

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 магістра

студента Гончара Дмитра Сергійовича

академічної групи 103м-22-1

спеціальності 103 Науки про Землю

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

на тему Радіологічний стан підземних і поверхневих вод у зоні впливу
хвостосховища у м. Кам'янське та прогноз водної міграції радіонуклідів

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	Інституційною	
кваліфікаційної роботи	Рудаков Д.В.	92		
розділів:				
Загальний	Рудаков Д.В.	92		
Спеціальний	Рудаков Д.В.	92		

Рецензент	Довбніч М. М.			
------------------	---------------	--	--	--

Нормоконтролер	Загриценко А. М.			
-----------------------	------------------	--	--	--

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
Завідувачка кафедри гідрогеології
та інженерної геології,
доктор технічних наук, доцент

Загриценко А. М.

(підпис)

«__» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Гончару Дмитру Сергійовичу академічної групи 103М-22-1

спеціальності 103 Науки про Землю

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

на тему Радіологічний стан підземних і поверхневих вод у зоні впливу
хвостосховища у м. Кам'янське та прогноз водної міграції радіонуклідів

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Природні умови розташування об'єктів радіаційної небезпеки в Середньому Придніпров'ї	09.10.2023 - 29.10.2023
Спеціальний	Розвідка та сучасний стан радіоактивно забруднених об'єктів на території міста Кам'янське	29.10.2023 - 10.12.2023
	Моніторингові дослідження на територіях радіоактивних хвостосховищ в місті Кам'янське	
	Прогнозування водної міграції з хвостосховищ радіоактивних відходів	

Завдання видано

Рудаков Д. В.

(підпис)

Дата видачі 09.10.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії 11.12.2023

Прийнято до виконання

Гончар Д. С.

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок – 64, рисунків – 12, таблиць – 8, джерел – 14.

Об'єкт дослідження – хвостосховища радіоактивних відходів у м. Кам'янське, їх вплив на забруднення річок Коноплянка та Дніпро.

Предмет дослідження – параметри та показники міграції радіонуклідів у підземні та поверхневі води.

Мета дослідження – прогнозування можливих змін стану радіоактивного забруднення річок Коноплянка та Дніпро.

У вступі йдеться про актуальність досліджень хвостосховищ радіоактивних відходів.

У першому розділі представлений огляд загальних відомостей про район досліджень, а саме фізико-географічне положення, геологічна будова території, гідрогеологічні та гідрологічні умови.

У другому розділі подана інформація про радіоактивно забруднені об'єкти на досліджуваній території, зокрема хвостосховища.

У третьому розділі розглянуто моніторингові дослідження, що проводились на досліджуваній території, показані наслідки забруднення підземних вод основними іонами, важкими металами, та радіонуклідами.

У четвертому розділі була побудована математична модель міграції радіоактивних відходів, розчинених у підземних водах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХВОСТОСХОВИЩА, РАДІОНУКЛІДИ, ОСІДАННЯ, ПІДЗЕМНІ ВОДИ, ПРИДНІПРОВСЬКИЙ ХІМІЧНИЙ ЗАВОД, ПРОГНОЗ МІГРАЦІЇ, КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕННЯ.

Зміст

Вступ.....	5
1. Природні умови розташування об'єктів радіаційної небезпеки в Середньому Придніпров'ї.....	7
1.1 Фізико-географічні умови.....	7
1.2 Геологічна будова.....	10
1.3 Гідрогеологічні умови.....	13
1.4 Гідрологічний режим Дніпра, Коноплянки.....	14
2 Розвідка та сучасний стан радіоактивно забруднених об'єктів на території міста Кам'янське.....	17
2.1 Уранові хвостосховища ПХЗ.....	19
2.2 Хвостосховище Дніпровське.....	29
3 Моніторингові дослідження на територіях радіоактивних хвостосховищ в місті Кам'янське.....	33
3.1 Забруднення підземних вод основними іонами.....	35
3.2 Забруднення підземних вод важкими металами.....	37
3.3 Забруднення підземних вод радіонуклідами уранового ряду.....	39
4 Прогнозування водної міграції з хвостосховищ радіоактивних відходів.....	42
4.1 Побудова математичної моделі міграції.....	42
4.2 Верифікація міграційної моделі.....	52
4.3 Прогноз виносу радіонуклідів з хвостосховища з підземними водами до поверхневих водотоків.....	57
Висновки.....	60
Використана література.....	62
ДОДАТОК А. Відгук керівника.....	64
ДОДАТОК Б. Рецензія.....	65
ДОДАТОК В. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра.....	66

ВСТУП

В Україні атомна енергетика є однією з найважливіших галузей енергетики країни. Вона забезпечує близько 55% електроенергії, що виробляється в Україні. Всього в Україні функціонує 4 атомні електростанції та 15 енергоблоків у них. Також країна багата родовища радіоактивних елементів, зокрема урану, більшість з яких розвідана на Українському щиті. Запаси цих елементів численні, їх видобуток міг би забезпечити українські АЕС ядерним паливом. Також ядерне паливо можна експортувати у інші країни, які генерують електроенергію на АЕС.

Уранові родовища в середньому Придніпров'ї є одними з найважливіших у світі. Вони були відкриті в 1960-х роках і є основним джерелом урану для України та інших країн. На сьогоднішній день розвідано багато уранових родовищ у цьому регіоні, але видобуток руд відбувається лише на родовищі «Дніпровське». У 2021 році на родовищі "Дніпровське" було видобуто 1,1 тис. тонн урану. Це становить близько 20% від загального обсягу видобутку урану в Україні. Видобуток урану на інших родовищах у середньому Придніпров'ї поки що не ведеться. Однак існують плани щодо розвитку видобутку урану на цих родовищах.

Також, в цьому регіоні в середині минулого століття був побудований Придніпровський хімічний завод, у промисловому місті Дніпродзержинськ (нині Кам'янське), який займався обробкою радіоактивних руд. На сьогоднішній день завод вже не функціонує, але він залишив по собі радіоактивні відходи. Радіоактивні відходи від такого виробництва накопичують у хвостосховищах. Хвостосховища - це місця, де зберігаються відходи, що утворюються під час цих виробничих процесів. Важливо розуміти, що хвостосховища можуть бути джерелом серйозних екологічних проблем, особливо якщо вони побудовані з порушенням норм безпеки, або не обслуговуються належним чином.

Мета дослідження - проаналізувати стан радіоактивного забруднення у місті Кам'янське, дослідити наявні дані по моніторингу забрудненої території, та спрогнозувати можливі наслідки. Для цього проведено:

1. Інформаційне дослідження хвостосховищ, що знаходяться на території прилеглої до ПХЗ та їх фізичних параметрів, які впливають на інтенсивність міграції радіонуклідів.
2. Вивчення моніторингових досліджень на предмет забруднень підземних вод, що залягають під хвостосховищем, місцевих річок Коноплянка та Дніпро.
3. Створення математичної моделі для визначення шляхів міграції радіонуклідів від найбільшого хвостосховища «Дніпровське» до підземних та поверхневих вод, прогноз їхнього подальшого розвитку, та висновок, наскільки небезпечним є це хвостосховище.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

1. ПРИРОДНІ УМОВИ РОЗТАШУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ РАДІАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ В СЕРЕДНЬОМУ ПРИДНІПРОВ'Ї

1.1 Фізико-географічні умови

Місто Кам'янське лежить на стику кристалічного ядра України та Дніпровсько-Донецької западини, що визначає складний рельєф міста. Лівобережна частина міста розташована на Придніпровській низовині. Висота над рівнем Балтійського моря не перевищує 65 метрів (далі – м БМ). Правобережна частина (крім прибережної смуги шириною 700-1000 м) розташована переважно на відрогах Придніпровської височини (Придніпровська височина). Тут поверхня хвиляста, розділена ярами та балками, висота коливається від 80 до 180 м Б.М. Ділянка розміщення об'єктів ПХЗ включає горбисту терасу (плато), а також дніпровську терасу та заплаву Дніпра. Висота плато від 100 до 180 м н.р.м. Заплава р. Дніпро має відмітки від +54 до +56 м БМ, а площа тераси – від +56 до +67 м БМ. Схил від плато до дніпровських терас пронизаний численними ярами та балками (глибиною до 20-40 м). У трьох з цих ярів на території ПХЗ утворено хвостосховища (хвостосховища): Західне, Центральне яру та Південно-Східне хвостосховища.

Висота на території заводу коливається від +110 м до +55 м над рівнем моря. Під час будівельних робіт на місці заводу вирівняли плато, схил та тераси Дніпра. Поверхню заплави між річками Дніпро та Коноплянка відсипають ґрунтом та будівельним сміттям та вирівнюють. У заплаві знаходиться Дніпровське хвостосховище висотою від +63 до +73 м БМ, відвали чавуноплавильного цеху ДМК висотою від +65 до +83 м, та шламові резервуари ДКХН висотою від +69 до +70 м БМ.

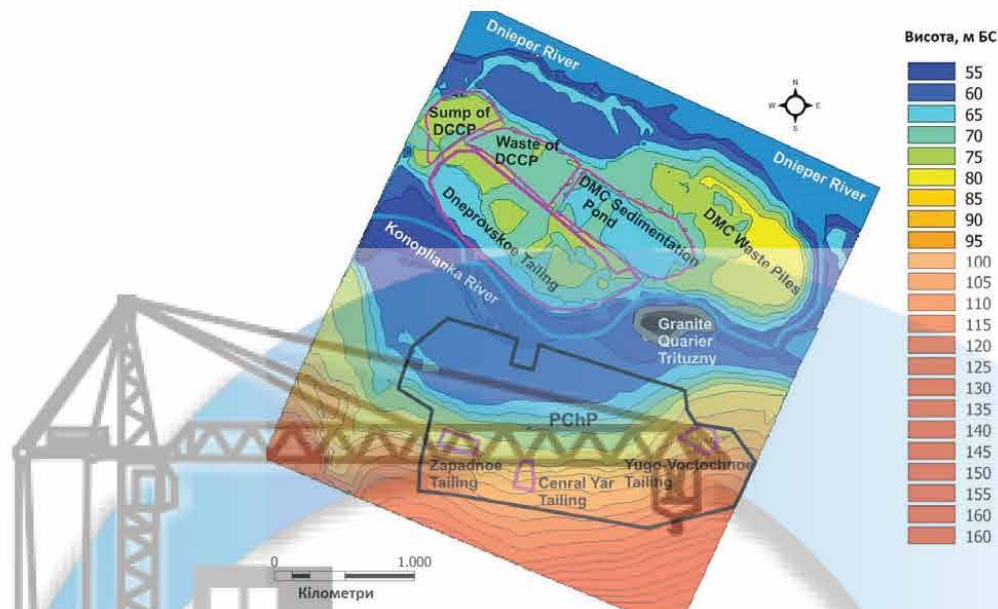


Рисунок. 1.1 Карта рельєфу майданчика ПХЗ та Дніпровського хвостосховища

Ландшафти представлені лісовими низовинами, порізними крутосхилами, переважно прибережними ярами, з виходами кристалічних порід, з змитими звичайними малогумусними та вилуженими чорноземами, з яружними дубовими лісами. Кам'яниста місцевість відноситься до ландшафтів кальцієво-магнієвого геохімічного класу.

По річці Дніпро та Середньодніпровському водосховищі ходять судна змішаного типу. Інші річки невеликі, береги пологі, місцями круті. Лісів на території мало, породи дерев – листяні (дуб, акація, ясен), є молоді насадження сосни, кущовий підлісок.

Відповідно до кліматичного атласу України територія міста належить до помірного кліматичного поясу, до зони атлантико-континентального впливу, тобто на клімат з одного боку впливають Атлантичний океан і Європейський континент, а з північного (арктичний) і південні широти з іншої. Однією з особливостей кліматичних умов є значні коливання погодних умов з року в рік. Помірно вологі роки чергуються з надзвичайно посушливими. В цілому клімат характеризується відносно прохолодною зимою з нестійким сніговим покривом і частими відлигами та жарким сухим літом.

Клімат навколо промислового майданчика ПХЗ помірно континентальний, характеризується жарким (іноді сухим) літом і відносно

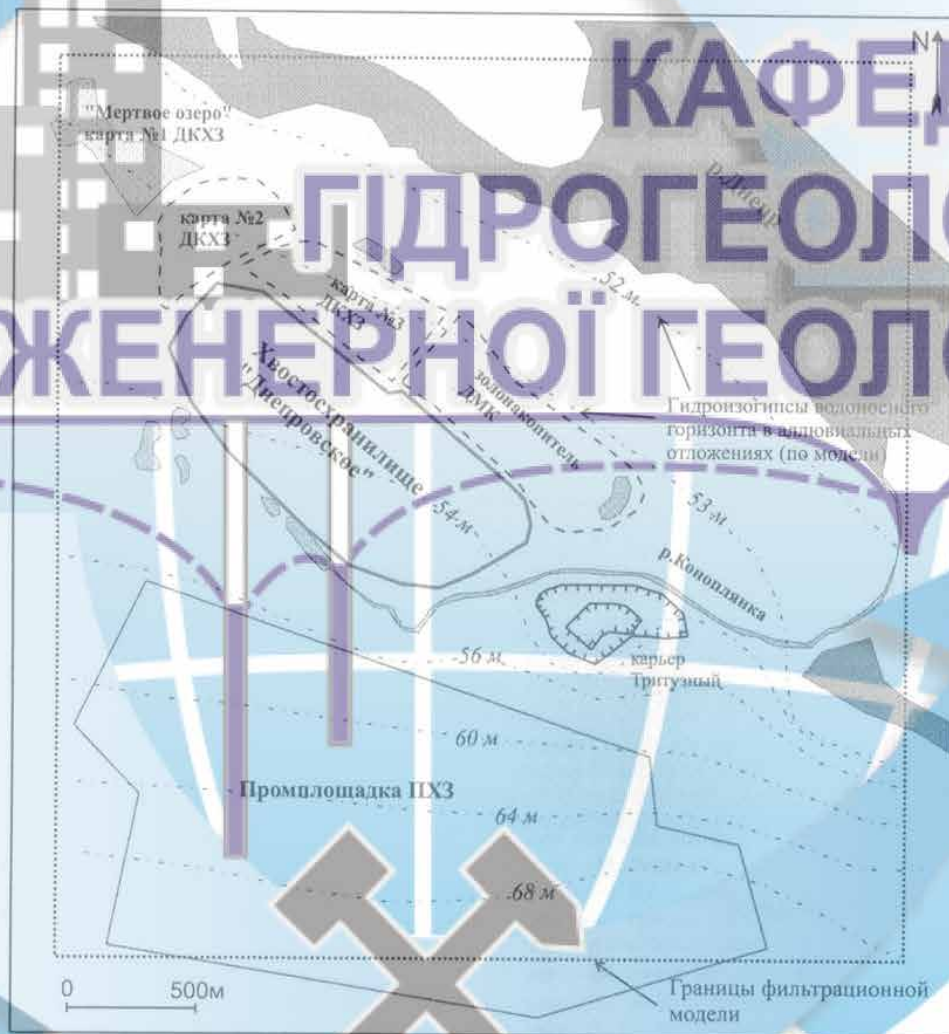
холодною зимою. Зима відносно м'яка, з похмурою погодою і густими туманами. Зимові та осінні місяці характеризуються відносно вітряною погодою. Середньорічна кількість опадів на території міста становить 513 мм. Максимальна місячна кількість опадів за період спостережень (з 1899 р.) становить 160 мм і спостерігається в червні, мінімальна кількість опадів становить 30 мм і спостерігається в березні. Максимальна добова кількість опадів становить 82 мм.

Кількість днів, протягом яких спостерігаються опади, вкрай нерівномірна по місяцях. Так, у зимові місяці кількість днів з опадами протягом місяця коливається від 11 до 13 днів, а в літні та осінні місяці спостерігаються мінімальні показники – 7 днів (серпень – жовтень). Всього в середньому в році буває 122 дні з опадами різної кількості у вигляді снігу або дощу.

На формування клімату в районі впливає наближення міста до Кам'янського (Дніпродзержинського) водосховища, а саме випаровування води з його поверхні. За результатами досліджень науковців УкрНДІ гідрометеорології розрахункове випаровування з водного дзеркала водосховища, що спостерігається в посушливі маловодні роки, становить близько 930 мм. Випаровуваність у вологі багатоводні роки становить 678 мм. Середнє значення випаровування становить 818 мм/рік, що значно перевищує річну кількість опадів у 513 мм.

1.2 Геологічна будова

Геологічна будова правобережної частини м. Кам'янське, де розташований проммайданчик ПХЗ сформована кристалічними породами докембрійського періоду, а також відкладеннями палеогенового, неогенового та четвертинного періодів. На схилах плато при формуванні долини р. Дніпро розміто відклади червоно-бурих глин палеогенового, неогенового та пізнього четвертинного періодів. Геологічний розріз території ПХЗ та Дніпровського хвостосховища в напрямку р. Дніпро наведено на рис. 1.2.



