

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 550.382.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.108.11>

Яна МАЛЬКОВА¹, мол. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-6215-9901
e-mail: malkovayanakiev@gmail.com

Микола ПАНАСЮК², канд. техн. наук
ORCID ID: 0000-0003-3607-344X
e-mail: nipanasjuk53@gmail.com

Наталія СОСОННА², мол. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-9913-3457
e-mail: natalyasosonnaya@gmail.com

Сергій БАГРІЙ³, канд. геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-1190-6222
e-mail: gbg2020@ukr.net

¹ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"
²Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН
³Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ
ГРАВІЙНО-ГАЛЬКОВОГО АЛЮВІАЛЬНОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТУ
ЯК ОДНОГО З ОСНОВНИХ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ
ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ**

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Вступ. Загроза забруднення джерел питного водопостачання Калуського регіону істотною мірою визначається затопленням Домбровського кар'єру та можливим витоком високомінералізованих розсолів у гравійно-гальковий водоносний горизонт та річкову мережу з поверхневих техногенних водойм. Сьогодні кар'єр слугує дренажем для підземних вод, проте рівень води в гірничій виїмці підвищується зі швидкістю приблизно 1 м за рік, що потребує моніторингу, дослідження гідрогеологічної системи в зоні дренажного впливу кар'єру та швидких управлінських рішень для запобігання виникненню надзвичайної екологічної ситуації. Мета роботи полягала в тому, щоб запропонувати новий метод визначення коефіцієнта фільтрації (Кф), який би усереднював фільтраційні властивості великих масивів ґрунтів гравійно-галькового водоносного горизонту та враховував їх неоднорідність.

Методи. Для визначення усередненого коефіцієнта фільтрації для значної території використано балансові методи інструментального визначення надходження води в кар'єр та знайдено параметри для його розрахунку.

Результати. Проаналізовано та узагальнено всі наявні літературні та фондові джерела, застосовано комплексний підхід щодо визначення коефіцієнта фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту. З використанням рівняння Дарсі визначено, що Кф становить 5,3 м/добу. Запропоновано метод визначення коефіцієнта фільтрації ґрунтів водоносного горизонту з використанням ГІС-технологій визначення витрат потоку підземних вод, які повністю розвантажуються в кар'єр або в подібні водоймища. Результати дослідження використано при створенні чисельної геофільтраційної моделі та прогнозуванні засолення підземних вод.

Висновки. Вирішено актуальне наукове завдання дослідження гідрогеологічної системи Калуського регіону та визначення фільтраційних параметрів гравійно-галькового водоносного горизонту, що є єдиним джерелом питних вод для м. Калуш та прилеглих населених пунктів. Отримано коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас, що усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і який можливо застосувати для виконання прогнозів засолення підземних вод.

Ключові слова: гравійно-гальковий водоносний горизонт, Калуш-Голинське родовище, коефіцієнт фільтрації, Домбровський кар'єр.

Вступ

У районі Калуш-Голинського родовища калієвих руд відбувається засолення єдиного питного гравійно-галькового водоносного горизонту. Цей процес пришвидшиться під впливом надходження розсолів із Домбровського кар'єру. Сьогодні Домбровський кар'єр є дренажем для підземних вод, проте рівень води в кар'єрі неконтрольовано зростає за рахунок надходження атмосферних опадів та підземних вод зі швидкістю приблизно 1 м за рік. Через кілька років рівень у кар'єрі перевищить рівні підземних вод на прилеглий території. В результаті розсоли з кар'єру потраплятимуть до єдиного в цьому районі водоносного горизонту, який експлуатується Добрівлянським водозабором – єдиним джерелом питного водопостачання населення м. Калуш та навколишніх сіл. Для розробки проектних та управлінських рішень щодо недопущення катастрофічного забруднення водоносного горизонту

потрібно було створити математичну модель гідрогеологічних умов та виконати прогнози засолення водоносного горизонту. Але фільтраційні параметри гравійно-галькового водоносного горизонту, за літературними даними, відрізняються між собою на 3–4 порядки. Створити математичну модель із залученням літературних даних щодо фільтраційних властивостей ґрунтів водоносного горизонту навколо Домбровського кар'єру виявилось неможливим через відсутність надійних даних із визначення коефіцієнта фільтрації. Зрозуміло, що визначити коефіцієнт фільтрації ґрунтів на території навколо Домбровського кар'єру стандартними методами доволі складно. Організувати досліді з відкачування води із свердловин хоча б по периметру Домбровського кар'єру, який має довжину близько 5 км, неможливо з технічних і фінансових причин.

Мета роботи полягала в тому, щоб запропонувати новий метод визначення коефіцієнта фільтрації, який би

© Малькова Яна, Панасюк Микола, Сосонна Наталія, Багрій Сергій, 2025

усереднював фільтраційні властивості великих масивів ґрунтів водоносного горизонту та враховував їх неоднорідність. Метод базується на використанні гідрогеологічних умов, за яких потік підземних вод цілком розвантажується в кар'єр (чи водосховище) по його береговій лінії. Підвищення рівня води в кар'єрі дає змогу визначити витрати потоку водоносного горизонту завширшки 4,8 км (периметр кар'єру). Коефіцієнт фільтрації визначається по формулі Дарсі при відомих витратах, ухилу та потужності потоку підземних вод.

