воцинський // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2012. – Режим доступу :

<https://esu.com.ua/article-11142>.

17. Langevin, Ch.D., Hughes, J.D., Banta, E.R., Niswonger, R.G., Panday, S., & Provost, A.M. (2017). Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model. Chapter 55 of Section A, Groundwater Book 6, Modelling Techniques.

U.S.G.S. <https://doi.org/10.3133/tm6A55>

Відзив

наукового керівника на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія»), студентки гр. 103-20-1 Полієнко Валерії Андріївни «Оцінювання ресурсів підземних вод у прибережній зоні р. Дніпро після змін її русла та заходів забезпечення місцевого водопостачання»

Зв'язок завдання на кваліфікаційну роботу з об'єктом діяльності магістра. Завдання на представлену кваліфікаційну роботу безпосередньо пов'язано з об'єктом діяльності магістра за спеціальністю «Науки про Землю» (ОПП «Геологія») і стосується досліджень гідродинамічного режиму техногенно змінених об'єктів, раціонального використання та охорони підземних вод як складових мінеральних ресурсів регіону.

Актуальність. Руйнування Каховської ГЕС призвело до суттєвих змін гідрологічного режиму та створило ризики сталого водозабезпечення населення, промисловості та сільського господарства на значних територіях, у тому числі південної частини Дніпропетровської області. У даний час терміново виконуються заходи водозабезпечення з раціональним використанням запасів поверхневих та підземних вод в області. Додатковим джерелом водозабезпечення може стати експлуатація берегових водозаборів з одночасним вжиттям заходів захисту гідросфери. Для вирішення цього завдання потрібні надійні оцінки запасів підземних вод, що базуються на чисельному моделюванні течій підземних вод навколо водозаборів. Тому тема кваліфікаційної роботи студентки Полієнко В.А. є актуальною.

Відповідність змісту стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку літератури, та додатків. Зміст роботи повністю відповідає стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК.

Новизна. На основі чисельного моделювання роботи кільком прибережних водозаборів оцінено потенційні можливості залучення підземних вод після переміщення берегової лінії р. Дніпро внаслідок осушення водосховища, а також якість цих вод. Це дає можливість регламентувати водовідбір для водопостачання населення та промисловості на територіях з дефіцитом водних ресурсів.

Практичне значення результатів. Представлений підхід може бути використано при виконанні оцінок впливу на довкілля (ОВД) заходів водозабезпечення після руйнування греблі Каховської ГЕС та зниження рівня води у р. Дніпро. Виконані оцінки можуть бути використані необхідні при удосконаленні гідроекологічного моніторингу уздовж берегової лінії р. Дніпро і реалізації організаційно-технічних заходів з раціонального використання водних ресурсів.

Ступінь самостійності виконання. Студентка Полієнко В.А. виконала кваліфікаційну роботу самостійно за допомогою консультацій наукового керівника.

Застосування ПЕОМ, реальність, комплексність. Усі розрахунки в роботі виконані студенткою Полієнко В.А. з використанням ПЕОМ та ліцензійної програми чисельного моделювання гідрогеологічних процесів Modflow для реальних об'єктів з відповідним урахуванням їх геологічної та гідрогеологічної специфіки. Робота враховує необхідні відомості та картографічний матеріал з геології, гідрогеології, гідрології.

Якість оформлювання. Робота написана грамотною мовою, оформлена відповідно до сучасних вимог.

Недоліки. Розрахунок прибережного водозабору при зміні берегової лінії виконано для одного з варіантів нового положення русла р. Дніпро. Однак це суттєво не вплинуло на реалістичність отриманих результатів.

Комплексна оцінка. Кваліфікаційна робота Полієнко В.А. відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям ОПП «Геологія» (ОКР «бакалавр») і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Полієнко В.А. – присвоєння кваліфікації бакалавр за спеціальністю «Науки про Землю» (ОПП «Геологія»). Рекомендована оцінка кваліфікаційної роботи – 90 балів.

Науковий керівник:
проф. каф. гідрогеології та інженерної геології
д.т.н., проф.

Рудаков Д.В.

Рецензія**Додаток Б**

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія»), студентки гр. 103-20-1 Полієнко Валерії Андріївни «Оцінювання ресурсів підземних вод у прибережній зоні р. Дніпро після змін її русла та заходів забезпечення місцевого водопостачання»

Зникнення Каховського водосховища спричинило масштабні зміни гідрологічного та гідрогеологічного режиму, вплинуло на стан підземних вод та загостило проблему сталого забезпечення водою прийнятної якості населення, сільського господарства та промисловості, у тому числі на півдні Дніпропетровської області. Після зниження рівня поверхневих та підземних вод у пріоритетному порядку вирішується завдання водозабезпечення і раціонального використання водних ресурсів з урахуванням оцінок запасів підземних вод. Отже, тема кваліфікаційної роботи студентки Полієнко В.А. є актуальною.

Представлена робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. У першому розділі проведено аналіз природних умов району досліджень, до та після руйнування греблі ГЕС, з аналізом геологічної будови, гідрологічного режиму і гідрогеологічних умов. У другому розділі проведено аналіз моніторингових спостережень за станом та якістю водних ресурсів півдня Дніпропетровської області, а також тих споруд, які використовуються для водопостачання прибережних територій.

У третьому розділі обґрунтовані потенційні місця розташування прибережних водозаборів після зміни берегової лінії та параметри гідрогеологічного режиму. На основі ліцензійного програмного забезпечення Modflow розроблена чисельна модель руху підземних вод для розрахункової схеми групового водозабору. Для діапазону гідрогеологічних параметрів району м. Нікополь з мінімальним віддаленням нового русла р. Дніпро від старої берегової лінії виконано прогностичні оцінки ресурсу водовідбору та якості води.

До недоліків роботи можна віднести обмежену кількість модельних розрахунків стосовно параметрів гідрогеологічного режиму. Але, навіть виконані розрахунки вже дають достатнє попереднє уявлення стосовно потенціалу підземних водоносних горизонтів з точки зору місцевого водозабезпечення.

Кваліфікаційна робота написана грамотною мовою, оформлена відповідно до вимог, має практичну значимість.

Кваліфікаційна робота Полієнко В.А. відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям ОПП «Геологія» і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Полієнко В.А. – присвоєння кваліфікації бакалавр за спеціальністю «Науки про Землю» (ОПП «Геологія»). Рекомендована оцінка кваліфікаційної роботи – 90 балів.

Рецензент:

Доцент кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин, канд. геол. наук, доц.

Козій Є.С.

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи бакалавра

студента (ки) групи 103-20-1
(шифр групи)

Полієнко Валерії Андріївни
(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Оцінювання ресурсів підземних вод у прибережній зоні р. Дніпро після змін її русла та заходів забезпечення місцевого водопостачання»

Науковий керівник проф. Рудаков Д.В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

«StrikePlagiarism» https://panel.strikeplagiarism.com/#/	Оригінальність	66
	Схожість	34

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібно)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховання недобросовісних запозичень.

Науковий керівник

проф. Рудаков Д.В.

Нормоконтролер

проф. Інкін О.В.

В.о. зав каф. гідрогеології
та інженерної геології

проф. Рудаков Д.В.

_____ (дата)