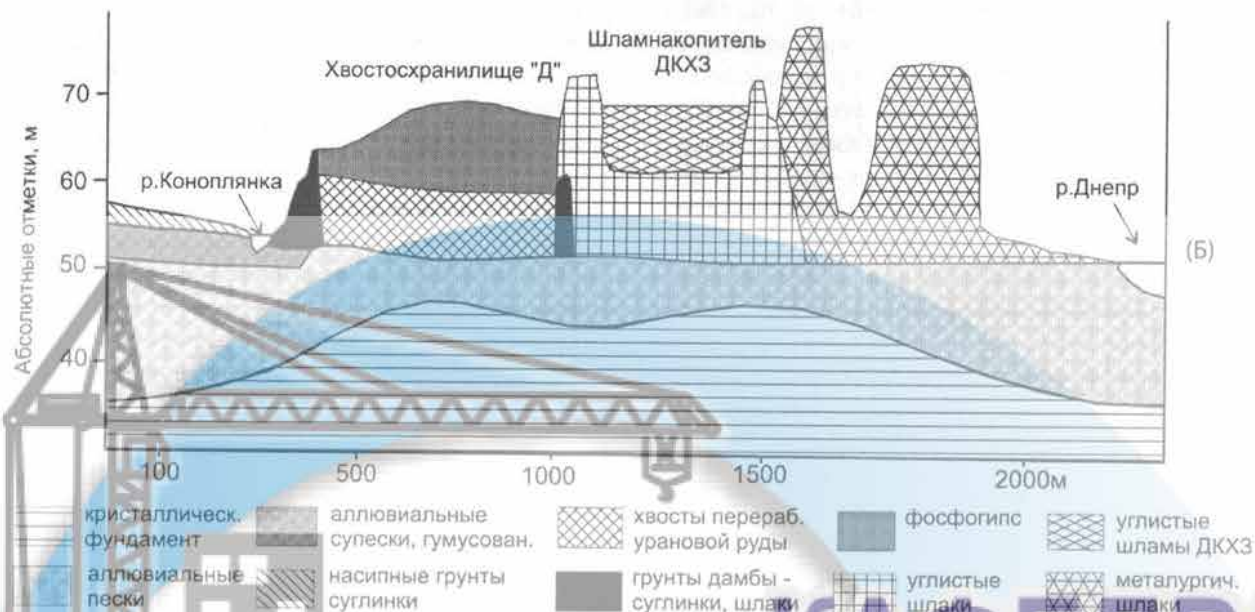


Рисунок 1.2 - Карта (А) і геологічний розріз (Б) території промайданчика ПХЗ

Докембрійські породи представлені здебільшого гнейсами та гранітогнейсами, які фрагментарно вкриті кіркою, утвореною вивітрюванням гравію та глини, та мантією з осадових відкладень палеогену, неогену та четвертинного палеозойсько-кайнозойського періоду.

Кристалічні породи мають нерівну поверхню і залягають на глибині кількох метрів у заплаві р. Дніпро та в днищах великих ярів до глибини 180 м і більше на ділянках внутрішнього плато (із зануренням у східному напрямку). Скельна основа на самому плато вкрита гравійною або каоліновою кіркою товщиною 0-50 м. Кристалічні породи присутні по всій ділянці.

Палеогенові відклади представлені пісками, що чергуються з глинами, мергелями, пісковиками та алевритами загальною потужністю до 100 м. Вони поширені в низинах кристалічної основи плато. Відклади неогену представлені майже повсюдно. Вони представлені глинами з прошарками мергелів, вапняків і піску сарматського періоду з прошарками глини та пісковіку полтавського складу. Відклади четвертинного періоду складають верхню частину геологічного розрізу загальною потужністю кілька метрів у заплавах і на ділянках dna великих балок до 180 м на ділянках внутрішнього плато. Нижня частина товщі утворена червоно-бурими глинами і вапняковими відкладами

раннього четвертинного періоду потужністю від 0,3 до 30 м, які характерні для плато, схилів і змиті на дно ярів і долин. Верхня частина психологічної товщі складається з вапнякових відкладень і середнього до пізнього четвертинного періоду, який простягається до 40 ст.

За даними Державної служби геології та надр України, на досліджуваній території спостерігається поширення та активізація екзогенних геологічних процесів. Загальна кількість зсувів та зсувних ділянок у межах міста – 22. Ділянка правого схилу долини р. Дніпро в межах басейнів річок Омельник, Домоткань та Самоткань (територія Верхньодніпровського, частково П'ятихатського та Криничанського районів) характеризується численними зсувами на схилах малих річок, балок і ярів, а також на узбережжі Кам'янського водосховища. Вони взаємопов'язані з активною яружно-балковою ерозією постійних і тимчасових водотоків (селі, зсуви-потоки), а також з інтенсивною абразійною діяльністю хвиль Дніпродзержинського водосховища (зсуви-обвали). Кам'янське активний зсувний осередок знаходиться на правому схилі балки Шамишина (мкр. Черемушки, вул. Оніщенка, Скалика, Цюлковського) в центральній частині міста. Небезпечними для інженерних споруд та життя людей залишаються зсувні ділянки, розташовані в балках м. Кам'янське.

Відповідно до положень Державних будівельних норм України В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України», сейсмічність м. Кам'янське (для середніх ґрунтових умов) становить 6 балів за шкалою MSK-64. Сейсмічність регіону залежить від Кримсько-Чорноморської та Азово-Південної сейсмоактивних зон і зони Вранча в Румунії.

1.3 Поверхневі водотоки

Біля Кам'янського з північного заходу на південний схід тече річка Дніпро. В районі ділянки ПХЗ має середню ширину 450-600 м і глибину 5-8 м. Русло річки розділене на кілька рукавів піщаними острівцями. Річка Дніпро використовується для питного водопостачання, судноплавства, зрошення, рибальства та рекреаційних цілей.

Швидкість течії річки Дніпро у квітні та травні становить 0,7-0,8 м/с, а влітку та восени коливається від 0,25 до 0,3 м/с, середня швидкість 0,5 м/с. Максимальний рівень води в р. Дніпро біля майданчика ПХЗ під час повені 1% повторності становить 56,58 м БС, максимальна витрата води 1% повторності – 15,7 тис.м³/с.

Річка Коноплянка протікає від 0,6 до 1,0 км на північ від майданчика ПХЗ і від 50 до 100 м на північний захід від Дніпровського хвостосховища. Характеристика басейну річки Коноплянка: площа басейну 32,2 км², довжина 13,6 км. Басейн охоплює як промислові, так житлові райони міста. У річку Коноплянка потрапляють неочищені промислові стічні води, а також зливові стоки з дренажних колекторів, у тому числі з проммайданчика ПХЗ.

Русло біля гирла проходить вздовж Дніпровського хвостосховища штучним руслом. Ширина річки в середньому від 8 до 10 м; її глибина – від 0,2 до 0,8 м, швидкість течії – від 0,1 до 0,2 м/с. Рівень води в річці Коноплянка залежить від рівня води в річці Дніпро. Максимальний рівень під час весняної повені 55,0 м БС, мінімальний рівень становить 51,1 м Б.С.

1.4 Підземні води

Гідрогеологічні умови досліджуваної території характеризуються наявністю водоносних горизонтів у «техногенних» відкладеннях (матеріали хвостосховищ), у четвертинних алювіальних і лесових відкладах, неогенових, палеогенових і докембрійських породах.

Водоносний горизонт в техногенних родовищах формується в хвостосховищах (в товщі хвостових матеріалів). Водоносні горизонти - це відходи уранової руди, вуглець і шлам. Для них характерне переважання пилювато-глинистих фракцій з гідрофільними властивостями, що сприяє водонасиченості таких родовищ. Зокрема, водоносний горизонт техногенних відкладів присутній у Західному, Дніпровському та Сухачівському хвостосховищах (діл. 1 та 2). Водоносні горизонти живляться за рахунок інфільтрації атмосферних опадів.

Водоносний горизонт в алювіальних відкладах представлений в межах заплави та тераси р. Дніпро. Водоносні горизонти складаються з пісків із змінним гранулометричним складом (мул до гравію), мулистих суглинків і супісків. У межах 2-ї підзаплавної тераси нижня частина представлена суглинками та супіщано-глинистими ґрунтами над піщаним руслом. Потужність водоносних горизонтів коливається від 2 до понад 20 м. Розподіл рівнів ґрунтових вод і напрямок потоку в алювіальних водоносних горизонтах за результатами моделювання стоку показано на рис. 3.1.

Гідропровідність водоносних горизонтів коливається в широких межах і становить: для суглинків – 0,01 м/добу; для супісків – 0,1-0,7 м/добу; для піску – 1-2 м/добу; для дрібнозернистого та дрібного гравію – 1,0-27,0 м/добу.

Живлення у водоносному горизонті відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і надходження підземних вод з техногенного водоносного горизонту вище. Діапазон швидкості інфільтрації у водоносний горизонт оцінюється від 15-25 мм/рік (для ділянок на схилі плато) до 50-100 мм/рік на терасах і ділянках заплави Дніпра. Скидання підземних вод відбувається в

річки Коноплянку та Дніпро, а також у водоносний горизонт у тріщинуватих кристалічних породах, що знаходяться нижче.

Водоносний горизонт у лісових відкладеннях є першим від поверхні в межах плато та схилів басейну р. Дніпро. Цей водоносний горизонт складений відкладеннями суглинків і лесів нижнього і верхнього четвертинного віку, які залягають над неогеновими водотривкими верхньонеогеновими і нижньочетвертинними глинами.

Водоносний горизонт безнапірний. Середня вологопровідність водоносних горизонтів 0,05-0,1 м/добу. Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. Підземні води з водоносного горизонту скидаються в четвертинні алювіальні та/або неогенові відкладення, які залягають нижче.

Водоносний горизонт неогенових відкладів у відкладах полтавської неогенової свити має регіональний розподіл. Водоносні горизонти — дрібнозернисті піски потужністю 7-10 м з прошарками пісковиків і вапняків потужністю від 0,5 до 3 м. Глибина рівня коливається від декількох метрів на дні ярів до 110 м на ділянках вододільного плато.

Середня вологість водоносних відкладень становить 6,5 м/добу. Доступ до водоносного горизонту здійснюється за рахунок дренажу підземних вод з лісового водоносного горизонту, інфільтрації атмосферних опадів і поверхневих вод на дні ярів, а також із хвостосховищ.

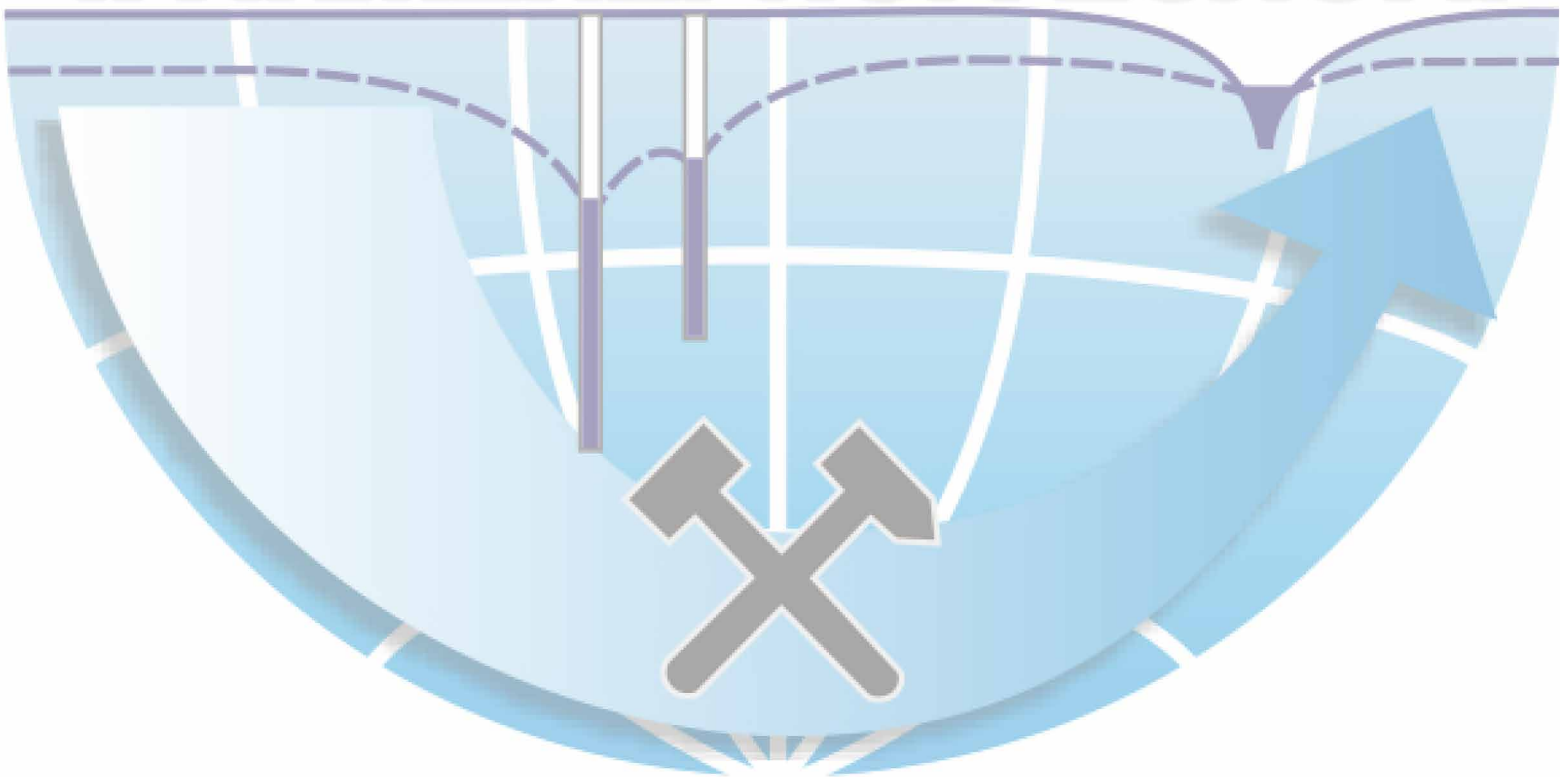
Водоносний горизонт у кристалічних породах докембрійського віку складається з вивітровоаної піщано-гравійної кори та тріщинуватих зон кристалічного фундаменту. Водоносний горизонт поширений повсюдно. Глибина водоносного горизонту коливається від кількох метрів у заплавах до 180 м у улоговинах. Водоносні горизонти — тріщинуваті граніти, гнейси, діорити, магматити. Потужність насиченої тріщинуватості становить 35-40 м. Водоносний горизонт частково утримується, частково не підтримується. Живлення відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і поверхневих вод, а також стоку з верхніх водоносних горизонтів. Кора

вивітрювання каоліну, яка є локальним водостійкістю, спорадично з'являється лише в підшві кристалічної основи і не перешкоджає тісному гідравлічному зв'язку між водоносними горизонтами четвертинних алювіальних і неогенових відкладів і водоносними горизонтами в кристалічних породах.

Гідравлічний зв'язок між водоносними горизонтами забезпечує безперервність рівнів тиску до першого від поверхні водоносного горизонту. Відтік підземних вод відбувається в заплавах річок Дніпро та Мокра Сура. Загальний режим рівнів, умови живлення і відходу водоносних горизонтів в алювіальних відкладах і кристалічних породах дозволяє об'єднати їх в єдину водоносну систему.

Хімічний склад підземних вод зони впливу ПХЗ характеризується надзвичайною просторовою мінливістю та перевищенням гранично допустимих концентрацій ряду макро- та мікрокомпонентів (зокрема радіонуклідів урану, торію та токсичних металів) по всій промисловій зоні, в тому числі нижче за течією зони від хвостосховищ.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



2. РОЗВІДКА ТА СУЧАСНИЙ СТАН РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА КАМ'ЯНСЬКЕ

Місто Кам'янське розташоване на обох берегах Кам'янського (колишнього Дніпродзержинського) водосховища в середній течії річки Дніпро, нижче дамби Середньодніпровської ГЕС. Основна частина міста розташована нижче за течією ГЕС. Площа міста становить близько 138 км². Протяжність міста: зі сходу на захід становить 22 км; з півночі на південь – 11 км. Населення станом на 1 лютого 2018 року, за даними ГУ статистики у Дніпропетровській області – 241 288 осіб. До недавнього часу промисловий комплекс міста охоплював 48 найбільших підприємств 10 різних галузей промисловості, в основному металургійної та хімічної, а також машинобудування, виробництва будівельних матеріалів, електроенергетики, деревообробної, харчової, текстильної, поліграфічної та інших галузей. Найбільшими промисловими підприємствами є: «Дніпровський металургійний завод», «Дніпроазот», «Дніпровагонмаш», «Баглейкокс» і «Дніпровський коксохімічний завод».

