

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ, ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
БУДІВНИЦТВА
КАФЕДРА НАУК ПРО ЗЕМЛЮ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри наук про Землю

_____ Олена ГЕРАСИМЧУК
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

зі спеціальності 103 «Науки про Землю»

на тему: **«Геологічна характеристика та вплив кар'єру «Сліпчицьке-1» на гідрологічні процеси в районі видобутку»**

Виконав: студент IV курсу, групи ЗНЗ-21

ХИТРИЧ Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

СКИБА Галина Віталіївна

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент: доктор геологічних наук, доцент

ПІДВИСОЦЬКИЙ Віктор Тодосійович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Студент _____
(підпис)

Житомир – 2025 рік

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ, ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
БУДІВНИЦТВА

КАФЕДРА НАУК ПРО ЗЕМЛЮ

ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри наук про Землю
_____ Олена ГЕРАСИМЧУК
«____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу

Студента Хитрича Сергія Володимировича

Тема роботи: «Геологічна характеристика та вплив кар'єру «Сліпчицьке-1» на гідрологічні процеси в районі видобутку»

Затверджена Наказом університету від «18» лютого 2025 р. № 67/с

Термін здачі студентом закінченої роботи 30.05.2025

Вихідні дані роботи

Об'єкт: геологічна будова кар'єру «Сліпчицьке – 1»

Предмет: гідрологічні процеси в районі видобутку

Консультанти з кваліфікаційної роботи із зазначенням розділів, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	СКИБА Галина	25.02.2025	25.02.2025
II	СКИБА Галина	05.03.2025	05.03.2025
III	СКИБА Галина	12.04.2025	12.04.2025
IV	СКИБА Галина	25.04.2025	25.04.2025

Керівник _____
(підпис)

Календарний план

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Охарактеризувати геологічну будову кар'єру та мінералогічний склад порід	29.02.2025	Виконано
2	Дослідити гідрологічні характеристики природних водоносних горизонтів в межах родовища	15.03.2025	Виконано
3	Здійснити екологічну оцінку стану водних ресурсів та на їх основі розробити рекомендації щодо покращення їх якості	29.03.2025	Виконано
4	Розробити рекомендації щодо управління водними ресурсами в зоні розташування кар'єру	30.04.2025	Виконано

Студент _____
(підпис)

Керівник _____
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ГЕОЛОГІЧНА ТА ГІДРОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ КАР'ЄРУ	7
1.1 Опис геологічної будови кар'єру та мінералогічного складу порід	7
1.2 Гідрологічні характеристики природних водоносних горизонтів.....	10
1.3 Динаміка водних потоків у межах кар'єру.....	12
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ КАР'ЄРУ НА ГІДРОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ.....	16
2.1 Вплив видобутку граніту на рівень та якість ґрунтових вод (осушення, виснаження водоносних горизонтів).....	16
2.2 Визначення основних гідравлічних параметрів.....	17
2.3 Визначення водоприливів у кар'єр.....	20
2.4 Можливі наслідки підтоплення або пересихання прилеглих водних об'єктів.....	23
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ЗМІН.....	25
3.1 Опис методів, що використовуються для вивчення змін у водних ресурсах.....	25
3.2 Проведення польових досліджень, вимірювання рівнів води та відбір проб.....	27
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВПЛИВУ КАР'ЄРУ НА ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ.....	31
4.1 Оцінка впливу на водозабезпечення місцевого населення та екосистем.....	31
4.2 Методи контролю та зменшення негативного впливу на гідрологічні процеси (рекультивація, створення водозахисних зон)	35
4.3 Рекомендації щодо управління водними ресурсами в зоні кар'єру (використання систем збору води, запобігання забрудненню).....	36
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	43

ВСТУП

Актуальність теми. Видобуток корисних копалин може спричиняти зміни у водному балансі території, зниження рівня ґрунтових вод або, навпаки, підтоплення сусідніх територій; потенційне забруднення водоносних горизонтів продуктами вивітрювання порід або техногенними компонентами. Крім того, видобуток, розробка кар'єру може спричиняти зміну напрямків підземного стоку, що вплине на живлення річок, озер або інших водойм поблизу. Є ризик утворення карстових явищ або осушення важливих водоносних горизонтів, що може негативно вплинути на водопостачання місцевого населення.