Методи

Геологічна будова та гідрогеологічні умови. У фронтальній північно-східній частині Самбірського покрову, що входить до внутрішньої зони Передкарпатського прогину, розташоване Калуш-Голинське родовище калійних солей. Самбірський покрив, утворений нижніми і верхніми моласами, був зрушений зі своєї бази та зсунутий на зовнішню (Більче-Волицьку) зону прогину. Межа Стебницького насуву, що є межею Самбірського насуву, розташована на північному заході, недалеко від м. Калуш.

Геологічний розріз Калуш-Голинського родовища включає моноклінальне залягання соленосних товщ, яке ускладнене насувною та розломною тектонікою. Це призвело до поділу моласових відкладів на різні блоки, повторення розрізу та багаторазового відображення калійних покладів у соленосних товщах. Геологічний розріз родовища складається з порід стебницької світи, які перекриваються відкладами балицької світи і галицької серії. Стебницька світа переважно містить глини з прошарками пісковиків та алевролітів. Балицька світа поділяється на нижню і верхню частини. Нижній шар балицької світи складається з мергелів, під якими розташований соленосний пласт з гіпсоангідритовим горизонтом у підшві. Соленосна товща містить калійний пласт лангбейніт-каїнітового складу з домішками карналіту і сильвініту. У зоні вивітрювання порід соленосної товщі розташована гіпсо-глиниста "шапка" (ГГШ), яка має потужність від 3 до 30 м. Верхній шар балицької світи складається з глин, алевролітів і мергелів з прошарками галіту. Породи балицької світи перекриваються четвертинними гравійно-гальковими відкладами, суглинками та частково відкладами галицької серії. Серед цих порід виявлено карстові воронки діаметром від 0,3 до 1,0 м (Малькова та ін., 2020).

Гідрогеологічні умови характеризуються водоносним горизонтом, що приурочений до шару гравію та гальки четвертинних алювіальних ґрунтів (рис. 1, 2), – гравійно-гальковий водоносний горизонт. Водоносний горизонт підстилається шаром ГГШ, який вважається непроникиними ґрунтами. На окремих локальних ділянках у покритті ГГШ виявлено карстові пустоти, які разом з алювіальними ґрунтами формують гравійно-гальковий водоносний горизонт. Соленосна товща нижнього неогену належить до водонепрониких ґрунтів. Але в цих шарах містяться води спорадичного поширення, які приурочені до локальних карстових порожнин. Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, втрат води із хвостосховищ, шламонакопичувача, руслів річок Сівка та Кропивник на ділянках їх відведення у штучно створені канали.

Розвантаження відбувається в Домбровський кар'єр та в русла річок Лімниця, Чечва, Млинівка, Сівка та Кропивник.

За віком утворення, геоморфологічними умовами та фільтраційними властивостями єдиний гравійно-гальковий горизонт можна розділити на ділянки.

Ділянка заплави р. Лімниця, яка представлена сучасними четвертинними відкладами. Потужність цих відкладів становить 2–8 м. Вони представлені валунами, галькою та гравієм із піщаним заповнювачем чи без

заповнювача. Глибина залягання підземних вод змінюється від 0,4 до 6,6 м. У роботі (Свиридовський, 1986) наведено коефіцієнти фільтрації руслових фацій ґрунтів між Лімницею та Млинівкою від 140 до 371 м/добу. Для руслових відкладів р. Лімниця, за даними одиночних відкачок води, середньозважений коефіцієнт фільтрації дорівнює 165 м/добу. Після обробки даних кушової відкачки води методом площадного простеження визначено коефіцієнти фільтрації від 187 до 197 м/добу.

У роботі (Звіт, 2018) визначено коефіцієнти фільтрації алювію у південно-східній частині м. Івано-Франківськ, на лівобережжі р. Бистриця Надвірнянська. Було проведено групову відкачку води тривалістю 15 діб із двох колодязів загальним дебітом 1080 м³/добу при 8 спостережних свердловинах. Методами погодинного та комбінованого простеження визначені коефіцієнти фільтрації в межах від 15 до 247 м/добу. Як середнє значення прийнято $K_f = 223$ м/добу. Середній коефіцієнт рівнепровідності становить $9,1 \cdot 10^{-4}$ м²/добу.

Таким чином, для алювіальних відкладів русла р. Лімниця та р. Млинівка можливо приймати значення коефіцієнта фільтрації 190 м/добу як достовірно визначеного за допомогою дослідно-фільтраційних робіт.