Колишнє виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ) було одним з перших найбільших підприємств колишнього СРСР з переробки уранової руди. Завод було побудовано в 1947 р. у промисловій частині м. Кам'янське Дніпропетровської області, в безпосередній близькості від житлових кварталів (12 км). Ця територія відноситься до технічно навантажених – з півдня прилягає «Дніпроазот», з півночі – відвали шлаків від інших заводів міста.

Основним видом діяльності на виробничому об'єднанні «Придніпровський хімічний завод» (м. Дніпродзержинськ, з 2016 р., м. Кам'янське) з 1949 по 1991 рік була переробка уранової сировини з метою отримання концентрату природного урану для використання у військово-промисловому комплексі колишній СРСР. Через розпад Радянського Союзу та подальших процесів децентралізації, «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ)

припинив роботу без дотримання вимог щодо ліквідації, консервації або перетворення його як уранового об'єкта. Також тут був розташований комплекс супутніх хімічних підприємств, що виробляли рідкісноземельні елементи, цирконій і гафній, йонообмінні смоли, а із технологічних розчинів - азот і фосфоровмісні мінеральні добрива тощо.

В умовах неплатоспроможності ВО ПХЗ запроваджено процедуру реструктуризації заводу. Це відбувалося на тлі його банкрутства з подальшою приватизацією окремих об'єктів та їх комерціалізацією. На окремих радіаційно забруднених територіях та в колишніх цехах заводу впроваджувалась різна господарська діяльність, нетипова для уранового об'єкта, а виробнича чи комерційна діяльність здійснювалася без дотримання основних вимог радіаційної безпеки. Виведення з експлуатації основних об'єктів колишнього уранового циклу шляхом демонтажу найціннішого обладнання та дезактивації окремих будівель і територій було здебільшого мотивоване економічними інтересами без урахування дотримання вимог радіаційної безпеки працівників та навколишнього середовища.

Крім того, були створені окремі державні підприємства, такі як «Цирконій», «Смоли», «Амофос», «Нітрофос». Дотримання вимог радіаційної безпеки працівників та навколишнього середовища на цих підприємствах покладено на органи їхнього управління.

У 2000 році було створено спеціалізоване державне підприємство «Бар'єр» для забезпечення безпеки діяльності на території та об'єктах колишнього ВО РСР. За цією компанією були закріплені такі уранові об'єкти, як 5 хвостосховищ з відходами переробки уранової руди та деякі найбільш забруднені виробничі будівлі (цехи), які використовуються у ланцюжку виробництва урану.

Колишнє виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод» розташоване в промисловій зоні міста Кам'янське (до серпня 2016 року – Дніпродзержинськ). Це місто районного значення Дніпропетровської області,

адміністративний центр Кам'янської міської ради, до складу якої входять, зокрема, смт Карнаухівка та село Світле.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

2.1 Уранові хвостосховища ПХЗ

Колишній ПХЗ складається з 2 промислових майданчиків. Основним промисловим майданчиком є Кам'янське (Дніпродзержинське). Безпосередньо на цій ділянці були розташовані підприємства з переробки урану та відповідні об'єкти хімічного перерозподілу. Друга – Сухачівська ділянка, розташована на південний схід від міста, яка складається з двох уранових об'єктів: Сухачівського хвостосховища (секції 1 і 2) і колишнього родовища уранових руд, так званої Бази С.

Кам'янський промайданчик. Він розташований на східній околиці міста в промисловій зоні і займає площу близько 250 га. Ділянка розділена на північну та південну частини як функціонально, так і за рівнем радіаційного забруднення. У південній частині розташовані колишні цехи, будівлі та споруди, пов'язані з переробкою уранових руд. Забруднення території вкрай нерівномірне; найвищі рівні інтенсивності гамма-випромінювання зафіксовані поблизу основних технологічних корпусів (103, 104, 2Б) та хвостосховищ (Західне, Центральний Яр та Південно-Східне, розташованих у цій частині промислового майданчика).

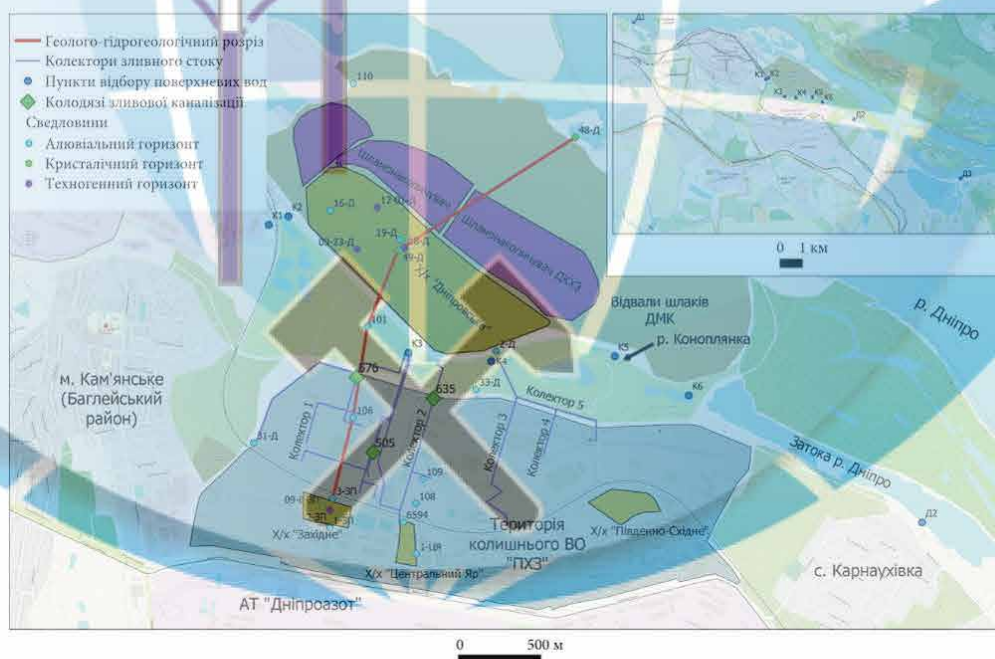


Рис. 1.3 Карта-схема промайданчика ПХЗ

Проммайданчик ПХЗ, де знаходяться хвостосховища «Західне» та «Центральний Яр», займає ділянку в межах правобережного плато, схилу, II тераси (південна частина майданчика) і I тераси (північна частина майданчика) р. Дніпро. Хвостосховище «Дніпровське» розташовано в заплаві р. Дніпро (див. рис. 1.3). В геологічній будові району розміщення ПХЗ задіяні кристалічні породи докембрію, які перекриті відкладами палеогену, неогену і четвертинної системи. На терасах біля Дніпра палеогенові та неогенові відклади є розмитими. Гідрогеологічні умови регіону досліджень характеризуються комплексом взаємопов'язаних водоносних горизонтів у «техногенних відкладах» (відходи уранових руд, переміщені насипні ґрунти), четвертинних відкладах (піски, супіски), неогенових відкладах (піски, супіски), палеогенових відкладах (піски, глини) і тріщинуватих докембрійських кристалічних породах з корою вивітрювання.

Найбільшу роль у латеральній міграції радіоактивних і хімічних забруднювачів від хвостосховищ у напрямку річок Коноплянка і Дніпро відіграє безнапірний водоносний горизонт у четвертинних алювіальних піщаних відкладах і верхній частині підстилаючих їх кристалічних порід (за даними експрес-наливів його коефіцієнт фільтрації було оцінено як 0,1 - 1 м/добу). У хвостосховищі «Західне» відходи переробки уранових руд знаходяться у частково водо-насиченому стані. Тут у хвостосховищі сформувався «техногенний» водоносний горизонт типу «верховодка». Відходи хвостосховища «Центральний Яр» знаходяться в ненасичених умовах. «Техногенний» горизонт у водонасиченому хвостовому матеріалі також розвинений на ділянці хвостосховища «Дніпровське», де похований хвостовий матеріал безпосередньо підстиляється водонасиченими четвертинними алювіальними відкладами заплави р. Дніпро. Техногенні горизонти в хвостовому матеріалі мають відносно низькі фільтраційні властивості ($K_f \approx 0,03$ м/добу).

2.1 Уранові хвостосховища ПХЗ

Хвостосховище «Західне» розташоване в південно-західній частині основного промислового майданчика колишнього ПХЗ, в межах II надзаплавної тераси р. Дніпро в відпрацьованому глиняному кар'єрі, відокремленому насипними ґрунтовими дамбами. Площа хвостосховища становить 40 тис. м². У початковий період воно містило уранові відходи з вмістом шлаку від переробки уранових руд у доменній печі. Протягом перших двох років роботи зневоднені відходи направлялися в хвостосховище по конвеєру з корпусу № 6. Починаючи з 1951 року відходи переробки уранової руди подавалися в хвостосховище у вигляді пульпи по трубопроводах. Після припинення його експлуатації у 1954 р. південно-східну частину хвостосховища вкрили шаром асфальту. У південно-західній частині хвостосховища збудовано гаражі та склади (наразі склади розібрано, гаражі частково зруйновані). Північну частину хвостосховища засипали органічним шаром ґрунту.

У 1953 році дамбу було зруйновано. Викинута радіоактивна пульпа заблокувала під'їзну залізничну гілку для вантажного транспорту, яка пролягає через промислову зону і розташована безпосередньо на схилі хвостосховища. Після цієї аварії та дезактиваційних робіт було прийнято рішення про закриття Західного хвостосховища та будівництво нового великого хвостосховища (Дніпровське) у заплаві річки Дніпро.

Навесні 2000 року хвости в північній частині хвостосховища були частково знищені (зіскоблені) мисливцями за металобрухтом, які шукали обладнання з нержавіючої сталі. Внаслідок кількох інтенсивних злив, що пройшли навесні-влітку 2000 року після виїмки металобрухту, забруднені стічні води відходів були скинуті в колектор стічних вод і далі в річку Коноплянка.

З метою ліквідації описаної вище надзвичайної ситуації інститутом УкрНДПРІпт розроблено проект рекультивації. Рекультиваційні роботи включали:

- будівництво підпірної стінки довжиною 240 м і висотою 1,2 м з бетонних блоків з північного боку хвостосховища;
- засипка виїмної території та ерозійних «ярів» поверхні хвостів суглинистим матеріалом;
- покриття північної частини хвостосховища багатошаровим ґрунтовим покривом, що складається із суглинків, доменного шламу та органічного шару ґрунту.

Одночасно безпосередньо біля хвостосховища облаштували мережу моніторингових свердловин підземних вод. Північна частина хвостосховища була покрита шаром ґрунту, південна частина — гравієм і шаром асфальту товщиною 0,1-1,0 м.

У 2002–2004 рр. укоси захисних дамб навколо хвостосховищ обрушилися через серію злив. У 2005 році були проведені роботи з відновлення, щоб пом'якшити наслідки аварії. Йдеться про засипку зруйнованої ділянки глинистим ґрунтом та укріплення укосів полімерним сітчастим геотехнічним матеріалом. Потім укріплені поверхні були покриті шаром органічного ґрунту та засіяні травою.

Виробнича діяльність (використання гаражів тощо) на хвостосховищі була припинена у 2005 році. Поверхня хвостосховища обладнана попереджувальними знаками, прохід працівників на територію заборонений, але хвостосховище не огорожено.

Загальний об'єм відходів, що зберігаються в хвостосховищі, становить 0,35 млн. м³, загальна маса – 0,77 млн. тонн, сумарна активність – 1,8·10¹⁴ Бк. Середній вміст урану²³⁸ в хвостах становить 1,7 кБк/кг, радію²²⁶ - 5,9 кБк/кг. Потужність шару хвостосховища змінюється від 1 до 12,5 м; їх загальний об'єм сягає 0,25 млн м³. У хімічному складі відходів присутні основні мінерали урановмісної сировини (кварц, польовий шпат, гідроксиди і каолінит), а також хімічні реагенти, що використовувалися для екстракції. Велика кількість заліза в хвостах пов'язана з обробкою доменних шлаків залізної руди. Перед складуванням відходи нейтралізувалися (з використанням вапна, аміаку та

ін.), в результаті чого в хвостовому матеріалі сформувалися лужні гідрохімічні умови (рН 8,5 -9,5).

Дані результатів гамма-зйомки поверхні хвостосховища «Західне» представлені на рис. 2.1. Більша частина площі хвостосховища характеризується значеннями дози гамма-випромінювання 0,1-0,3 мкЗв/год, що відповідає рівням радіації фон на ділянці РСР (які близькі до регіонального природного фону). Деякі гарячі точки з дозою гамма-випромінювання, близькою до 1,0 мкЗв/год, знаходяться на південно-східному краю хвостосховища, де територія покрита відносно тонким шаром асфальту.



Рисунок 2.1 - Карта розподілу інтенсивності гамма-випромінювання на поверхні хвостосховища Західне

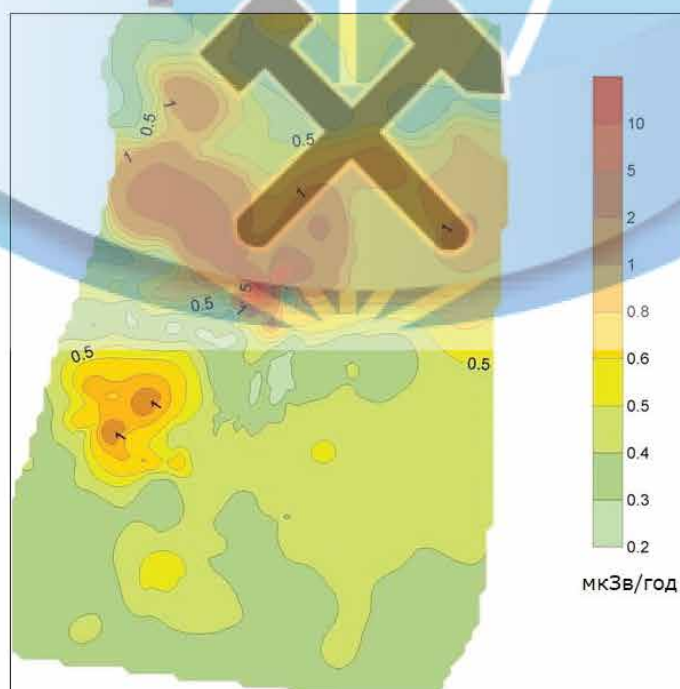
Хвостосховище «Центральний Яр» розташоване в центрі південної частини проммайданчика ПХЗ, де розташована більшість колишніх потужностей збагачення уранової руди та складів відходів, розміщено у межах колишнього яру, що перерізав II терасу і схил вододільного плато р. Дніпро, який було перегороджено дамбою. Експлуатувалося з 1950 по 1954 р. Після засипання відходів поверхню хвостосховища засипали лісовими та суглинними ґрунтами та будівельним сміттям (загальна потужність – від 0,5 до 3,5 м). Пізніше територію перетворили на паркову зону проммайданчика ПХЗ (безпосередньо примикали кафетерій і поліклініка). Службова дорога з

асфальтобетонним покриттям та технологічною естакадою (колишній трубопровід) перетинає хвостосховище та ділить його на дві частини.

Хвостосховище займає площу 24 тис. м² і містить 130 тис. м³ відходів. Потужність товщі хвостів змінюється від 1-2 до 17,4 м, в середньому 8,0 м. Поверхня відходів перекрита шаром насипних ґрунтів (суглинки, супіски) товщиною 0,5 - 3,5 м. Середній вміст урану²³⁸ в хвостах становить 2.8 кБк/кг, радію²²⁶ - 60 кБк/кг. Особливістю хвостосховища є дуже кисла реакція похованого матеріалу (рН 2,5 - 4,0) у межах частини його тіла. Це може бути зумовлене тим, що хвости кислотної екстракції урану складувалися в хвостосховище без належної нейтралізації.

Знешкодження відходів переробки здійснювалось методом сухого та гідравлічного засипання. Висота поверхні верхнього шару відходів хвостосховища коливається від +56,3 до +62,2 м (середнє значення 61,0 м BS). Товщина шару відходів коливається від 1-2 до 17,4 м (8,0 м в середньому). Склад відходів досить різноманітний: це відходи переробки уранових руд (від суглинків до піщаних матеріалів), а також промислові, будівельні та побутові відходи (наприклад, цегла, деревина, метал та ін.). Поверхня відходів покрита шаром насипного нерадіоактивного ґрунту (суглинків і супісків з включеннями будівельного сміття) товщиною від 0,5 до 3,5 м. 226 (середнє становить 53 Бк/год при нормі 1 Бк/год). Тіло хвостосховища характеризується значним розкидом питомої активності накопичених матеріалів по глибині.