Видобувна діяльність сприяє зміні якості води через вимивання металів, мінералів або використання хімічних реагентів у технологічному процесі. Порушення природних гідрологічних циклів може призвести до деградації прилеглих екосистем, зокрема водно-болотних угідь.

Наявність кар'єру впливає на стабільність схилів і стінок кар'єру, що може спричиняти їх обвали або зсуви. Моніторинг змін у водному режимі необхідний для запобігання раптовим підтопленням або осушенню прилеглих територій.

Тому дослідження стане основою для розробки заходів із мінімізації негативного впливу видобутку на водні ресурси. Результати можуть бути корисними для державних природоохоронних структур, водогосподарських організацій та підприємств, що здійснюють видобувну діяльність. Дослідження є важливим для оцінки впливу видобутку на водні ресурси, запобігання екологічним проблемам та розробки стратегій для раціонального використання гідрологічних ресурсів у зоні кар'єру «Сліпчицьке-1».

Мета і завдання роботи. Метою роботи є визначити геологічні особливості кар'єру «Сліпчицьке-1» та оцінити його вплив на гідрологічні процеси в районі видобутку для розробки рекомендацій щодо зменшення негативних наслідків.

Виходячи з мети роботи були поставлені та вирішені **завдання:**

- визначити літологічний склад, стратиграфію та тектонічні особливості гірських порід у районі видобутку;
- описати типи корисних копалин та умови їх залягання;
- дослідити підземні та поверхневі води в районі кар'єру;
- проаналізувати можливі зміни рівня ґрунтових вод під впливом розробки родовища, визначити, як видобуток впливає на водний баланс території;
- дослідити можливість забруднення водоносних горизонтів внаслідок видобувних робіт, визначивши рівень техногенного навантаження на водні об'єкти;
- запропонувати заходи щодо мінімізації негативного впливу видобутку на водні ресурси.

Об'єкт дослідження: геологічна будова кар'єру «Сліпчицьке – 1».

Предмет дослідження: гідрологічні процеси в районі видобутку

Апробація результатів дослідження: Участь у Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Гірничі, будівельні, природоохоронні технології та екологія» (присвяченої Дню науки) 15 травня 2025 року.

Хитрич С. В. Оцінка впливу виробничої діяльності гранітного кар'єру на гідрологічні процеси в районі видобутку. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Гірничі, будівельні, природоохоронні технології та екологія» (присвяченої Дню науки) 15 травня 2025 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2025. С. 46.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, основної частини із 4 розділів, висновків, рекомендацій та використаної літератури. Вся робота має 45 сторінок. В тексті налічується 5 рисунків. Список використаної літератури складає 25 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ГЕОЛОГІЧНА ТА ГІДРОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ КАР'ЄРУ

1.1 Опис геологічної будови кар'єру та мінерального складу порід

Сліпчицьке родовище габбро-нориту і лабрадориту розташоване в межах північно-західної частини Українського кристалічного щита і відноситься до середньо протерозойських інтрузивних порід Коростенського комплексу, які перекриваються товщею осадових порід кайнозої. Родовище розміщене на території Черняхівського району Житомирської області на віддалі 15 км на схід від залізничної станції Горбаші та 18 км на схід від смт. Черняхів (рис. 1.1).