Ділянка I та II надзаплавної тераси, яка поширюється між заплавою і уступом III надзаплавної тераси р. Лімниця у вигляді смуги завширшки 0,5–3,5 км (рис. 1). Водоносний горизонт поширений у гравійно-галькових відкладах із включеннями валунів. Заповнювачем служить пісок, супіски та суглинки. Глибина залягання підземних вод змінюється від 0,4 м (свердловина № 16) до 2,5 м (свердловина № 20).

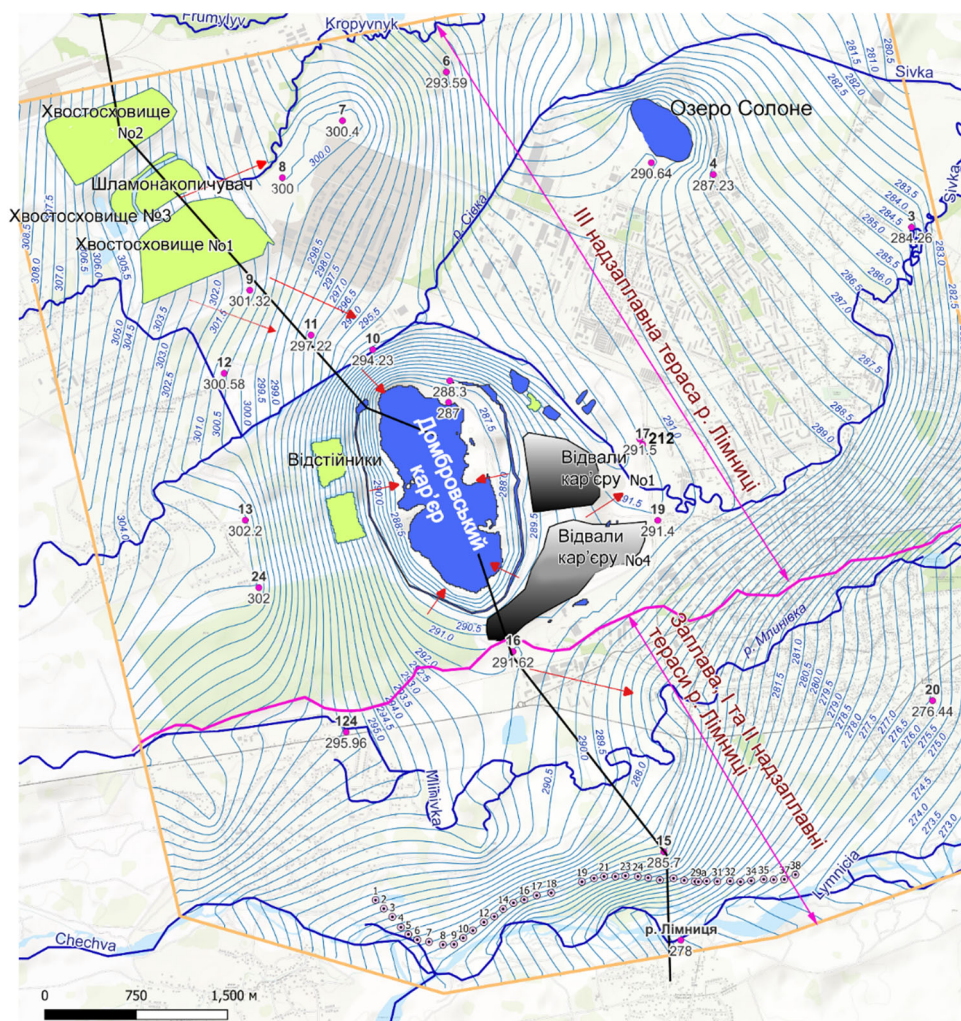
Значення коефіцієнтів фільтрації для сучасної тераси коливається в межах 5–457 м/добу, за середнього 155 м/добу. Для першої тераси значення K_f коливається в межах 20–30 м/добу.

Ділянка III надзаплавної тераси поширена від свого уступу (див. рис. 1) на північ до меж ділянки робіт. Водоносний горизонт поширений у гравійно-галькових відкладах із включеннями валунів. Заповнювачем слугують пісок, супіски, суглинки та глини. Глибина залягання підземних вод змінюється від 0,9 (свердловина № 5) до 8,2 м (свердловина № 9).

На поверхні III надзаплавної тераси розташовані Домбровський кар'єр, Хвостосховища, шламонакопичувач, відстійники та Солевідвали № 1 та № 4.

ґрунти гравійно-галькового водоносного горизонту на цій ділянці переважно представлені фракціями (Звіт, 2005): валуни 10–12 %; галька 35–60 %; гравію 13,5–52 %; пісок 35–60 %; пилуватих та глинистих часток 0,2–6,5 %. Згідно з нормативним документом (Звіт, 2005) такий ґрунт повинен називатись галечниковий із піщаним заповнювачем чи гравійний із піщаним заповнювачем, або піском гравіюватим, залежно від того, доля якої фракції переважає 50 %.