Дані гамма-випромінювання поверхні хвостосховища Центрального Яру



наведені на рис. 2.2. Частина площі хвостосховища характеризується значенням GRI 0,1-0,3 мкЗв/год, що відповідає рівням радіаційного фону на майданчику ПХЗ. Проте в центральній і північній частинах майданчика є низка гарячих точок, де інтенсивність гамма-випромінювання досягає 30-50 мкЗв/год. Концентрація радону в повітрі над хвостосховищами коливається від 70 до 620 Бк/м³, а середня концентрація становить близько 220-260 Бк/м³. Сезонні вимірювання часто змінюються 2-3 рази.

Рисунок 2.2 - Карта розподілу інтенсивності гамма-випромінювання на поверхні хвостосховища Центральний яр

Дані моніторингу токсичних металів у підземних водах свідчать про перевищення ГДК марганцю та свинцю в питній воді хвостосховищ, а також нерідке перевищення ГДК нікелю.

Південно-Східне хвостосховище розташоване в південно-східній частині промислового майданчика ПХЗ на великій рівнині, яка пронизує Дніпровську терасу з півдня на північ. Інші виробничі будівлі ПХЗ розташовані поряд з хвостосховищем. Хвостосховище експлуатувалося з 1956 по 1990 рік і після закінчення експлуатації було зупинено. Площа полігону складає 3,6 га, об'єм відходів оцінюється у 195 тис. м³; маса відходів – 330 тис. тонн; загальна активність відходів оцінюється в $6,7 \cdot 10^{13}$ Бк. Склад відходів досить неоднорідний і містить і те, і інші радіоактивні та нерадіоактивні матеріали – подрібнені відходи переробки уранових руд, металобрухт, будівельне сміття, промислові відходи тощо, змішані з суглинистим насипним ґрунтом. Середня щільність відходів становить 1,69 т/м³, товщина шару відходів від 1 до 19,2 м.

Радіоактивність відходів коливається в широких межах: середня питома активність U-238 і Ra-226 становить 2,1 кБк/кг і 3,6 кБк/кг відповідно; максимальні питомі активності U-238 і Ra-226 досягають 16,3 кБк/кг і 236,5 кБк/кг відповідно.

У 2009 році в рамках державної програми проведено роботи з консервації хвостосховищ шляхом улаштування багат шарового ґрунтового покриву. Хвости були покриті технічним покриттям, що складалося з шару шлаку чавуну, шарів суглинку та органічного ґрунту загальною товщиною від 0,5 до 1 м. На завершення на поверхню ґрунтового покриву висадили багаторічні трави. Вздовж північно-східної частини ґрунтового покриву влаштовано дренажну канаву для збору поверхневого стоку.

У межах хвостосховища (західна сторона) знаходиться майданчик для тимчасового зберігання демонтованих забруднених трубопроводів, контейнерів, а також іншого радіоактивного металобрухту та обладнання колишніх уранопереробних підприємств. Розібрані і фрагментовані трубопроводи укладаються в штабелі прямокутної форми, які зверху і по периметру закриваються металевими листами. Завдяки влаштуванню зазначеного покриття певним чином забезпечується ізоляція забрудненого матеріалу від впливу атмосферних опадів.

У 2005 році в рамках реалізації Державної програми, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 26 листопада 2003 року № 1846, проведено демонтаж технологічних трубопроводів від шляхопроводів, що з'єднують технологічні корпуси 103, 104 та 2Б. Роботи проводились за проектом «Демонтаж та організація тимчасового зберігання забруднених природними радіонуклідами технологічних трубопроводів ДП «Бар'єр» м. Дніпродзержинськ. Загалом під час робіт демонтовано близько 6000 погонних метрів забруднених трубопроводів, ГРІ на поверхні яких коливався від 1,5 до 254 мкЗв/год. За майже 15 років захисне покриття сховища зазнало корозії та деградації. Одним із кроків реабілітації ПХЗ є ліквідація цього об'єкта та забезпечення тривалого безпечного зберігання складованих матеріалів.

До закриття хвостів технічним ґрунтовим покривом інтенсивність гамма-випромінювання на поверхні хвостосховища коливалася від 0,30 до понад 30 мкЗв/год з численними радіоактивними гарячими точками (рис. 2.3). Після встановлення ґрунтового покриву у 2009 році інтенсивність гамма-випромінювання на поверхні хвостосховища знизилася до 0,2-0,3 мкЗв/год.

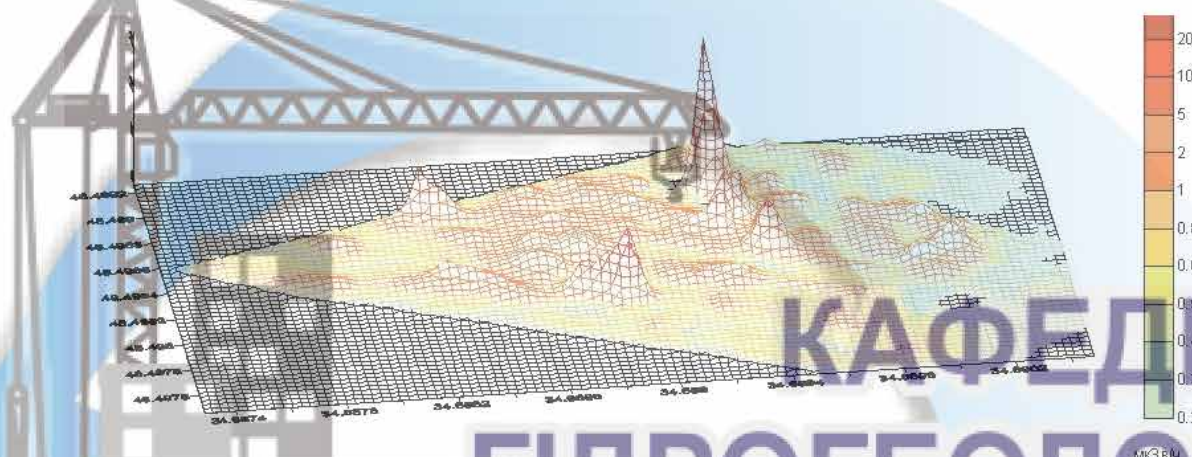


Рисунок - 2.3 Діаграма розподілу інтенсивності гамма-випромінювання (мкЗв/год) на поверхні Південно-Східного хвостосховища до влаштування технічного ґрунтового покриву.

Зараз на Південно-Західному хвостосховищі немає належної системи моніторингу підземних вод, а мережа моніторингу потрібна. Аналіз та порівняння хімічного складу підземних вод у свердловинах вище та нижче за течією не показує доказів того, що хвости є джерелом надходження хімічних речовин (основних іонів, токсичних металів) у підземні води. Малий винос радіонуклідів з хвостосховища в ненасичену зону та підземні води пов'язаний з тим, що відходи захоронювалися в хвостосховищі в сухому стані (а не гідравлічним способом – засипанням шламом). Велика товщина ненасиченої зони, що складається з глинистих лісових ґрунтів у поєднанні з відносно низькою природною швидкістю інфільтрації (~50 мм/рік), створює сорбційний бар'єр для перенесення радіонуклідів і токсичних хімікатів у ґрунтові води.

2.2 Дніпровське хвостосховище

До об'єктів інфраструктури Кам'янського проммайданчика також входить Дніпровське хвостосховище, розташоване за 0,8-1,2 км на північ від проммайданчика ПХЗ розташоване в заплаві відстійного басейну р. Дніпро. Площа хвостосховища 73 га. Річка Коноплянка протікає за 0,6–1,0 км на північ від майданчика ПХЗ та за 50–100 м на північний захід від Дніпровського хвостосховища. Річка Коноплянка впадає в річку Дніпро нижче за течією ПХЗ. На північ від Дніпровського хвостосховища знаходяться шламонакопичувачі ПАТ «Дніпрококсхім». Металургійні шламонакопичувачі та відвали ДМК розташовані на схід від хвостосховища.

Хвостосховище «Дніпровське» експлуатувалося з 1953 по 1968 р., було побудовано шляхом спорудження замкненого контуру захисних дамб. Їх протяжність сягає близько 4 км, площа хвостосховища - 0,73 км². Тіло дамби складається з неоднорідних матеріалів коксохімічних відходів, будівельного сміття, а також місцевих дрібнозернистих пісків, лісових і піщано-глинистих ґрунтів. Дамба і дно хвостосховища не були обладнані ізоляційним (непроникним) шаром. Абсолютна висота дамби на початку експлуатації (до 1959 р.) становила 57,45 м. Пізніше висота дамби була збільшена до 61,3-64,2 м. Висота дамби над заплавою коливається від 6 до 12 м; ширина дамби по хребту коливається від 5 до 35 м; ширина основи дамби 80м. По хребту дамби йде дорога з бетонним покриттям.

Утилізація відходів хвостосховища здійснювалася гідронаповнювачем. Характеризується дуже строкатим складом хвостового матеріалу, оскільки протягом тривалого періоду свого функціонування воно акумулювало різнорідні залишки екстракції уранової сировини за різними технологічними схемами, зокрема так звані «гіпсові кеки» - гіпс, що утворився внаслідок переробки уранфосфатної сировини з Казахстану (цех № 22).

Загальний об'єм накопичених відходів становить 5,8 млн. м³, загальна маса – 12,7 млн. тонн, сумарна активність – $1,4 \cdot 10^{15}$ Бк. Хвостовий матеріал

здебільшого характеризується лужними умовами (рН 6 - 7,8). Середній вміст урану²³⁸ в хвостах становить 1,7 кБк/кг, радію²²⁶ - 24,7 кБк/кг. Поверхня хвостосховища перекрита потужним шаром фосфогіпсу (від 0,5 до 13,5 м), який утворився в результаті складування відходів виробництва фосфорних добрив. У північнозахідній частині на поверхні хвостосховища заскладовані вуглисті шлаки ДКХЗ.

Після припинення захоронення відходів переробки уранових руд хвостосховище в 1976-1980 роках використовувалося для зберігання фосфогіпсу (відходи виробництва фосфорних добрив) і відходи коксохімічного виробництва (вугільні шлаки). Більша частина хвостосховища вкрита шаром фосфогіпсу різної потужності від 0,5-2,5 м (північно-західна частина) до 8-13 м (центральна та східна частини). Відвали вугільних шлаків покривають поверхню хвостосховища на півночі, північному сході. Ці шари покриття запобігають виділенню радону-222 і повторному суспендуванню радіоактивних аерозолів з поверхні хвостосховищ. Шари відходів не вирівняні. Поверхневий (дощовий) стік не обладнаний.

Товщина шару відходів (уранових хвостів) становить від 6 до 10 м (в середньому 8 м). Хвости розташовуються безпосередньо на поверхні алювіальних пісків і піщано-глинистих ґрунтів, не маючи захисного екрану. Середня щільність хвостового матеріалу 1,76 г/см³; пористість – 56%. Хімічний склад відходів визначається мінеральним складом руди (кварц, польовий шпат, гідрослюда, каолінит) у поєднанні з реагентами та продуктами нейтралізації (сірчана та азотна кислоти, вапно). Тіло хвостосховища характеризується значною мінливістю радіоактивності розміщених матеріалів. Це можна пояснити тим, що колишній ПХЗ в різний час переробляв уранові руди, що надходили з різних шахт, з різним вмістом урану та дочірніх радіонуклідів.

Значна площа хвостосховища, покритого фосфогіпсом, характеризується значеннями GRI 0,1-0,4 мкЗв/год, що відповідає фоновим рівням на майданчику ПХЗ. У північно-західній частині хвостосховища (не вкритій фосфогіпсом) наявні локальні гарячі точки, де GRI зростає до 0,5–4,5 мкЗв/год.

Дані щодо вмісту радіонуклідів у повітрі в атмосферних аерозолях Дніпровського хвостосховища свідчать про те, що їх концентрації на кілька порядків нижчі за допустимі рівні та близькі до регіональних фонових значень. Наприклад, валові концентрації U-238 і Ra-226 становили відповідно $0,004 \pm 0,003$ і $0,005 \pm 0,003$ МБк/м³ у 2010 р. відповідно.

Забруднення ґрунтових вод

Дослідження моніторингу підземних вод на Дніпровському хвостосховищі виявили значне забруднення підземних вод в районі хвостосховища радіонуклідами та отрутохімікатами.

Радіонукліди урану мають найбільшу рухливість у підземних водах порівняно з іншими радіонуклідами. Концентрація урану в техногенному водоносному горизонті в 2001–2003 рр. становила в середньому 5–40 Бк/л, а максимальна концентрація досягала 325 Бк/л. Для порівняння, допустима концентрація ізотопів урану в питній воді згідно з українськими стандартами (ДРСУ-97) обмежена 10 Бк/л. Концентрація урану в алювіальних водоносних горизонтах у 2001–2006 рр. спостерігалася на рівні 20 Бк/л.

Під хвостосховищами в алювіальному водоносному горизонті внаслідок процесу геоміграції утворилася ділянка забруднених відкладень підстильного ґрунту потужністю 2–3 м. Відповідно до інвентаризації, радіоактивність у забруднених відкладеннях становила ≈ 18 –20% урану в 2000–2001 рр. і $\approx 32\%$ початкового запасу Ra-226 у вихідній зоні (хвостохранилища).

Крім радіоактивного забруднення на території Дніпровського хвостосховища спостерігається забруднення підземних вод хімічними речовинами (як макроіонами, так і токсичними металами).

Підземні води техногенних та алювіальних водоносних горизонтів забруднені нітратами, хлором, сульфатами, залізом, натрієм та аміаком зі значними перевищеннями гранично допустимих концентрацій у питній воді. Загалом Дніпровське хвостосховище характеризується дуже складною

геохімією підземних вод через історичні зміни хімічного складу потоків відходів, а також через вплив суміжних сховищ промислових відходів.

Дані моніторингу підземних вод на токсичні метали показують, що концентрації марганцю, нікелю, свинцю, кобальту, миш'яку, берилію тощо у хвостосховищі часто перевищують ГДК для питної води. Також перевищено ГДК кадмію та заліза в підземних водах.



КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

The background features a stylized globe with a grid. Overlaid on the globe are several symbols: a crane, a multi-story building, a large blue arrow pointing right, and a crossed hammer and pickaxe. The text 'КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ' is written in a bold, blue, sans-serif font across the middle of the globe.

3. МОНІТОРИНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НА ТЕРИТОРІЯХ РАДІОАКТИВНИХ ХВОСТОСХОВИЩ В МІСТІ КАМ'ЯНСЬКЕ

Для аналізу гідрогеологічних умов у зоні проммайданчика ПХЗ і хвостосховища «Дніпровське» була використана розроблена в ІГН НАН України геофільтраційна модель ділянки ПХЗ на основі програми Visual Modflow 3.0 (рис. 3.1). Для інтерпретації даних гідрохімічного моніторингу використовувалося моделювання за допомогою програми PHREEQC. Фільтраційна модель ПХЗ була відкалібрована згідно з даними про середні значення рівнів підземних вод у спостережних свердловинах станом на 2012—2013 рр.

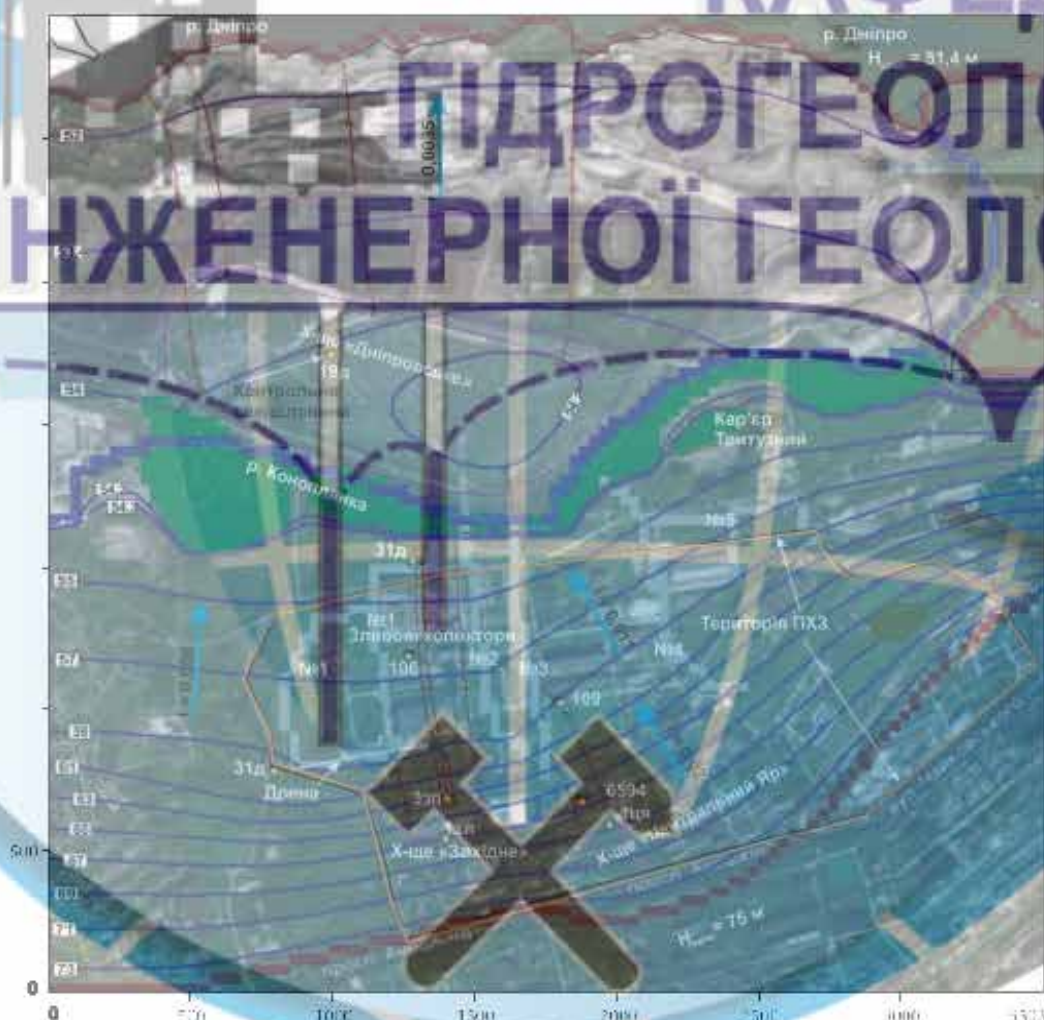


Рисунок 3.1. Розподіл рівнів підземних вод у водоносному горизонті в алювіальних відкладах (сині лінії) і стрічки току (коричневі лінії) на ділянці ПХЗ і хвостосховища «Дніпровське»

Згідно з моделюванням, підземні води від хвостосховища «Західне» частково розвантажуються до зливового колектору № 1 і далі до р. Коноплянка. Час надходження води від хвостосховища до колектору таким шляхом оцінюється в 6—7 років. Для порівняння, прогнозний час фільтрації води від хвостосховища до р. Коноплянка у водоносному горизонті сягає близько 20 років.