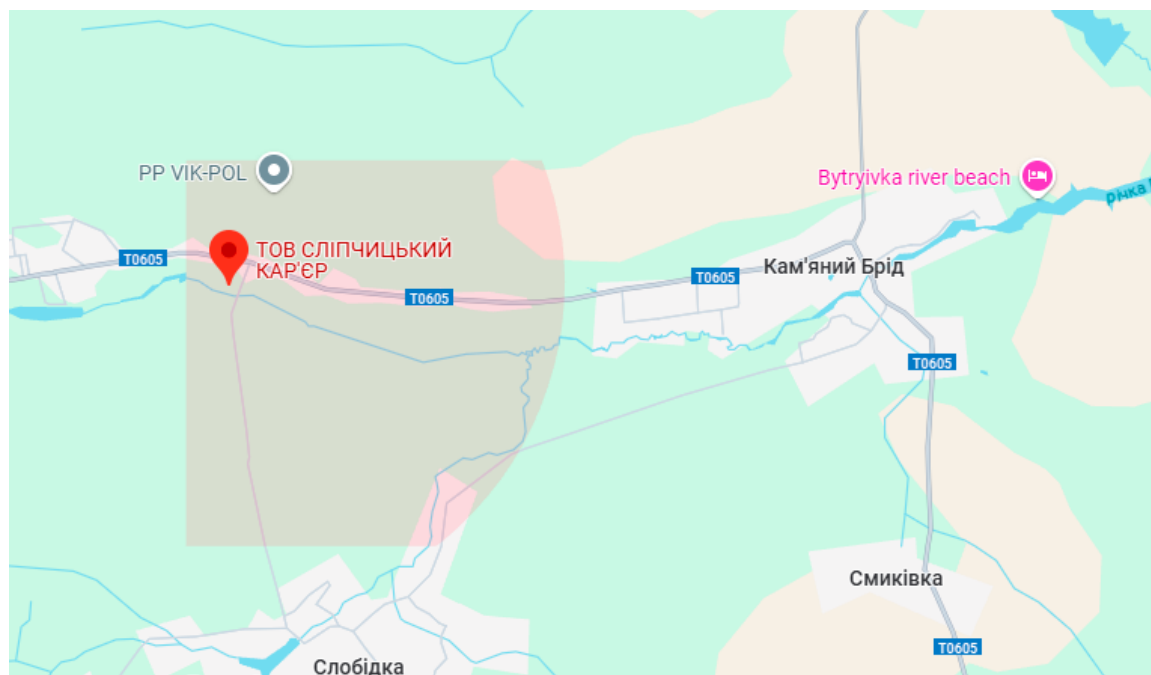


Рис. 1.1. Карта розташування родовища
(<https://www.google.com/maps/place/>)

М'які розкривні породи (грунт, суглинки, глини, каолін, жорства) розповсюджені на всій площі родовища і відсутні тільки в межах кар'єру, де вони зняті в процесі видобувних робіт. Потужність м'яких розкривних порід коливається в широких межах – до 11.2, середня – 4.47 м. До скельних

розкривних порід відносяться вивітрені габбро-норити потужністю від 0 м до 3,2 м в середньому – 0,37 м.

Корисною копалиною на Сліпчицькому родовищі є:

- незмінені вивітрюванням габбро-норити і лабрадорити для виробництва блоків із природнього каменю;
- порушені вивітрюванням габбро-норити для виробництва бутового каменю і будівельного щебню.

Порушені вивітрюванням породи більш ширше розвинуті ніж вивітрені і їх середня потужність 1,06 м. Максимальна потужність порушених вивітрюванням габбро-норитів спостерігається на заході родовища, що обумовлено інтенсивною тріщинуватістю порід в свердловині.

На Сліпчицькому родовищі виділяються чотири системи тріщин: повздовжні (S), поперечні (Q), діагональні (D), і пластові (L). Елементи залягання тріщин і відстань між ними розбивають масив на окремі не прямокутної форми, які дозволяють одержувати блоки, що відповідають вимогам ДСТУ Б EN 1467:2007. По особливостям своєї геологічної будови згідно класифікації інструкції ДКЗ, Сліпчицьке родовище відноситься до 1 групи – тип залягання магматичних порід неоднорідного складу.

Геоморфологічні особливості.

Формування рельєфу території району родовища обумовлене головним чином діяльністю дніпровського льодовика і його танення в середньо четвертинний період. У верхньо четвертинній і сучасній епохах відбувалося поступове розчленування території з одночасним розвитком алювіальної, алювіально-делювіальної і еолової діяльності [1].