Фракція пилуватих і глинистих часток розподілена нерівномірно (Звіт, 2005). Тому коефіцієнти фільтрації цього шару лежить у межах від 1 м/добу (біля хвостосховища № 1) до 17,2 м/добу, при рекомендованому середньому 10 м/добу. У староріччях або прируслових ділянках цей параметр може досягати 67 м/добу. Але в цьому ж звіті на ст. 15 написано, що на ділянці рудника "Калуш", коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового шару лише по окремих свердловинах досягає 1,2–2,3 м/добу, а загалом по площі ділянки – лише 0,5–0,7 м/добу. Такі низькі фільтраційні параметри гравійно-галькових відкладів пояснюються присутністю в них суглинистого заповнювача (50–70 %). Виняток становлять ділянки, розташовані біля р. Сівки, де коефіцієнти фільтрації досягають 2,8–3,8 м/добу.

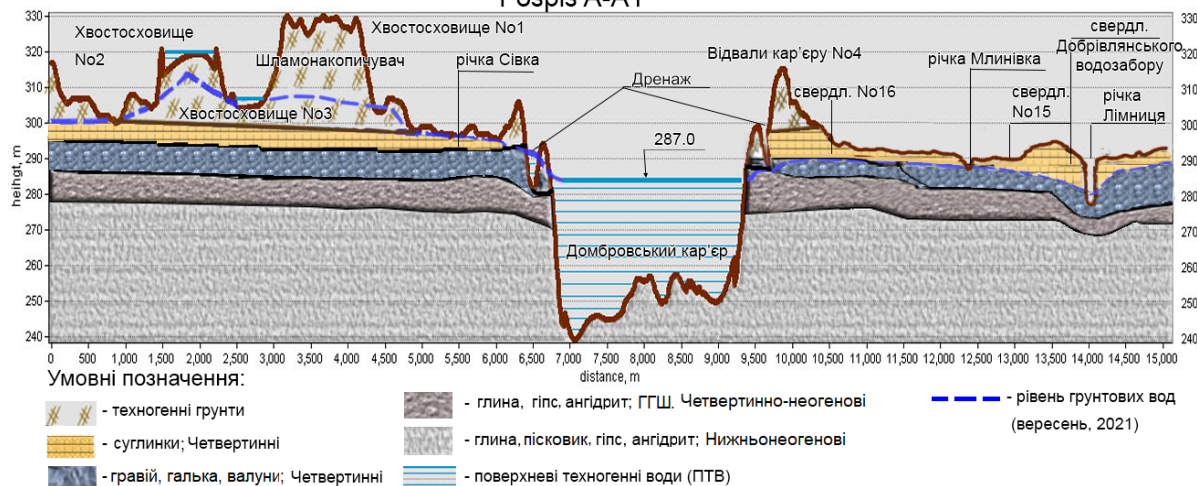


Умовні позначення:

- - кар'єр, озера, ставки
- - хвостосховища, шламонакопичувач
- - відстійники
- - відвали кар'єру
- - річки
- - свердловини Добровільського водозабору
- - спостережна свердловина та її номер
- - відмітка рівня ґрунтових вод в Балтійській СВ
- - гідроізопіс та їх відмітки в Балтійській СВ
- - межа третьої тераси р. Лімниця
- - напрямки течії ґрунтових вод

Рис. 1. Схема розташування джерел забруднення, спостережних і водозабірних свердловин та ліній рівних напорів підземних вод станом на 24.08.2022 р.

Розріз А-А1



Умовні позначення:

- - техногенні ґрунти
- - суглинки; Четвертинні
- - гравій, галька, валуни; Четвертинні
- - глина, гіпс, ангідрид; ГГШ. Четвертинно-неогенові
- - глина, пісковик, гіпс, ангідрид; Нижньонеогенові
- - поверхневі техногенні води (ПТВ)
- - рівень ґрунтових вод (вересень, 2021)

Рис. 2. Геолого-гідрогеологічний розріз Калуш-Голінського родовища калійних солей

На ділянці розміщення хвостосховища № 1 пористість шару, що описується, коливається від 8,5 до 13,2 % (Звіт, 2005). Внаслідок змін складу заповнювача коефіцієнти фільтрації цих ґрунтів характеризуються певним діапазоном коливань: від 0,9 до 6,8 м/добу. Потужність цього шару ґрунтів коливається в межах від 1–3 до 8–11 м, за середнього значення 10 м (Долін та ін, 2010).

На території рудника Ново-Голинь (Звіт, 2005) потужність гравійно-галькового горизонту коливається в межах від 3,2 до 17,4 м за середньої 8,36 м.

У роботі (Долін та ін, 2010) визначається коефіцієнт водопровідності за даними розрахунків балансу приток та водовідливу води з кільцевої дренажної траншеї Домбровського кар'єру за формулами Дарсі та Дюпюї. Ці величини дорівнюють 168 та 176 м²/добу. За середньої потужності гравійно-галькового горизонту 10 м коефіцієнти фільтрації становлять 16,8 та 17,6 м/добу. Але, напевно, ці значення завищені, якщо врахувати, що надходження води в КДТ із зовнішньої її стінки відбувається не тільки по гравійно-гальковому горизонту, але й по карстових порожнинах у покрівлі ГГШ (Звіт, 2005). Тому ці величини проаналізовано та взято до уваги як попередні.