Від хвостосховища «Центральний Яр» підземні води надходять в зливовий колектор № 3; при цьому прогнозний час надходження води в р. Коноплянка становить 12—20 років.

Підземні води від хвостосховища «Дніпровське» (південно-східна ділянка) частково розвантажуються в р. Коноплянка, їх прогнозний час фільтрації сягає 4—6 років. З решти території хвостосховища (північна і західна частини) підземні води прямують до р. Дніпро. Прогнозний час фільтрації від меж хвостосховища до р. Дніпро становить для різних стрічок току 35—110 років.

Загальні витрати підземних вод у р. Коноплянка (без урахування стоку дренажних вод колекторів) на моделі оцінюються в $1470 \text{ м}^3/\text{добу}$ (близько 90 % стоку надходить з боку проммайdanчика ПХЗ, близько 10 % — з боку хвостосховища «Дніпровське»). Витрати дренажних вод оцінюються в $450 \text{ м}^3/\text{добу}$. Витрати підземних вод у р. Дніпро оцінюються в $1780 \text{ м}^3/\text{добу}$.

3.1 Забруднення підземних вод основними іонами

Дані визначення макроіонного складу підземних вод представлені в табл.

3.1. Зокрема, дані моніторингу показують, що вся стрічка току від хвостосховища «Західне» до р. Коноплянка забруднена іонами сульфату (1700—2200 мг/л при ГДК 500 мг/л) та магнієм (200—480 мг/л при ГДК 80 мг/л). Концентрації іонів кальцію, натрію та нітратів різко спадають після св. 3зп (що знаходиться в зоні безпосереднього впливу хвостосховища), але залишаються високими (тобто перевищують значення ГДК для питної води) вздовж всієї стрічки току. В свердловинах, в яких редокс-умови є відновними (св. 09-6зп та 2зп), спостерігається значне перевищення ГДК для нітритів та амонію. На ділянці хвостосховища «Центральний Яр» вздовж усієї стрічки току підземних вод у напрямку р. Коноплянка наявне сильне забруднення амонієм (15—250 мг/л при ГДК 0,5 мг/л) та нітратом (900—4250 при ГДК 50 мг/л), іонами кальцію, магнію. Забруднення сульфатами також відбувається, але різко спадає після св. 109. Хвостосховище «Дніпровське» також забруднює ґрунтові води іонами натрію, кальцію, магнію та сульфатами, а в місцях, де редокс-умови є відновними, нітритами та амонієм, в деяких місцях хлорид-іоном. Вивчити міграцію цих елементів вздовж стрічок току ґрунтових вод від цього хвостосховища до річкової мережі на даний час неможливо за браком адекватної системи спостережних свердловин.

Табл. 3.1. Концентрації основних іонів у зразках підземних вод у зоні

впливу хвостосховищ ПХЗ

№ свердловини	Вод. горизонт	Дата	рН	Еh	Мінералізація, мг/л	Катіони, мг/л				
						Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
<i>Хвостосховище «Дніпровське»</i>										
31д	ал	09.2013	6,75		1899,3	190	50	155,3	133,7	1,6
110	ал	11.2012	7,1		2180	228	20	253	112	30
16д	т	09.2013	6,7	-10	3129,3	120	10	350,7	243,2	100
9-23д	т	09.2013	7,15	25	12692,6	953		350,7	1276,8	500
12-01д	т	09.2013	7,6	-55	8526,0	544,7		460,9	966,7	100
18д	т	09.2013	7,25	-168	11629,8	475	45	450,9	547,2	187,5
19д	ал	09.2013	6,8	90	14473,3	1828,5		470,9	915,0	750
48д	кр	11.2012	7,1		5420	350	10	810	205	80
49д	кр	11.2012	5,85	28	15943	2300,7		450,9	912	1000
2д	ал	09.2013	7,65	-195	5574	350	26	100,2	547,2	375
36д	ал	11.2012	7,0		2134	95	15	368	55,2	3
<i>Хвостосховище «Західне»</i>										
1зп	ал.	07.2013	7,1	70	1813,7	140	2	130,3	133,7	0,1
2зп	т	07.2013	8,5	-33	53476	20317,1		35,1	200,6	30
3зп	ал	07.2013	6,9	130	15332,6	3040,1		626,3	456,0	0,1
09-06зп	ал	07.2013	7,4	-67	4682	575		230,4	346,5	12
106	ал	07.2013	7,15	242	2845,7	355		210,4	152	0,1
101	ал.	07.2013	6,85	14	4998,7	525	10	501	285,8	0,1
<i>Хвостосховище «Центральний яр»</i>										
1пя	ал	11.2012	6,75		1586,4	120	10	150,3	48,6	150
6594	ал	11.2012	7,15		2871	190	10	60,1	359	60
108	ал	07.2013	7,2	-59	6952,4	120	12	681,4	529	250
109	ал	07.2013	7,35	-10	4863,5	140	6	601,2	425,6	3,5
33д	ал	07.2013	7,05	91	2480,5	110	55	260,5	176,3	15
ГДК**			6,5-8,5		1000	200	10	130	80	0,5

* Водоносний горизонт: ал — алювіальні відклади; т — техногенні відклади; кр — кристалічний фундамент.

** ДСанПин 224-171-10 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я № 505 (з1043-11))

3.2 Забруднення підземних вод радіонуклідами уранового ряду

Дані про радіоактивне забруднення підземних вод наведені в табл. 3.2. Серед радіоактивних елементів ряду розпаду урану²³⁸ висока мобільність в підземних водах притаманна насамперед ізотопам урану. Максимальна концентрація суми ізотопів урану (238, 234) у водоносному горизонті в техногенних відкладах сягала до 265 Бк/л у хвостосховищі «Західне» (св. 2зп) і до 318 Бк/л у «Дніпровському» (св. 9–23), що в сотні разів перевищує радіаційний показник безпечності питної води для суміші ізотопів урану 1 Бк/л. У водоносному горизонті в алювіальних відкладах максимальні активності суми ізотопів урану (238, 234) такі: в зоні впливу хвостосховища «Західне» - 797 Бк/л (св. 3зп), для «Центрального Яру» - 27,1 Бк/л (св. 108), для «Дніпровського» - 12,8 Бк/л (св. 12д). Для хвостосховища «Західне» простежується забруднення ізотопами урану з перевищенням ГДК всієї стрічки току підземних вод у напрямку р. Коноплянка. Ореол забруднення підземних вод ізотопами урану від хвостосховища «Центральний Яр» з перевищенням ГДК простежується до св. 109 на відстані до 270 м від хвостосховища.

Таблиця 3.2 Концентрації радіонуклідів та токсичних металів у зразках підземних вод у зоні впливу хвостосховищ ПХЗ (на 2012—2013 р.)

№ свердловини	Водоносний горизонт*	Дата	Радіонукліди, Бк·л ⁻¹ **					Токсичні метали, мг/л ***		
			²³⁸ U	²³⁴ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	Mn,	Pb	Ni
<i>Хвостосховище «Дніпровське»</i>										
31д	Ал	11.2012	0,47	0,66	0,06	0,020	0,005	0,07	0,1	0,010
16д	Ал	09.2013	1,05	1,37	0,16	0,125	0,085	12,1	0,85	0,02
9–23д	Т	09.2013	166	152	0,44	0,225	0,045	3,75	0,14	0,01
12–1д	Т	09.2013	35,0	35,8	0,92	1,130	1,060	5,8	0,11	0,01
18д	Т	09.2013	24,7	24,1	0,82	0,265	0,185	1,76	0,091	0,006
19д	Ал	11.2012	6,8	6,0	0,22	0,050	0,030	35,3	0,26	0,08
49д	Кр	09.2013	1,95	1,85	0,32	0,110	0,015	27,6	0,45	0,08
2д	Ал	09.2013	1,20	1,00	0,31	0,090	0,025	0,57	0,005	0,007
<i>Хвостосховище «Західне»</i>										
1зп	Ал	07.2013	0,34	0,36	0,11	0,140	0,004	0,07	<0,005	<0,005
2зп	Т	07.2013	135	130	4,95	1,100	0,003	0,005	<0,01	0,0015
09–06зп	Ал	07.2013	4,20	3,82	0,02	0,165	0,003	3,69	0,045	0,08
3–зп	Ал	07.2013	412	385	0,06	0,500	0,009	0,38	0,16	0,09
106	Ал	07.2013	0,95	0,91	0,05	0,130	0,003	1,2	0,014	0,013
101	Ал	07.2013	2,64	2,81	0,18	0,055	0,003	0,78	0,069	0,005
<i>Хвостосховище «Центральний Яр»</i>										
1ця	Ал	11.2012	0,14	0,15	0,01	0,035	0,007	0,05	<0,01	<0,001
6594	Ал	11.2012	2,44	2,51	0,11	0,045	0,003	0,19	<0,005	0,02
108	Ал	07.2013	13,5	13,6	0,01	0,060	0,006	1,37	0,05	0,015
109	Ал	07.2013	1,46	1,62	0,09	0,060	0,006	0,23	0,07	0,005
33д	Ал	07.2013	0,29	0,35	0,04	0,040	0,003	0,91	0,06	0,009
ГДК****			1,0 (по сумі ізотопів U)		1,00	0,500	0,200	0,05	0,01	0,02

* Водоносний горизонт: ал — алювіальні відклади; т — техногенні відклади; кр — кристалічний фундамент.

** Аналітична похибка визначення радіонуклідів становить 10–25 %.

*** Концентрації Cd і Co у всіх свердловинах нижче або на межі визначення (<0,003 мг/л для Cd; <0,005 мг/л для Co).

**** ДСанПин 224–171–10 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я № 505 (з1043–11) від 15.08.2011).

3.3 Гідрохімічні умови в водоносному горизонті

До основних факторів, які впливають на міграцію елементів-забруднювачів (радіонукліди, токсичні метали) у водоносному горизонті, належать гідрохімічний склад, рН та редокс-умови порових розчинів.

Аналіз гідрохімічних даних свідчить на користь того, що основне хімічне забруднення водоносного горизонту в алювіальних відкладах було сформовано ще за часи експлуатації хвостосховищ, коли вони приймали великі об'єми напіврідких відходів у вигляді пульпи. На теперішній час засолені водоносні горизонти поступово промиваються менш мінералізованими водами «фоновому» складу (переважно Ca-HCO^3), що зумовлює перебіг обмінних реакцій в системі «вода—порода». Проявом цього процесу, зокрема, є зміна типу води вздовж лінії току від хвостосховища «Західне» в напрямку р. Коноплянка в послідовності



В зоні впливу всіх досліджуваних хвостосховищ значення рН підземної води в алювіальному горизонті є близькими до нейтральних. Хоча відходам хвостосховища «Центральний Яр» здебільшого притаманні низькі («кислі») значення рН, але, вірогідно, у цьому випадку відбувається нейтралізація кислих порових розчинів з тіла хвостосховища за рахунок буферних властивостей лесових ґрунтів зони аерації потужністю 12 м, що відділяє хвостосховище від водоносного горизонту.

Високий вміст похованої органічної речовини у техногенних горизонтах хвостосховищ, про що свідчать високі концентрації розчиненого органічного вуглецю (наприклад, 46 мг/л у св. 2зп і 23,1 мг/л у св. 12–1д), зумовлює відновні редокс-умови (які визначаються редокс-рівновагою $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$), що фіксуються в підземних водах у техногенному та алювіальному горизонтах безпосередньо під хвостосховищами. Нижче за потоком підземних вод від хвостосховища умови змінюються на менш відновні (які визначаються редокс-

рівновагою N^{3-}/N^{5+}), і на такому редокс-бар'єрі можуть випадати різні окисні сполуки трьохвалентного заліза та алюмінію, про що свідчать їх позитивні індекси насичення. Процес утворення таких осадів може супроводжуватися співосадженням деяких іонів, наприклад кобальту і нікелю, а свіжеутворена поверхня окисних сполук заліза та алюмінію є ефективним сорбентом. При розвантаженні підземних вод у р. Коноплянка редокс-умови стають ще більш окисними (вони визначаються редокс-рівновагою O/O^{2-}), що, за нашими розрахунками, веде до окислення марганцю та його випадіння у вигляді окису.

Частина свердловин характеризується позитивними індексами насичення також і для карбонатних мінеральних сполук - кальциту, доломіту, арагоніту тощо. В процес осадження цих мінералів можуть залучатися, зокрема, іони кадмію (утворюючи так звані тверді розчини). Це може бути причиною низької мобільності кадмію в підземних водах ПХЗ.

Аналіз даних про хімічний склад води р. Коноплянка в точках К1—К5 (тобто за течією річки вздовж контуру розвантаження забруднених підземних вод з водозбору ПХЗ) показує, що проммайданчик ПХЗ і хвостосховище «Дніпровське» найбільше впливають на вміст у річковій воді кальцію, натрію, сульфату і на загальну мінералізацію. Найвираженішим є їх вплив на вміст сульфату (рис. 3.3, а). В межах водозбору ПХЗ концентрація цього іону в р. Коноплянка підвищується у 3—4 рази (до 340—350 мг/л). В багатьох зразках води спостерігається перевищення ГДК для нітритів та амонію, джерелом яких, зокрема, є води колекторів зливової каналізації № 2 та 3 (див. попередній розділ). Спостерігається тенденція до збільшення вмісту урану (рис. 3.3, б), але концентрація суми ізоотопів урану (238, 234) в воді р. Коноплянка не перевищувала ГДК — 1 Бк/л.

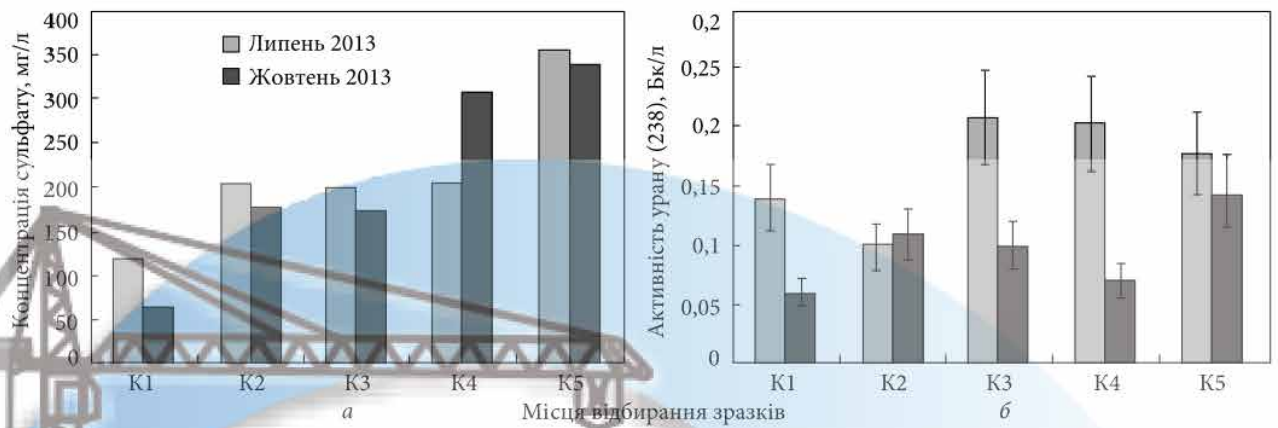


Рисунок 3.3 - Зміна концентрацій техногенних елементів (сульфат-іон, уран-238) в точках відбору вздовж русла р. Коноплянка

Моніторинг вмісту токсичних металів у воді р. Коноплянка показав перевищення ГДК тільки для марганцю та в двох випадках для свинцю. Концентрації кадмію, кобальту і нікелю в усіх зразках поверхневих вод були нижче або на межі визначення.

4. ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДНОЇ МІГРАЦІЇ З ХВОСТОСХОВИЩ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

4.1 Побудова математичної моделі міграції

Наявні дані для проведення розрахунків міграції, що були отримані за результатами бурових та геодезичних робіт на ділянці Дніпровського хвостосховища у 2022 р., зведені у табл. 4.1. За даними цих досліджень та попередніх вимірювань активності ґрунтів на території Дніпровського хвостосховища, радіоактивно забруднений шар знаходиться на рівні рівня ґрунтових вод або кілька метрів нижче. Тоді припустимо прийняти схему горизонтальної міграції з джерелом надходження речовин, що знаходиться безпосередньо у водоносному шарі, причому це джерело радіонуклідів практично повністю займає всю товщину зони насичення (схема на рис. 4.1).

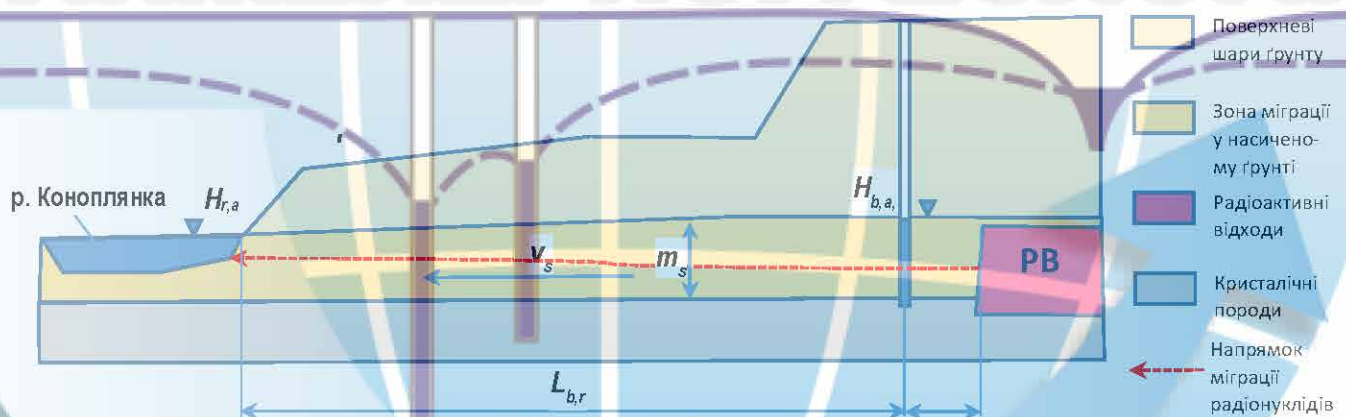


Рисунок. 4.1 - Схема до розрахунку міграції з хвостосховища до поверхневого водотоку

Період міграції радіонуклідів з відвалів через зону насичення водою визначається як:

$$t_m = \frac{L_{wst,r}}{v_m} = \frac{L_{wst,r}}{v_s/n_a}, \quad (4.1)$$

де $L_{wst,r}$ – відстань від контуру хвостосховища до р. Коноплянки, v_s – швидкість фільтрації для безнапірної течії підземних вод у шарі відходів, n_a – активна пористість.

Відстань між контуром хвостосховища та берегом р. Коноплянки оцінюється:

$$L_{wst,r} = L_{b,r} + L_{b,wst}, \quad (4.2)$$

де $L_{b,wst}$ – відстань між свердловинами та контуром хвостосховища, яка оцінюється у діапазоні 5-10 м.

Середня швидкість фільтрації v_s на ділянці між шаром відходів та р. Коноплянка розраховується за формулою:

$$v_s = \frac{q_s}{m_s}, \quad q_s = K \frac{H_{b,a}^2 - H_{r,a}^2}{2L_{b,r}}, \quad (4.3)$$

де m_s – середня потужність зони насичення над кристалічними породами, K – коефіцієнт фільтрації порід у цій зоні, визначений за літологічним складом, встановленим для кожної свердловини,

$H_{b,a}$ – середнє за багато років значення рівня води у свердловині протягом періоду розрахунку,

$H_{r,a}$ – середнє за багато років значення рівня води у р. Коноплянка,

$L_{b,r}$ – відстань від свердловини до берегу.

Згідно карти хвостосховища, його контури проходять на відстані 5-10 м убік від р. Коноплянка відносно свердловин 1–9, пробурених у 2022 р. при геодезичних роботах, тому шлях міграції розраховувався як відстань від свердловини до берега р. Коноплянка із зазначеною поправкою.

Швидкість фільтрації, оцінена за даними досліджень, що представлені у табл. 4.1, для дослідженої ділянки дамби довжиною 830 м змінюється від 0,09 м/доб для розрізу VII – VII' до 1,67 м/доб для розрізу IV – IV'. Тривалість фільтрації уздовж ліній течії від контуру хвостосховища до берега річки на

більшій частині ділянки не перевищує 60 діб (2 місяці), і лише на розрізі VII – VII' триває понад року.

Таблиця 4.1 – Параметри міграції за даними буріння та геодезичної зйомки

Розр із	№ св- ни	Відстань від свердловини до берега р. Коноплянка, м	Рівень підземних вод у свердловині, м	Рівень водотри- ву, м	Породи у зоні обводнення та їх потужність	Коефіцієнт фільтрації ⁵ , м/доб	Відстані між розрізами ⁷ , м
I – I'	1	46,3	58,4 (60,5 ¹)	54,3 ²	Н3 – 4,1 м	0,7	90
II – II'	3	38,9	56,8 (59,3 ¹)	54,3	Н3 – 1,8 м, 4 – 0,7 м	0,62	40
III – III'	5	32,4	55,9	54,3 ²	Н3 – 0,5+1,1 м, 4 – 0,2 м	0,67	200
IV – IV'	6	35,4	55,0	54,0	Н4 – 1 м	2,7 ⁶	150
V – V'	7	35,4	54,72 ⁴	54,3 ²	Н3	0,7	20
VI – VI'	8	35,4	54,70 ⁴	54,3 ²	Н3	0,7	330
VII – VII'	9	35,4	54,1	54,3 ²	2 – 3 м	0,4	

Примітки.

1. Існує невелика зона обводнення над рівнем ґрунтових вод.
2. Свердловини не досягли рівня водотриву, значення прийняте аналогічно розрізу II – II'.
3. Позначення шарів згідно результатів геодезичних робіт:
Н3 – насипний шар металургійних відходів: супісок з включеннями жорстк'яно-щебенистого матеріалу до 40% по масі і розміром до 50 мм з одиничними глибами шлаку;
Н4 – шлак металургійний: не звітрений, по давності відсипки злежалий, пухкий;

3 – суглинок легкий, нерівномірно водонасичений, без включень;

4 – суглинок легкий, водонасичений.


4. Визначено за лінійною апроксимацією між контурами IV – IV' та VII –

VII'.

5. Розраховано за товщиною шарів у свердловині.

6. Коефіцієнт фільтрації для шлаку не визначався, прийнято як для пілуватих пісків.

7. Середня відстань від розрізу до наступного розрізу уздовж дамби.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Зважаючи на коротку відстань між контуром хвостосховища та берегом р. Коноплянки можна вважати, що міграція радіонуклідів відбувається лише в одному напрямку – перпендикулярно берегу, тому використовувати для розрахунків *рівняння одновимірної конвективної дифузії речовин, що розпадаються, в умовах рівноважної сорбції*:

$$C(x,t) = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{2} \left\{ e^{\frac{x(v-\mu)}{2D_x}} \operatorname{erfc} \left(\frac{x - \mu t}{2\sqrt{D_x^* t}} \right) + e^{\frac{x(v+\mu)}{2D_x}} \operatorname{erfc} \left(\frac{x + \mu t}{2\sqrt{D_x^* t}} \right) \right\}, \quad (4.4)$$

де $\mu = \sqrt{(v_x^*)^2 + 4D_x^* \lambda}$, де тут λ – параметр розпаду чи сорбції, $\lambda > 0$.

λ – константа радіоактивного розпаду, $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$, $T_{1/2}$ – період піврозпаду радіонукліду,

C_1 – концентрація радіонукліду у рідкій фазі (C_f),

D_x – коефіцієнт конвективної дифузії (гідродинамічної дисперсії),

v_s – швидкість фільтрації,

n_e – т. зв. ефективна пористість, яка враховує рівноважну сорбцію за ізотермою Генрі, $n_e = n +$

де C_f – концентрація речовини у рідкій фазі,

C_s – концентрація речовини у твердій фазі.

Коефіцієнт розподілу K_d залежить від речовини, властивостей порід, мінералізації порового розчину, присутності в ньому інших домішок, як Оцінки загальної активності C_{tot} радіонуклідів у шарі відходів у місцях прогнозу міграції та коефіцієнти розподілу K_d для хвостосховища Дніпровське показали дослідження [7,8]. Кількість поглиненої речовини зростає з уповільненням швидкості фільтрації.

Загальна активність радіонукліду в елементарному об'ємі породи A_{tot} дорівнює

$$A_{tot} = A_f + A_s = V_0(nC_f + C_s) = V_0(nC_f + \rho_{sk}K_dC_f)$$

Враховуючи, що загальна активність радіонуклідів визначалась для зразків з урахуванням твердої та рідкої фаз $A_{tot} = V_0C_{tot}$, де C_{tot} – загальна концентрація радіонукліда у зразку ґрунту (табл. 4.2), то можна записати

$$C_f = \frac{C_{tot}}{n + \rho_{sk}K_d} \quad (4.7)$$

За формулою (4.7) за відомими лабораторними даними щодо C_{tot} (табл. 4.2) можна визначити рівноважну концентрацію радіонукліда у поровому розчині, здатну до міграції, тобто концентрацію мобільної форми. Оскільки запаси радіонуклідів у шарі відходів достатньо великі відносно їх щорічного зменшення за рахунок розпаду та міграції, то можна прийняти, що у поровому розчині в шарі водонасичених відходів підтримується усталена протягом багатьох років концентрація, яка дорівнює C_f . Отже, для розрахунків міграції надалі використовується рівноважна концентрація у шарі відходів, обчислена за формулою (4.7).

З урахуванням переважно великих значення коефіцієнту розподілу K_d для радіонуклідів, міграція яких моделюється, тривалість міграції становитиме для ^{238}U , ^{226}Ra не більше кількох років, що значно менше порівняно з періодом їх піврозпаду. Однак тривалість міграції у декілька років для значних K_d для ^{210}Pb вже співставна з періодом його піврозпаду (22,3 роки), тому при

прогнозі міграції даного радіонукліду, на відміну від інших, треба враховувати його розпад.

Радіонукліди ^{238}U , ^{226}Ra та ^{210}Pb є елементами одного ланцюга розпаду і мають моделюватися системою рівнянь міграції всіх елементів. Разом з тим, враховуючи значний період піврозпаду перших двох елементів відносно періоду експлуатації хвостосховища (близько 60 років), можна розраховувати міграцію перших двох елементів ланцюга незалежно один від одного за спрощеною формулою (4.8). Вміст ^{210}Pb , який має значно менший період піврозпаду (22,3 роки) дещо зменшується за рахунок радіоактивного розпаду самого ізотопу.

$$C(x,t) = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc}(\xi_x - \eta_x) + \exp(4\xi_x \eta_x) \operatorname{erfc}(\xi_x + \eta_x) \right\}, \quad (4.8)$$

Питомий підземний стік розчинних речовин з ґрунтовими водами до поверхневих водотоків ψ_s , Бк/(м²·доб), розраховується за виразом

$$\psi_s = 2v_s C_{out} \quad (4.9)$$

Тут прийнято, що C_{out} – концентрація радіонукліду у підземних водах на контакті підземних та поверхневих вод, тобто на березі р. Коноплянки. Оскільки швидкість фільтрації, товщина зони насичення та концентрація на виході з ґрунтового водоносного горизонту C_{out} змінюються уздовж берега, то загальний потік радіонуклідів з ґрунтовими водами на ділянці річки між розрізами I – I' та VII – VII', який позначимо через ψ_Σ , Бк/доб, розраховується у вигляді інтегралу

$$\psi_\Sigma = 2 \int_{l_1}^{l_{VII}} v_s C_{out} m_s dl \quad (4.10)$$

в якому криволінійна координата відлічується від розрізу I – I' до розрізу VII – VII'. Інтеграл у формулі при обчисленнях замінюється формулою трапецій, яка застосовується до кожної ділянки берега між розрізами.

Концентрація радіонуклідів у підземних водах C_{out} біля берега р. Коноплянки визначається на основі розрахунку їх горизонтальної міграції у

зоні насичення за математичними моделями конвективної дифузії у водонасичених ґрунтах. Необхідна для проведення розрахунків концентрація радіонуклідів у поровому розчині в масі відвалів оцінюється за результатами лабораторного визначення загальної активності зразків ґрунту. Вважається, що фізико-хімічний стан у водонасиченому шарі відходів описується лінійною ізотермою рівноважної сорбції (ізотермою Генрі), яка застосовна для тривалих періодів міграції з невеликою швидкістю та у разі незначної масової концентрації речовин.

Зважаючи на незначну ширину р. Коноплянки (8-20 м) уздовж її річища на ділянці, де річка межує з хвостосховищем, довжиною близько 1 км, можна прийняти, що відбувається достатньо повне перемішування радіонуклідів з водою, яка припливає зверху по течії. За середньої швидкості течії 0,1-0,2 м/с час проходження біля цієї ділянки не перевищує 3 години. Тоді середня концентрація радіонуклідів у р. Коноплянка C_{rK} може бути розрахована за формулою змішування:

$$C_{rK} = \frac{\psi_{\Sigma} + C_{rK,0} Q_{rK}}{Q_{gw} + Q_{rK}}, \quad (4.11)$$

де ψ_{Σ} – потік радіонуклідів з ґрунтовими водами до р. Коноплянка, що розраховується за формулою (4.9),

$C_{rK,0}$ – концентрація радіонукліда у р. Коноплянка до ділянки розвантаження ґрунтових вод з хвостосховища,

Q_{gw} – витрата ґрунтових вод через ділянку їх розвантаження у р. Коноплянку між розрізами I – I' та VII – VII', ця витрата розраховується чисельним інтегруванням питомої витрати q_s , яка визначається за формулою (4.2), уздовж тієї ж ділянки берега;

Q_{rK} – середня витрата р. Коноплянки, яка дорівнює $3,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Сумарна витрата підземних вод на ділянці між розрізами I – I' та VII – VII' визначається інтегруванням питомої витрати q_s уздовж ділянки

$$Q_{gw} = \int_{l_1}^{l_2} q_x dl \quad (4.12)$$

Концентрація радіонуклідів у воді р. Дніпро нижче місця впадіння до неї р. Коноплянки розраховується аналогічно формулі (4.10):

$$C_{rD} = \frac{C_{rK} Q_{rK} + C_{rD,0} Q_{rD}}{Q_{rK} + Q_{rD}}, \quad (4.13)$$

$C_{rD,0}$ – концентрація радіонукліда у р. Дніпро до місця впадіння до неї р. Коноплянки,

Q_{rD} – середня витрата р. Дніпро, яка дорівнює $1500 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розрахунки проводилися виходячи з припущення щодо однаковості концентрацій кожного радіонукліду уздовж ділянки, тобто, через те що проби обирались точково по периметру хвостосховища, за відсутності даних щодо мінливості концентрації радіонуклідів у кожному з 7 профілів. При розрахунках загальна активність приймалась як максимальна з табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінки загальної активності C_{tot} радіонуклідів у шарі відходів у місцях прогнозу міграції та коефіцієнти розподілу K_d для хвостосховища Дніпровське

	Концентрація	^{238}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb
Загальна активність C_{tot} , Бк/кг	мінімальна	1196	21931	17810	15378
	середня	2011	41089	32360	30825
	максимальна	2825	60247	46909	46272
K_d <i>in situ</i> (хвости), мл/г	мінімальний	31	10000	700	1298
	середній	232	40000	5250	9652
K_d <i>in situ</i> (альювіальні піски), мл/г	мінімальний	36	5102	1162	565
	середній	115	12755	5033	7464
K_d розрахункові (хвости), мл/г		30	10000	700	200
K_d розрахункові (альювіальні піски), мл/г	Консервативний варіант	5	600	40	80
	Базовий варіант	10	3000	200	100

Як показали експериментальні дослідження [7, 8], K_d залежить від рН, вмісту органічного та неорганічного вуглецю, оксидів заліза, різних компонентів ґрунтів, вмісту макрокомпонентів та хімічної форми радіонукліду.