Район родовища в цілому являє собою розчленовану ерозійно-аккумулятивну рівнину яка перекриває кристалічний фундамент і нахилена в східному і північно-східному напрямках.

Основний тип рельєфу – моренно-зандрова рівнина. Монотонність рельєфу порушується горбкувато-моренним ландшафтом і чисельними виходами на денну поверхню кристалічних порід. Зустрічаються невисокі похилі

куполоподібні підняття кристалічного фундаменту і денудаційні останці. Неглибоке залягання природного каменю – основний показник економічного видобутку корисної копалини відкритим способом. Окрім цього підняття кристалічного фундаменту характеризуються як природно дренавані ділянки що потребують менших витрат на відкачку та скид кар’єрних вод.

Рівнина характеризується відносно високим ступенем заболоченості особливо на моренно-зандровій рівнині і приурочена до знижень у рельєфі. Основними причинами заболочення є близьке залягання рівнів ґрунтових вод, слабкий поверхневий стік, сильно розтягнута весняна повінь, незначне випаровування.

Абсолютні відмітки поверхні району родовища коливаються в межах 187 – 196 м. Ухил денної поверхні від південної межі гірничого відводу до його центру становить 0,005, північна частина гірничого відводу лежить на ухилі 0,05 – заплавному уступі річки Бистріївка. Абсолютна відмітка зрізу води в Бистріївці становить 187,0 м. Загальний ухил поверхні заплави змінюється від 0,02 до 0,0089. Горизонт промислового видобутку +20 м (+163,5 м). Перевищення зрізу води над горизонтом видобутку 23,5 м [1].

Габро-норит Сліпчицького родовища дрібно- і середньозернистий, сірувато-чорний із слабо зеленуватим відтінком (рис. 1.2).

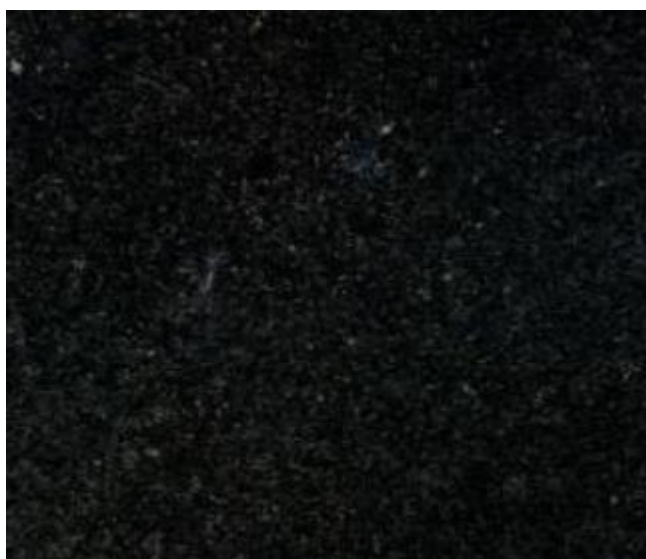


Рис. 1.2. Зовнішній вигляд габбро-нориту Kometa Black

Мінеральний склад лабрадориту: амфібол до 2 %, плагіоклаз 98-100 %, олівін до 1 %. Торгова назва: Kometa Black.

Фізико-механічні властивості Сліпчицького габбро-нориту: густина 2,8-3,12 г/см³, водопоглинення 0,05-1,50 %, стирання 1,10-1,70 г/см², пористість 10,3 %, морозостійкість 25-300 циклів, має здатність добре колотися, полірується до дзеркального блиску, межа міцності при стисненні 150-220 МПа, можливий об'єм блоків до 5 м³ [1]. Застосовується для виготовлення монументів, пам'ятників, меморіальних дошок, для облицювання фасадів будинків, для настилу підлоги.

1.2 Гідрологічні характеристики природних водоносних горизонтів

Район робіт відноситься до басейну р. Дніпра. Ділянка лежить на правому схилі долини р. Бистріївка – лівої притоки р. Тетерів. Довжина р. Бистріївки 37 км, водозбірна площа 381 км². Відстань від північної межі гірничого відводу до русла становить 150 м.