Отже, коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту на III надзаплавній терасі р. Лімниці, за літературними даними, коливається в широких межах від 0,5 до 67 м/добу залежно від гранулометричного складу заповнювача галечників чи гравію.

Техногенні умови Домбровського кар'єру. Домбровський кар'єр був єдиним у світі об'єктом видобутку калій-магнієвої солі, де розробка вели відкритим способом. Домбровський кар'єр експлуатувався з 1967 по 2005 р.

За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру видобуто 35,4 млн м³ розкритих порід і 14,7 млн м³ калійної руди, разом 50,1 млн м³ гірничої маси.

Глибина розробки його сягає від 63 до 128 м. Розміри кар'єру сягають з півночі на південь близько 2000 м. Із заходу на схід орієнтовно – 1000 м. У 2008 р. з кар'єру припинили відкачувати воду, із цього часу рівень розсолів у ньому почав нерегульовано зростати. За рахунок надходження атмосферних опадів та розвантаження ґрунтових вод він самозатоплюється (рис. 2). Витоків води з кар'єру в неогенові ґрунти та ГГШ не відбувається. Ці ґрунти вважаються непроникними.

Об'єм розсолів у кар'єрі на початок 2020 р. становив 26,89 млн м³. Мінералізація в придонній частині кар'єру складає 400 мг/дм³, а у верхній – 20 мг/дм³. Розсоли кар'єра при наповненні фільтруватимуться у водоносний горизонт (Kuzmenko, & Bagriy 2013; Hurska et al., 2015; Bagriy et al., 2017; Kuzmenko et al., 2018; Malkova et al., 2023).

По периметру Домбровського кар'єру створено КДТ для запобігання значним притокам підземних вод до кар'єру під час його експлуатації. У 2008 р. відкачку води з КДТ припинили. І з того часу КДТ являє собою ряд

втягнутих водоймищ, розділених перемичками. Рівні води в цих водоймищах коливаються разом з рівнями підземних вод. Це дало змогу визначити ухил потоку підземних вод по берегах кар'єру при вимірах позначок води в ньому та в КДТ.

Домбровський кар'єр по праву можна вважати потенційним чи реальним джерелом засолення підземних вод.

Результати

Як було вказано вище, коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту, що визначався раніше, має широкий інтервал значень, що негативно впливає на достовірність будь-яких прогнозів змін гідрогеологічних і гідрологічних умов, які пов'язані з водним режимом Домбровського кар'єру і його вплив на довкілля. Але визначення Кф території класичними методами (відкачками води із свердловин), в умовах різких змін фільтраційних властивостей ґрунтів не є ефективним засобом, тому що вимагають великої кількості дослідів, що на периметрі об'єкта дослідження в 5310 м (довжина КДТ) виконати неможливо з фінансових та технічних причин. Тому для визначення усередненого Кф для значної території в роботі було задіяно балансові методи інструментального визначення надходження води в кар'єр.

Для розрахунку Кф було взято до уваги, що кар'єром дренуються підземні води гравійно-галькового водоносного горизонту в повному обсязі. Якщо визначити об'єм води, що надійшла в кар'єр за певний час і визначити частку підземного стоку, тобто дебіт підземних вод, то Кф розраховується за відомим рівнянням Дарсі.

Метод розрахунку включає такі кроки:

1. За допомогою ГІС-технологій визначено позначки рівнів води, об'єми води та площі водного дзеркала на дати 21.06.2018 р. і 26.08.2022 р. Вибір дат зумовлений наявністю космічних знімків прийнятної якості.

2. Різниця в об'ємах води в кар'єрі склала приплив води в кар'єр ($Q_{\text{прип}}$) за проміжок часу між вищевказаними датами.

3. Водний баланс кар'єру складається з надходження підземних вод та різниці між атмосферними опадами та випаровуванням ($Q_{\text{опад-випар}}$).

4. Надходження води за рахунок підземних вод ($Q_{\text{під}}$) визначається як різниця між $Q_{\text{прип}}$ та надходженням атмосферних опадів ($Q_{\text{опад-випар}}$).

Кф визначаємо з формули

$$K_f = Q_{\text{під}} / HBI, \quad (1)$$

де $Q_{\text{під}}$ – надходження підземних вод до кар'єру, H – потужність водоносного горизонту, B – периметр водного дзеркала в кар'єрі, I – ухил поверхні ґрунтових вод.

На рис. 3 наведено параметри, визначені за допомогою ГІС-технологій.

Таблиця 1

Результати розрахунків параметрів

Дати визначення параметрів	Позначка рівнів води, м	Об'єм, м ³	Площа водного дзеркала, м ²	Між 21.06.2018 та 26.08.2022			
				Час, роки	Товщина шару води, що сформувалася	Збільшення об'єму води в кар'єрі, м ³	Середнє значення надходження води в кар'єр за рік, м ³
21.06.18	280.63	40892383	2046931	4,18	6,31	16077804	3846365
26.08.22	286.94	56970187	2574031				

Як наведено в табл. 1, позначка рівня води в кар'єрі за 21.06.2018 дорівнює 280,63 м. Це значення узгоджується з позначкою 280,24 м, яку інструментально визначено в травні 2018 р. (Звіт, 2018).