Більша частина ґрунтів, де відбувається міграція від дамби до берега річки, не містить багато органічних речовин, які здатні адсорбувати більшу кількість радіонуклідів. Це може стосуватися лише прибережної частини з більш розвинутою рослинністю. Зауважимо, що протягом міграції за кілька десятиліть сорбційний потенціал навіть цієї зони вже значно вичерпаний, відповідні оцінки будуть наведені далі.

З урахуванням загального вмісту радіонуклідів у шарі відходів (C_{tot}), та коефіцієнтів їх розподілу та формули (4.7), можна визначити діапазони концентрацій радіонуклідів у розчинній формі в поровому просторі шару відходів (табл. 4.2).

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



4.2 Верифікація міграційної моделі

Розрахунки міграції радіонуклідів у підземних та поверхневих водах включали визначення:

1. Швидкості фільтрації по усім розрізам I-I', II-II'..., використовуючи формулу (4.3).
2. Концентрації радіонуклідів у рідкій фазі, використовуючи (4.7)
3. Моделі міграції радіонуклідів з підземних вод до поверхневих, використовуючи формули (4.4-4.8).
4. Проінтегрувати отримані концентрації по всій довжині берега р. Коноплянка, що досліджується та визначити загальну кількість радіонуклідів, що виноситься за добу в р. Коноплянка, формула (4.10).
5. Середні концентрації радіонуклідів у р. Коноплянка та р. Дніпро формули (4.11, 4.13), їх вплив на загальне забруднення.

Розрахована швидкість фільтрації складає від 0,61 м/добу для розрізу VII-VII' до 1,88 м/добу для розрізу VI – VI'. Тривалість міграції, в залежності від ділянки, йде від трьох місяців по розрізу IV – IV' до майже року по розрізу VII – VII'.

Концентрація радіонуклідів розраховувалась за аналітичними рішеннями рівняння конвективної дифузії (4.4, 4.8), коли швидкість фільтрації спрямована до зовнішньої межі області течії з граничною умовою 3 роду – контакту підземних та поверхневих вод. Вихідна концентрація радіонуклідів на лініях течії (контур хвостосховища) визначалась за найближчою свердловиною, а коефіцієнти розподілу приймалися за базовим варіантом (табл. 4.2) згідно попередніх досліджень, які враховували експериментальні визначення K_d in-situ.

Через відсутність даних щодо вмісту радіонуклідів у насичених ґрунтах в прибережній зоні за межами дамби південного контуру хвостосховища (наявні лише дані щодо шару порід під відходами) основними даними для верифікації

розрахунків були дані гідрохімічного моніторингу вмісту радіонуклідів у водах р. Коноплянки та Дніпро (табл. 4.3).

Виходячи з результатів розрахунків, можна стверджувати, що на даний момент (55 років з початку закладення хвостів у 1968 р. та їх водної міграції з того часу) концентрація радіонуклідів на вихідній межі ґрунтового горизонту стає ще не досягла свого максимального значення, яке фіксувалося у водному розчині відвалів (рис. 4.2-4.4). Найбільше зросла поблизу берегу р. Коноплянки концентрація урану у ґрунтових водах, тоді як концентрація радію і, особливо торію, залишилися практично незмінними, а фронт міграції, ймовірно, не ще дійшов берегу р. Коноплянки.

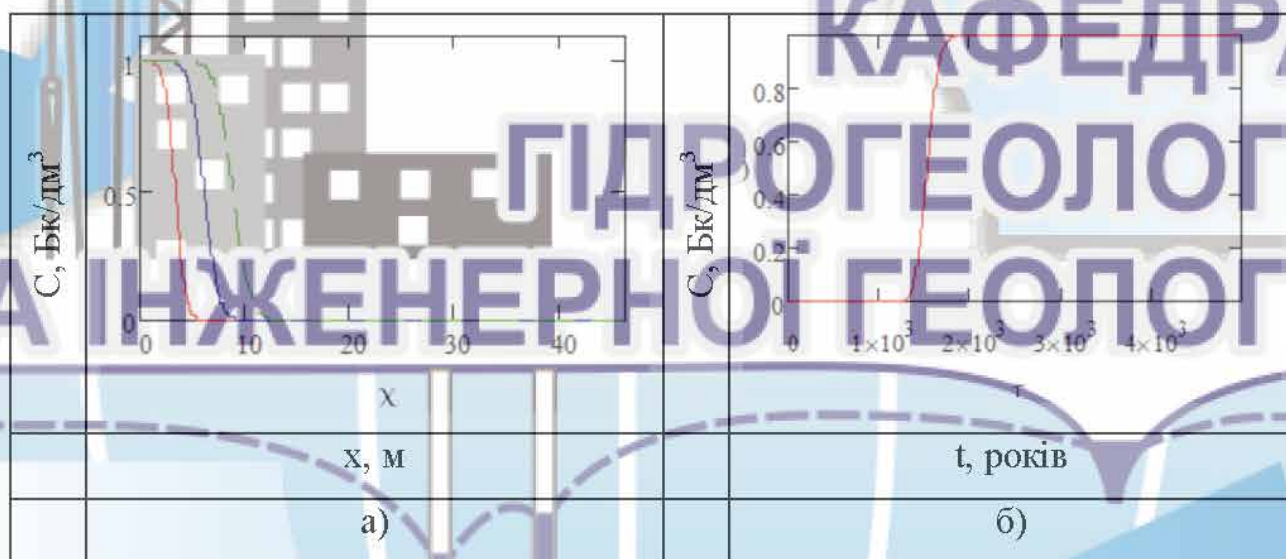


Рис. 4.2 – Розраховані показники міграції ^{238}U від контуру хвостосховища уздовж ліній течії ґрунтових вод до берегу р. Коноплянки: а) профіль відносної концентрації уздовж ліній течії, червоними лініями - на даний час (55 років з моменту заповнення сховища), зеленими - 80 років, синіми - 30; б) зміна відносної концентрації у часі на вході ліній течії у р. Коноплянка.

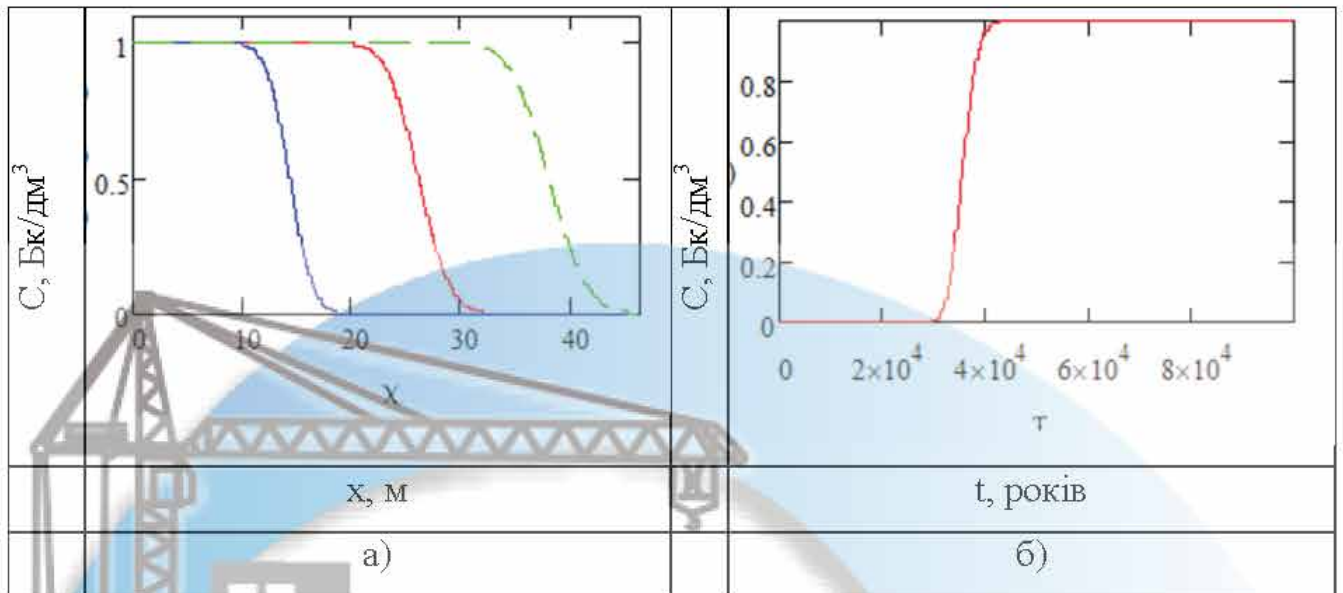


Рис. 4.3 – Розраховані показники міграції ^{226}Ra від контуру хвостосховища уздовж ліній течії ґрунтових вод до берегу р. Коноплянки: а) профіль відносної концентрації уздовж ліній течії, червоними лініями - на даний час (55 років з моменту заповнення сховища), зеленими - 80 років, синіми - 30; б) зміна відносної концентрації у часі на вході ліній течії у р. Коноплянка.

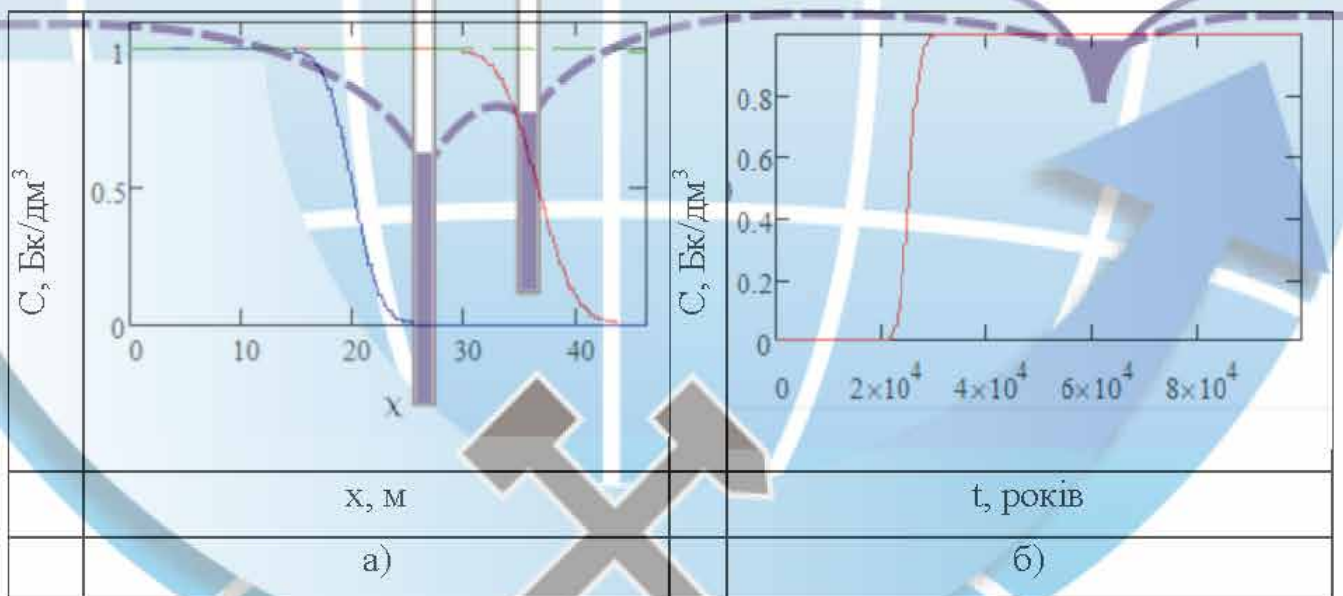


Рис. 4.4 – Розраховані показники міграції ^{210}Pb від контуру хвостосховища уздовж ліній течії ґрунтових вод до берегу р. Коноплянки: а) профіль відносної концентрації уздовж ліній течії, червоними лініями - на даний час (55 років з моменту заповнення сховища), зеленими - 80 років,

синіми – 30; б) зміна відносної концентрації у часі на вході ліній течії у р. Коноплянка.

Оцінені діапазони інтенсивності надходження радіонуклідів до р. Коноплянки та їх концентрація у поверхневих водах представлені у табл. 4.3, вони узгоджуються з даними отриманими від розрахунків по побудованій моделі фільтрації.

Таблиця 4.3 – Оцінки діапазонів концентрації радіонуклідів у техногенному водоносному горизонті (водонасиченому шарі відходів) поблизу місць їх міграції за даними. Період спостережень 16.07.2002 – 05.11.2003. За наявності кількох спостережень у дужках наведено середнє значення.

Профіль	Найближча свердловина	Вміст у водному розчині, Бк/дм ³			
		U _{прир}	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb
I – I'	4д	1,03 ÷ 4,43 (3,04)	0,11	0,02 – 0,14 (0,066)	0,33
II – II'	6д, 7д	3,2	0,11 ÷ 0,14 (0,125)	0,22 ÷ 0,24 (0,23)	0,08
III – III'	6д, 7д	3,2	0,11 ÷ 0,14 (0,125)	0,22 ÷ 0,24 (0,23)	0,08
IV – IV'	9д	2,95 ÷ 7,38 (4,4)	0,1	0,003 ÷ 0,17 (0,068)	0,09
V – V'	10д	1,64 ÷ 327,7 (92,6)	н.д.	0,007 ÷ 17,09 (3,27)	0,98 ÷ 6,4 (4,21)
VI – VI'	10д	1,64 ÷ 327,7 (92,6)	н.д.	0,007 ÷ 17,09 (3,27)	0,98 ÷ 6,4 (4,21)
VII – VII'	11д	0,76 ÷ 9,84 (3,86)	0,24	0,01 ÷ 0,27 (0,11)	0,11

Загальний добовий виніс радіонуклідів через ділянку дамби між розрізами I-I' і VII-VII' Дніпровського хвостосховища до р. Коноплянки станом на 2022 р. оцінюється:

- для урану – до $3.45 \cdot 10^5$ Бк/доб,
- для радію – до $2.90 \cdot 10^5$ Бк/доб,
- для свинцю – до $5.70 \cdot 10^5$ Бк/доб.

Далі для визначення перевірки правильності побудованої моделі, треба поррахувати середній вміст радіонуклідів у річці на ділянці впадіння р. Коноплянка у р. Дніпро, з даними моніторингових досліджень.

Результати у табл. 4.3 наведені для середньої за рік витрати р. Коноплянки. Сезони року впливають на витрату річки, і в разі зменшення витрати буде зростати концентрація, радіонукліди будуть затримуватись на шляху міграції. Це може відбуватись улітку в разі посухи. Однак, так само значення концентрації можуть зменшуватись у паводковий період. Слід зазначити також, що модель не охоплює всю площу контакту підземних вод що витікають з ділянки хвостосховища Дніпровське до Коноплянки.

Згідно даних з таблиці 4.3, беремо осереднені дані по пункту спостереження Kws1, який знаходиться вище за течією р. Коноплянки відносно контуру хвостосховища, як вихідну концентрацію $C_{rK,0}$ і по формулі (4.11) отримуємо середні значення концентрації, які виглядають так:

- для урану – 1.2780 Бк/л,
- для радію – 0.9947 Бк/л,
- для свинцю – 1.9310 Бк/л.

І вони співвідносяться з концентраціями у таблиці 4.3.

Гранично-допустимі концентрації для цих радіонуклідів дорівнюють:

- для урану – 1 Бк/л,
- для радію – 1 Бк/л,
- для свинцю – 0.5 Бк/л.

4.3 Прогноз виносу радіонуклідів з хвостосховища з підземними водами до поверхневих водотоків

Пункт Kws1 хоч і не входить до зони впливу хвостосховища, але має підвищені концентрації радіонуклідів. Це можна пояснити зв'язком з іншими джерелами радіонуклідів, наприклад, від хвостосховищ на іншому березу Коноплянки, в районі промзони ПХЗ. Вони менші за площею ніж Дніпровське, однак теж істотно забруднені радіоактивними матеріалами.

Як фонові концентрації у р. Дніпро приймалася активність радіонуклідів у р. Дніпрі в пункті Dws1 (табл. 4.4) вище за течією, який не потрапляє до зони нижче місця впадіння р. Коноплянка у р. Дніпро. Слід зважати на те, що змішування води з р. Коноплянки у пункті Kws4 недалеко від місця її впадіння до р. Дніпро відбувається не всією його витратою, а лише смугою, ширину якої можна оцінити за коефіцієнтом турбулентної дифузії у водному середовищі, середньої швидкості течії р. Дніпро біля правого берега та відстанню 500 м між місцем впадіння та пунктом вимірювання Kws4. При розрахунках прийнято, що 5% витрати р. Дніпро розбавляють води р. Коноплянки уздовж прибережної смуги до пункту вимірювання Kws4.