Річка мілка, глибиною 0,3-0,6 м. Ширина русла від 1-1,5 до 2-2,5 м. Швидкість течії становить 0,2-0,3 м/с на плесах і 0,5-0,8 м/с на перекатах. Витрати води поблизу родовища за вимірами 2019 року в меженний період 0,12 м³/добу [2].

Заплава чітко вирізняється в рельєфі. Ширина заплави змінюється від 50 до 150 м. Місцями перезволожена.

Живлення відбувається за рахунок атмосферних опадів та розвантаження підземних вод. Співвідношення поверхневого і підземного стоків у живленні річки складає відповідно 80 і 20%. Рівневий режим на протязі року вкрай непостійний, з максимумами у весняний період. Зазвичай в кінці лютого на початку березня спостерігається підйом рівня води. Відбувається він досить інтенсивно і через 6 – 8 днів спостерігається найвищий рівень весняного паводку.

Клімат помірно-континентальний. Середньорічна температура +7,10°. Середня температура зимового місяця січня -5,50°, літнього липня +18,60°. Річна

кількість опадів коливається в межах 500-660 мм. Висота снігового покриву 13-17 см, глибина промерзання ґрунту 0,8 м.

Утворення льоду починається в кінці листопада – на початку грудня. Середня товщина льоду змінюється від 10 до 30 см.

На відміну від різкого підйому, спад рівнів весняної повені відбувається повільно і носить затяжний характер. Загальна тривалість повені 2 – 2,5 місяці. Межень встановлюється в кінці травня і тягнеться до жовтня. Річка Бистріївка належать до малих річок.

До компонентів природного середовища, які зазнають впливу від розробки кар'єру відносяться підземні води, що поширені в районі «Сліпчицьке-1» родовища лабрадориту.

Виходячи з геологічних умов території у межах району «Сліпчицького-І» родовища лабрадориту виділені наступні зони.

1. Водонасні горизонти й комплекси:

- водоносний горизонт в алювіальних відкладах голоцену;
- водоносний комплекс у водно-льодовикових, льодовикових, озерно-льодовикових відкладах середнього неоплейстоцену;
- водоносний горизонт у відкладах новопетрівського регіоярусу міоцену (полтавський);
- водоносний горизонт у відкладах сеноманського ярусу верхньої крейди;
- водоносний комплекс в тріщинуватій зоні кристалічних порід і їх корі вивітрювання.

2. Водотриви:

- товща строкатих глин;
- каоліни мезозой-кайнозойської кори вивітрювання.

Гідрогеологічні умови Сліпчицького родовища характеризуються наявністю двох водоносних горизонтів.

Перший водоносний горизонт відноситься до м'яких відкладів четвертинного періоду, які представляють собою, головним чином,

дрібнозернисті кварцові піски. Цей горизонт зустрітий на родовищі всіма розвідувальними свердловинами. Глибина залягання дзеркала ґрунтових вод змінюється від 0 до 3,05 м. Рух підземних вод в межах родовища прослідковується погано. Розвантаження водоносного горизонту проходить в діючий кар'єр.

Другий водоносний горизонт відноситься до тріщинуватої зони кристалічних порід. Ці два водоносних горизонти гідравлічно зв'язані між собою.

Відповідно до звіту про геологорозвідувальні роботи 2021 року очікуваний водопритік в кар'єр Сліпчицького родовища габро-нориту і лабрадориту на період його максимального відпрацювання з урахуванням середньорічних атмосферних опадів, складе 3296,3 м³ на добу [3].

1.3 Динаміка водних потоків у межах кар'єру

Житомирська область відома значною кількістю кар'єрів, зокрема гранітних, які суттєво впливають на місцеві гідрологічні умови. Розробка кар'єрів призводить до змін у водному балансі, зокрема до зниження рівня ґрунтових вод, що може впливати на місцеві екосистеми та водопостачання населених пунктів.

У басейні річки Ірша, де активно розробляються гранітні кар'єри, спостерігаються зміни гідрологічного режиму, що впливає на якість води та стан екосистеми річки. Дослідження показують, що видобуток корисних копалин у цій зоні призводить до забруднення водних об'єктів, зміни їх гідрохімічних характеристик та порушення природного стану водойм.