Середня річна норма атмосферних опадів сягає 0,778 м. Випаровування дорівнює 0,35 м (45 %) (Звіт,

2018). Стоп води, що формується в кар'єрі впродовж року за рахунок опадів, дорівнює 0,428 м. Отже, надходження води з опадами на площу кар'єру становить

$$Q_{\text{опад-випар}} = SH = 2574031 \cdot 0.428 = 1101685 \text{ м}^3, \quad (2)$$

де S – площа водного дзеркала, H – стоп води, що формується в кар'єрі впродовж року за рахунок опадів.

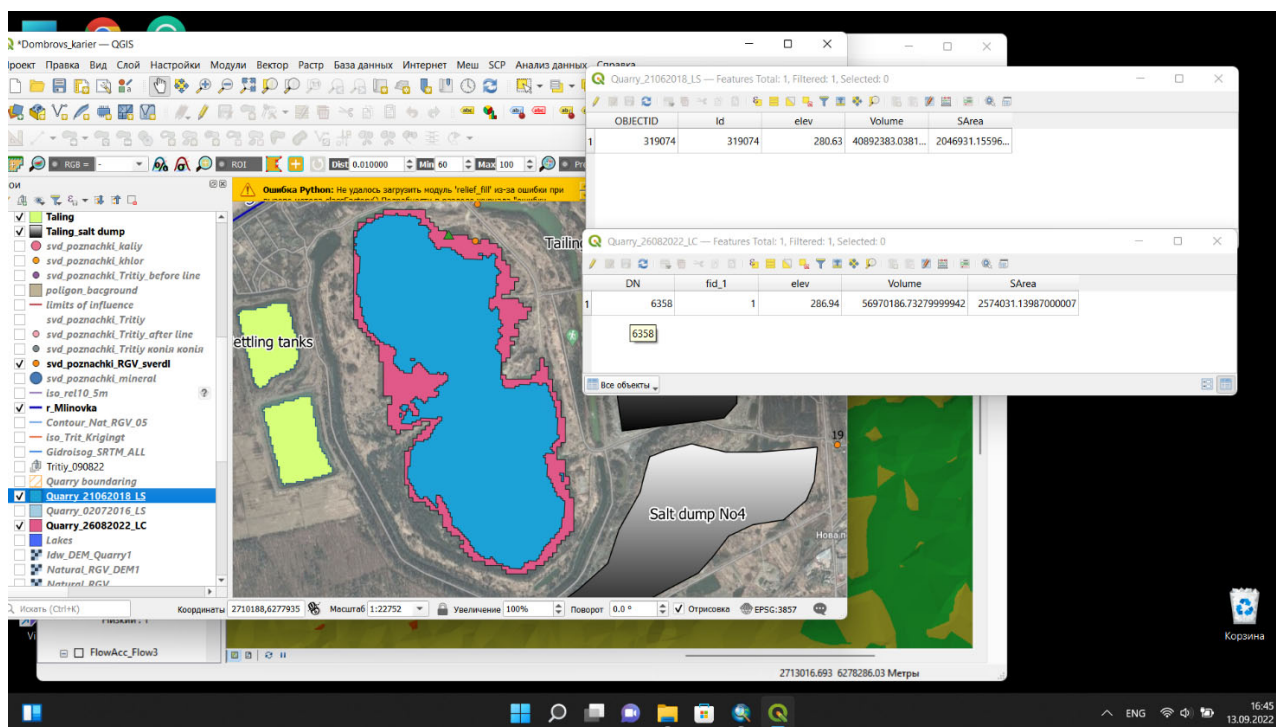


Рис. 3. Контури водного дзеркала в кар'єрі на 21.06. 2018 р. і 26.08.2022 р.

Згідно з вищенаведеною формулою об'єм води, що надходить з підземними водами впродовж року чи за добу, дорівнює

$$Q_{\text{під}} = Q_{\text{сер}} - Q_{\text{опад-випар}} = 3846365 - 1101685 = 2744679 \text{ м}^3/\text{рік} = 7520 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (3)$$

Периметр водного дзеркала дорівнює 4800 м. Середній ухил потоку підземних вод на період між 21.06.2018 та 26.08.2022 сягає 0,037. Потужність водоносного горизонту – 8 м (Захаров та ін, 1958).

Тоді, згідно з формулою (1)

$$K_{\phi} = 7520 / 0.037 * 8 * 4800 = 5.3 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (4)$$

Таким чином, вперше отримано оригінальним методом Кф гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас, що усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і який можливо застосувати для виконання прогнозів засолення підземних вод.