Розрахунок по міграції радіонуклідів у р. Дніпро показав, що середня концентрація хоч і збільшується на 12-18%, але залишається практично фоновією через високий показник витрати р. Дніпро. Середні концентрації для р. Дніпро склали:

- для урану – 0.0193 Бк/л,
- для радію – 0.0200 Бк/л,
- для свинцю – 0.0337 Бк/л.

Ці розрахунки також узгоджуються з даними моніторингу по пункту спостереження Kws4 (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Осереднені дані активності радіонуклідів у поверхневих водах рр. Дніпро і Коноплянка у період з 2010 р. по 2014 р.

Місце відбору	Концентрація радіонуклідів, Бк/л				
	U-238	U-234	Ra-226	Pb-210	Po-210
1	2	3	4	5	6
Р. Дніпро, район міського пляжу м. Дніпродзержинська D_ws1					
2010	0,024	0,026	0,029	0,025	0,002
2011	0,013	0,015	0,015	0,040	0,006
2012	0,011	0,013	0,009	0,023	0,002
2013	0,015	0,015			
2014	0,019	0,025			
Р. Коноплянка, виток К_ws1					
2010	0,185	0,165	0,028	0,030	0,002
2011	0,163	0,150	0,050	0,050	0,005
2012	0,172	0,168	0,029	0,055	0,005
2013	0,092	0,108			
2014	0,104	0,111			
Р. Коноплянка, район Дніпровського хвостосховища К_ws2					
2010	0,107	0,102	0,035	0,025	0,002
2011	0,078	0,096	0,022	0,050	0,005
2012	0,092	0,089	0,028	0,034	0,004
2013	0,079	0,093			
2014	0,046	0,044			
Р. Коноплянка, гребля седиментаційного відстійника К_ws3					
2010	0,174	0,160	0,019	0,040	0,015
2011	0,172	0,172	0,040	0,057	0,004
2012	0,182	0,209	0,034	0,041	0,005
2013	0,133	0,142			
2014	0,127	0,125			
Р. Дніпро, 500 м, нижче гирла р. Коноплянки К_ws4					
2010	0,034	0,036	0,031	0,035	0,002
2011	0,037	0,037	0,022	0,043	0,006
2012	0,030	0,037	0,013	0,034	0,004
2013	0,026	0,033			
2014	0,022	0,033			

Пункти відбору зразків води:

Dws1 – р. Дніпро, район міського пляжу м. Кам'янське,

Kws1 – р. Коноплянка, озеро-виток,

Kws2 – р. Коноплянка, мостовий переїзд до хвостосховища «Дніпровське»,

Kws3 – р. Коноплянка, верхній водовипуск седиментаційного відстійника,

Kws4 – р. Дніпро, 500 м нижче за течією втікання р. Коноплянка

Зважаючи на присутність у поровому розчині також інших радіонуклідів і досить високі коефіцієнти розподілу радіонуклідів (табл. 4.2), можна припустити, що сорбційна ємність порід між дамбою та берегом р. Коноплянки суттєво вичерпана і у подальшому міграція буде проходити при суттєво менших значеннях K_d , отже, з більшою часткою виносу порівняно з попереднім періодом. Підтвердження цього потребує лабораторного визначення вмісту радіонуклідів у поровому розчині та породах ґрунтового водоносного горизонту між дамбою та р. Коноплянка.

Серед трьох радіонуклідів, які мігрують від контуру хвостосховища, найбільшу небезпеку зараз створює уран, винос якого з хвостосховища на 50-80% підвищує його концентрацію у воді р. Коноплянки (пункти Кws2, Кws3). Через значно більшу сорбцію у породах ґрунтового водоносного горизонту, порівняно з ураном, внесок ^{226}Ra і ^{210}Pb у зростання радіоактивності води у р. Коноплянка оцінюється як незначний. Їх внесок буде зростати у кілька разів у наступні 50 років, а виносення урану збільшуватиметься меншими темпами.

Підвищення вмісту радіонуклідів у поверхневих водах р. Дніпро у найближчі 50 років не перевищить санітарних норм, головним чином, через активне розбавлення високою витратою поверхневими водами. Разом з тим, через зміни клімату, а особливо у разі тривалої посухи влітку, у р. Коноплянка можуть спостерігатися суттєві тимчасові збільшення концентрації, потенціально більшими за гранично-допустимі.

Наявність значної рослинності у заплаві р. Коноплянка є суттєвим чинником зменшення радіоактивності її вод та накопичення нуклідів у донних відкладах.

ВИСНОВКИ

Був виконаний аналіз радіологічного забруднення від хвостосховища Дніпровське, що знаходиться біля колишнього Придніпровського Хімічного Заводу міста Кам'янське Дніпропетровської області.

На цьому об'єкті обробляли уранові руди, відходи виробництва доставлялись у найближчі до заводу яри і балки, де створювались хвостосховища. Завод пропрацював понад 40 років і залишив по собі радіоактивну спадщину, яка сьогодні впливає на навколишню екологію. На сьогоднішній день у Кам'янському в районі ПХЗ знаходяться чотири хвостосховища, які вміщують в собі радіоактивні відходи.

Радіоактивні речовини, що містяться в цих хвостосховищах, можуть проникати в ґрунт, поверхневі та підземні води, що може призвести до негативних наслідків для здоров'я людей і тварин. Для того щоб запобігти негативним наслідкам, спеціалісти використовують різноманітні методи утилізації відходів, побудова захисних споруд, дамб, для запобігання витоку шкідливих речовин у навколишнє середовище. Моніторингові заходи на таких об'єктах можуть попередити про розповсюдження шкідливих речовин та тенденції розповсюдження, при умові що дослідження будуть регулярними та охоплюватимуть усю територію.

З часу закриття заводу у 1990-х роках на його території та навколишніх хвостосховищ влаштовувались різні моніторингові дослідження, які виявили забруднення підземних і поверхневих вод основними солями, важкими металами, та радіонуклідами. Через те, що хвостосховища не були як слід екрановані на етапі будівництва, відбувається міграція шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Міграція триває вже десятиліття. З хвостосховищ шкідливі елементи потрапляють у підземні води, розчинюються у них, після чого відбувається їх витрата у поверхневі води. Зазначається, що в річці Коноплянка, в яку впадають всі навколишні підземні потоки, вже є забрудненою, та за деякими показниками

концентрації вже перевищують гранично допустимі. На сьогодні вхід на цю територію є забороненим для сторонніх. Річка Коноплянка є притоком Дніпра, тому забруднення в Коноплянці може потенційно впливати і на Дніпро, забруднення якого могло б стати величезною проблемою для екології.

Забруднення в річках головним чином залежить від декількох показників: загальному вмісту забруднюючих речовин, зокрема радіоактивних, швидкості та об'єму їх надходження з хвостосховищ у підземні та поверхневі води, і витрат річок, відповідно Коноплянки та Дніпра. Зокрема по цих параметрах, для прогнозу можливого забруднення на майбутнє, була побудована аналітична модель фільтрації радіонуклідів по шляху від радіоактивних відходів у хвостосховищі Дніпровське, і підземних вод, які їх обводнюють, до їх виходу у поверхневі води, в річку Коноплянку та далі до річки Дніпро.

Дослідження виявило, що на даний час води річки Коноплянки вже забруднені та можуть трохи перевищувати санітарні норми. Розрахунки виконувались по середньорічним показникам, тому допустимі відхилення в реальній ситуації, зміни клімату та погода – будуть впливати концентрацію, збільшуючи та зменшуючи стік. Разом з тим, річці Дніпро, яка є набагато важливішою, радіоактивне забруднення не загрожує, при обчисленнях концентрації радіонуклідів з хвостосховища незначно впливають на концентрацію в Дніпрі, не виходячи за межі фонових показників.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Y. Tkachenko, I. Chubko, A. Nikitin. The Prydniprovsky Chemical Plant – Ukraine’s Uranium Heritage. Oslo, Vulkan 11, Bellona Foundation, 2020. 122 с.;
2. Д. А. Бугай, А. С. Скальський, Р. Авіла. Моделювання міграції радіонуклідів уранового ряду із хвостосховища “Дніпровське” (м.Дніпродзержинськ) в підземні води і р.Дніпро. *Environment ecology and safety life activity*, 2008, 9 с.;
3. D. Rudakov, D. Pikarenia, O. Orlinska, L. Rudakov, H. Napich. A predictive assessment of the uranium ore tailings impact on surface water contamination: case study of the city of Kamianske, Ukraine. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2023, 11 с.;
4. К. Ю. Ткаченко, О. С. Скальський, Д. О. Бугай, Т. В. Лаврова, В. П. Процак, Ю. І. Кубко, Р. Авіла, Б. Ю. Заноз. Моніторинг техногенного забруднення підземних і поверхневих вод у зоні впливу уранових хвостосховищ Придніпровського Хімічного Заводу м. Кам’янське / *Геологічний журнал*, 2020 № 3. 19 с.);
5. Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікарєня та ін. Кривий Ріг: ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.
6. Інструментальний контроль стану захисних споруд хвостосховища «Дніпровське». Звіт. ТОВ «УТБ-2». Кам’янське, 2016. 37 с.
7. Марініч О. В. та ін. 3 вид., Міграційна здатність радіонуклідів уранового ряду в хвостосховищі «Дніпровське». 2009, 10 с.;
8. Марініч О. В.. Вплив геолого-геохімічних умов хвостосховищ уранопереробної промисловості на міграційну здатність радіонуклідів ^{226}Ra , ^{210}Pb та ^{210}Po : автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2015. 22 с..

9. Рудаков Д. В.. Математичні методи охорони підземних вод. Дніпропетровськ, 2012, с.160.
10. Рудаков Д. В., Перкова Т. І., Радіогідрогеологія. Дніпро, 2016, 144 с.
11. Бакка М. Т.. Радіоекологія. Житомир, 2001, 314 с.
12. НРБУ-97/Д-2000 НОРМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення
ДЕРЖАВНІ ГІГІЄНИЧНІ НОРМАТИВИ ДГН 6.6.1. - 6.5.061-2000,
чинний від 2000-07-12. Вид. офіц. Київ : Головний державний санітарний лікар України.
13. О. П. Огурцов, Л. М. Мамаєв, Ю. С. Нагірний, С. Х. Авраменко, В. В. Косарецький. Проблеми екології промислового регіону. - Дніпродзержинськ: Ін-т систем. дослідж., 1994, 92 с.
14. Швець В. Я., А. Г. Приходченко. Екологічні проблеми Дніпродзержинська. - Дніпродзержинськ, 1997, 90 с.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Відзив

наукового керівника на кваліфікаційну роботу ступеня магістра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія, гідрогеологія, геофізика»), студента гр. 103М-22-1 Гончара Дмитра Сергійовича «Радіологічний стан підземних вод у зоні впливу хвостосховища у м. Кам'янське та прогноз міграції радіонуклідів»

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, гідрогеологія, геофізика») і стосується досліджень гідрогеохімічного режиму природно-технічних об'єктів, раціонального використання та охорони підземних вод при освоєння сировинної бази гірничодобувних регіонів.

Актуальність. Видобуток уранових руд в Середньому Придніпров'ї супроводжувався інтенсивним утворенням відходів видобутку, які потім акумулювалися в хвостосховищах та шламонакопичувачах. Міграція радіонуклідів з цих об'єктів до річок призвела до забруднення підземних та поверхневих вод, що негативно вплинуло на якість води густонаселених районів. Концепція подальшої експлуатації сховищ відходів у м. Кам'янське та вжиття заходів захисту гідросфери має ґрунтуватися на надійних прогнозах міграції та підземного стоку до поверхневих водотоків. Тому тема кваліфікаційної роботи студента Гончара Д.С. є актуальною.

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

Новизна. На основі моделювання міграції радіонуклідів у приповерхневому водоносному горизонті в роботі отримані оцінки надходження урану, радію та свинцю до р. Коноплянка з підземним стоком з хвостосховища «Дніпровське», що дає можливість адекватно визначати техногенний вплив цих об'єктів та ризик радіоактивного забруднення гідросфери.

Практичне значення результатів. Представлені моделі можуть бути використані при виконанні оцінок впливу на довкілля (ОВД) для розрахунків міграції радіонуклідів у водоносних горизонтах і вносу цих речовин до поверхневих водотоків. Виконані на цій основі прогнози необхідні при організації системи гідрогеоекологічного моніторингу в м. Кам'янське та прийняття організаційно-технічних заходів стосовно зменшення та контролю міграції радіонуклідів.

Ступінь самостійності виконання. Студент Гончар Д.С. виконав кваліфікаційну роботу самостійно за допомогою консультацій наукового керівника.


Застосування ПЕОМ, реальність, комплексність. Усі розрахунки в роботі виконані студентом Гончаром Д.С. з використанням ПЕОМ для реальних об'єктів з відповідним урахуванням їх геологічної та гідрогеологічної специфіки. Робота враховує необхідні відомості та картографічний матеріал з геології, гідрогеології, та гідрохімії.

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

Недоліки. Розрахунок міграції та вносу радіонуклідів з хвостосховища «Дніпровське» виконано для обмеженої кількості параметрів. Однак це не впливає суттєвим чином на отримані результати, зважаючи значний розкид параметрів сорбції радіонуклідів з доступних джерел.

Комплексна оцінка. Кваліфікаційна робота Гончара Д.С. відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям ОПП «Геологія, гідрогеологія, геофізика» (ОКР «магістр») і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Гончар Д.С. – присвоєння кваліфікації магістр за спеціальністю «Науки про Землю» (ОПП «Геологія, гідрогеологія, геофізика»). Рекомендована оцінка кваліфікаційної роботи – 92 бали.

Науковий керівник:
проф. каф. гідрогеології та інженерної геології



КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рецензія

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія, гідрогеологія, геофізика»), студента гр. 103м-22-1 Гончара Дмитра Сергійовича «Радіологічний стан підземних вод у зоні впливу хвостосховища у м.

Кам'янське та прогноз міграції радіонуклідів»

Тривалий видобуток уранової сировини та складування відходів її переробки в хвостосховищах, постійне обводнення радіоактивних відходів призвели до стійкого забруднення підземних та поверхневих вод від об'єктів радіаційної небезпеки в м. Кам'янське поблизу колишнього Придніпровського хімічного заводу. Рекультивация цих об'єктів має спиратися на прогнози міграції радіонуклідів та передбачати заходи захисту гідросфери і тривалого моніторингу. Таким чином, тема кваліфікаційної роботи студента Гончара Д.С. є актуальною.

Представлена робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. У першому розділі проведено аналіз геологічної будови, гідрологічного режиму та гідрогеологічних умов розташування радіаційно небезпечних об'єктів у м. Кам'янське. У другому розділі виконано огляд натурних та теоретичних досліджень техногенного впливу хвостосховищ уранових руд, результати гідрологічного та гідрогеоекологічного моніторингу.

У третьому розділі роботи представлено модель міграції радіонуклідів у ґрунтовому водоносному горизонті уздовж лінії течії на основі співвідношень конфективної дифузії. Дану модель адаптовано до гідрогеологічних умов хвостосховища «Дніпровське», контур якого знаходиться в кількох десятках метрів від р. Коноплянка, яка впадає до р. Дніпро.

У четвертому розділі на основі моделі міграції уздовж лінії течії підземних вод виконано прогнозну оцінку концентрації радіонуклідів U-238, Ra-226, Pb-210 на вихідній межі водоносного горизонту і надходження цих ізотопів до р. Коноплянка. Ці результати мають практичне значення, оскільки така методика може використовуватися при оцінюванні впливу на довкілля подібних об'єктів.

До недоліків роботи можна віднести певне спрощення гідрогеологічних умов при побудові одновимірної моделі міграції. Але для вирішення поставленого завдання застосування такого підходу можна в цілому вважати виправданим. Отже це зауваження не впливає на загальну позитивну оцінку роботи.

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

Кваліфікаційна робота Гончара Д.С. відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям ОПП «Геологія, гідрогеологія, геофізика» і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Гончар Д.С. – присвоєння кваліфікації магістр за спеціальністю «Науки про Землю» (ОПП «Геологія, гідрогеологія, геофізика»). Рекомендована оцінка кваліфікаційної роботи – 90 балів.

Рецензент:

Зав. каф. геофізичних методів розвідки

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра

студента (ки) групи 103м-22-1

(шифр групи)

Гончара Дмитра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Радіологічний стан підземних і поверхневих вод у зоні впливу хвостосховища у м. Кам'янське та прогноз водної міграції радіонуклідів»

Науковий керівник проф. Рудаков Д.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	Показники звіту подібності Unichек	
	Оригінальність	75
	Схожість	25

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- 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

доц. Загриценко А. М.

Зав. кафедри

доц. Загриценко А.М.

_____ (дата)