Дискусія і висновки

У попередніх дослідженнях авторів детально проаналізовано та досліджено гідрогеохімічні умови гравійно-галькового водоносного горизонту та хімічний склад розсолів Домбровського кар'єру. Проте для побудови 3-вимірної математичної моделі об'єкта дослідження та прогнозування засолення єдиного питного водоносного горизонту для прилеглих населених пунктів, потрібно було визначити дійсний коефіцієнт фільтрації, який можна і надалі використовувати в розрахунках у подальших дослідженнях.

Проаналізовано всі наявні літературні джерела та проведено комплексний підхід щодо визначення коефіцієнта фільтрації (Кф) гравійно-галькового водоносного горизонту. Визначено, що, за літературними даними, коефіцієнт фільтрації коливається в межах від 0,5 до 67 м/добу залежно від гранулометричного складу заповнювача галечників чи гравію. Для визначення усередненого Кф для значної території використано балансові методи інструментального визначення надходження води в кар'єр. З використанням рівняння Дарсі визначено, що Кф становить 5,3 м/добу.

Отже, вперше отримано коефіцієнт фільтрації ґрунтів гравійно-галькового водоносного горизонту III надзаплавної тераси (ділянка розташування Домбровського кар'єру), що усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і який можливо застосувати для виконання прогнозів засолення підземних вод. Результати досліджень використано для створення чисельної геофільтраційної моделі гідрогеологічних умов у межах Калуш-Голинського родовища. Результати калібровки моделі підтвердили правильність визначення коефіцієнта фільтрації (Sosonna et al, 2023).

Вперше запропоновано метод визначення коефіцієнта фільтрації ґрунтів водоносного горизонту з використанням ГІС-технологій визначення витрат потоку підземних вод, які повністю розвантажуються в кар'єр або в подібні водоймища.

Внесок авторів: Малькова Яна – збір та аналіз фондових і літературних джерел, розрахунки, написання тексту статті, Панасюк Микола – аналіз фондових і літературних джерел, розрахунки, формулювання висновків, Сосонна Наталія – розрахунки за допомогою ГІС-технологій, Багрий Сергій – аналіз даних, редактування тексту статті.

Список використаних джерел

Долін, В. В., Яковлев, Є. О., Кузьменко, Е. Д., & Бараненко, Б. Т. (2010). Прогнозування екогідрогеохімічної ситуації при затопленні Домбровського кар'єру калійних руд. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 1, 74–87.

Захаров, В. Ф., Ковалева, И. Н., Еловская, М. В., Бобко, П. С., Бобко, П. С., Грудинин, Л. К., & Поленов, И. К. (1958). *Гидрогеологические и геотехнические свойства пород Домбровского участка Калушских месторождений калийных солей* (Т. 1).

Звіт по темі "Ліквідація джерел забруднення підземних вод та рекультивація порушених земель території гірничо-технологічних об'єктів колишнього Калушського калійно-магнієвого виробництва (Домбровський кар'єр із зовнішніми відвалами розкритих порід № 1 та № 4, хвостосховище № 1, хвостосховище № 2, шламонакопичувач) м. Калуш, Калуський район, Івано-Франківська область" Договір № 14 від 10.05.2018 р. Етап 3. Обстежувальні роботи по об'єктах та територіях проектування. Звіт про науково-технічну роботу з обстеження та гідрохімічного опробування джерел забруднення 018.029.00.000-НТР1. Львів.

Звіт по темі "Проведення комплексних геологічних досліджень, спрямованих на визначення (прогнозування) змін природного стану

геологічного середовища в місцях розробки калійних родовищ з метою запобігання їх негативного впливу на життєдіяльність людей та стан господарських і промислових об'єктів. (1999 – 2005)". *Звіт заключний. Державний науково-дослідний інститут галузгії (НДІ "Галузгрія")*. (2005).

Звіт по темі: "Геолого-економічна оцінка експлуатаційних запасів питних підземних вод ділянки Івано-Франківського родовища (копоздзі №№2-11) Івано-Франківської області. (АТ "Українська залізниця") (підрахунок запасів станом на 30.10. 2019 р.)". Рівненська КГП ДП "Українська геологічна компанія". (2018–2019).

Кореневський, С. М., & Донченко, К. Б. (1963). Геология и условия формирования калийных месторождений Советского Предкарпатья. *Труды ВСЕГЕИ. Геология месторождений калийных солей*, 99, 152.

Малькова, Я., Яковлев, Е., & Долін, В. (2020). Еколого-техногенні закономірності формування розсолів Домбровського кар'єру. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 4(91). <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.09>

Свиридовський, А. П. (1986). *Отчет о результатах поисков и разведки пресных подземных вод для целей водоснабжения объектов МО СССР в 1985–1986 г.* Львов.

Malkova, Y., Kopylenko, O., Panasiuk, M., Sosonna, N., Bagriy, S., & Onyshchenko, I. (2022). Hydrogeochemical conditions of the Dombrovsky quarry as a source of groundwater pollution. *16th International Conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*, 2022, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580186>

Sosonna, N., Panasiuk, M., Malkova, Ya., Kovalenko, I., Bagriy, S., & Buzynnyi, M. (2023). Mathematical model of hydrogeological conditions and forecasts of groundwater salinization under the influence of Dombrovsky quarry of Kalush-Golinsky potassium salt deposit. *17th International conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*, 2023, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520185>

References

Dolin, V. V., Yakovlev, E. O., Kuzmenko, E. D., & Baranenko, B. T. (2010). Forecasting the ecohydrogeochemical situation during the flooding of the Dombrovsky quarry of potash ores. *Environmental Safety and Balanced Resource Use*, 1, 74–87 [in Ukrainian].

Korenevsky, S. M., & Donchenko, K. B. (1963). Geology and formation conditions of potash deposits in the Soviet Precarpathians. *Proceedings of VSEGEI. Geology of potash salt deposits*, 99, 152 [in Russian].

Malkova, Y., Kopylenko, O., Panasiuk, M., Sosonna, N., Bagriy, S., & Onyshchenko, I. (2022). Hydrogeochemical conditions of the Dombrovsky quarry as a source of groundwater pollution. *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2022, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580186>

Malkova, Ya., Yakovlev, E., & Dolin, V. (2020). Ecological and technogenic regularities of the formation of brines in the Dombrovsky quarry. *Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology Series*, 4(91). <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.09>

Sosonna, N., Panasiuk, M., Malkova, Ya., Kovalenko, I., Bagriy, S., & Buzynnyi, M. (2023). Mathematical model of hydrogeological conditions and forecasts of groundwater salinization under the influence of the Dombrovsky quarry of the Kalush-Golinsky potassium salt deposit. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2023, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520185>

Sviridovsky, A. P. (1986). *Report on the results of prospecting and exploration of fresh groundwater for the purposes of water supply of the Ministry of Defense of the USSR in 1985–1986*. Lviv, 46–54 [in Russian].

Zakharov, V. F., Kovaleva, I. N., Elovskaya, M. V., Bobko, P. S., Bobko, P. S., Grudinin, L. K., & Polenov, I. K. (1958). *Hydrogeological and geotechnical properties of rocks of the Dombrovsky section of the Kalush potassium salt deposits* (Vol. 1) [in Russian].

Отримано редакцією журналу / Received: 29.11.24

Прорецензовано / Revised: 28.01.25

Схвалено до друку / Accepted: 12.03.25

Yana MALKOVA¹, Junior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-6215-9901
e-mail: malkovayanakiev@gmail.com

Mykola PANASIUK², PhD (Techn.)
ORCID ID: 0000-0003-3607-344X
e-mail: nipanasyuk53@gmail.com

Natalia SOSONNA³, Junior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-9913-3457
e-mail: natalyasosonnaya@gmail.com

Sergiy BAGRIY³, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1190-6222
e-mail: gbg2020@ukr.net

¹State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine"

²Institute of NPP Safety Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine

³Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

DETERMINATION OF THE FILTRATION COEFFICIENT OF THE GRAVEL AND PEBBLE ALLUVIAL AQUIFER AS ONE OF THE MAIN FILTRATION PARAMETERS OF THE HYDROGEOLOGICAL SYSTEM

Background. The threat of contamination of drinking water sources in the Kalush region is largely determined by the flooding of the Dombrovsky quarry and the possible leakage of highly mineralised brines into the gravel and pebble aquifer and river system from surface man-made reservoirs. Currently, the open pit serves as a drainage for groundwater, but the water level in the mine excavation is rising at a rate of approximately 1 m per year, which requires monitoring, research of the hydrogeological system in the area of drainage influence of the quarry and rapid management decisions to prevent an environmental emergency. The aim of the study was to propose a new method for determining the filtration coefficient (Ff), which would average the filtration properties of large massifs of soils of the gravel-pebble aquifer and take into account their heterogeneity.

Methods. Balance methods of instrumental determination of water inflow to the quarry to determine the averaged filtration coefficient for a large area was used. Parameters for its calculation was found.

Results. All available literature and fund sources were analysed and summarised, and an integrated approach was applied to determine the filtration coefficient of the gravel and pebble aquifer. Using Darcy's equation, it is determined that the Ff is 5.3 m/day. A method for determining the filtration coefficient of aquifer soils using GIS technologies to determine the flow rate of groundwater that is completely discharged into a quarry or similar reservoirs is proposed. The results of the study were used to create a numerical geofiltration model and predict groundwater salinity.

Conclusions. The urgent scientific issue of studying the hydrogeological system of the Kalush region and determining the filtration parameters of the gravel and pebble aquifer, which is the only source of drinking water for the city of Kalush and adjacent settlements, has been solved. The filtration coefficient of the gravel and pebble aquifer of the I, II and III floodplain terraces, which averages the filtration properties of soils over a large area and can be used to make predictions of groundwater salinity, was obtained.

Keywords: gravel and pebble aquifer, Kalush-Golinsky deposit, filtration coefficient, Dombrovsky quarry.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.