При оцінюванні гідрологічних змін потрібно враховувати кліматичні особливості і антропогенні чинники, вплив яких найбільш ймовірний і істотний, що випливає із аналізу стану природного середовища у заданий проміжок часу. При цьому, вплив антропогенного чинника може бути оцінений величинами відхилень основних показників від їх фонових, які первісно відображають

природні умови їх формування. Одним із найпотужніших антропогенних чинників впливу на стан природного середовища на Житомирщині є гранітні кар'єри, серед яких і вивчався Сліпчицький кар'єр лабрадориту, розташований неподалік смт. Черняхів, що створює серйозну потенційну екологічну загрозу геоекосистемі поліської зони [4]. При оцінюванні впливу техногенних факторів на умови водообміну територій, як правило, аналізуються, насамперед, зміна рівнів напірних, ґрунтових і поверхневих вод, а також їх хімічний склад. На сьогодні розглядають декілька основних антропогенних чинників, які суттєво впливають на екологічну рівновагу Житомирського Полісся, а саме: осушувальні меліорації, розробка родовищ природного каменю, збільшення водоспоживання населення (включаючи інтенсивний полив садів, яких в останні роки посаджено чимало), розвідка нових родовищ у районі та, власне, глобальні зміни клімату.

Для оцінки впливу на навколишнє середовище водовідливу з діючого кар'єру «Сліпчицьке – 1» використано метод аналізу динаміки коливання рівнів води на водопостах озер та річок. Цей метод дозволяє дати оцінку відносних змін характерних показників на будь-який відрізок часу, коли для аналітичного прогнозу ще недостатньо вихідних даних. Порівнюючи існуючі на сьогодні дані змін рівнів води у навколишніх гідросистемах, спостерігаємо загальну тенденцію до зниження

Хоча коливання відбуваються сезонно, спостерігається залежність коливань рівнів напірних вод від опадів та температури повітря з деяким запізненням до півроку. Коливання рівнів ґрунтових вод швидше реагує на кількість опадів, оскільки область їх живлення співпадає з областю поширення. Реакція рівнів напірних вод ближче за характером до змін рівня у річці Бистріївка, що пояснюється переважанням в її живленні напірних вод. Враховуючи, що малі річки даного регіону мають тісний гідравлічний зв'язок, то така ж картина спостерігається і на інших річках [4; 5]. Проведений раніше [6; 7] розрахунок водного балансу в цьому районі показав, що поповнення річок та озер відбувається за рахунок напірних вод і безпосередньо від надходження в них атмосферних опадів.

Мінімальні збитки, що будуть завдані внаслідок міжбасейного перекачування підземних вод можна наближено розрахувати згідно розробленої нормативної методики формування вартості послуг з подачі води на зрошення, промислові та комунальні потреби [8]. Враховуючи, що невідомі технологічні схеми по відкачуванню води з кар'єру, кількість насосів, їх продуктивність, електрична потужність, то була прийнята вартість відкачуваного кубічного метра води $B=1$ грн/м³ (табл. 1.1.). Починаючи з 2017 року водовідлив з кар'єру збільшується, а, отже, збільшується і сума збитків, яка у 2017 р. складала 2 720 тис. грн/рік, а у 2018 р. – 3 632 тис. грн на рік. За розрахунками, при роботі кар'єру на повну потужність екологічні збитки прогнозовано становитимуть 10 240 тис. грн на рік лише за рахунок зниження водності басейнів річок Чорного моря.

Таблиця 1.1

Розрахункові збитки завдані міжбасейновим перекачуванням підземних вод

Рік	Водовідлив, м ³ /добу	Екологічні збитки, тис. грн	
		доба	рік
2012	1600	1,600	560,500
2015	1300	1,300	420,000
2017	7340	7,340	2 720,360
2018	9020	9,020	3632,210
2019	10500	10,500	3 906,140
2040	28700	28,700	10 240,130

Таким чином, внаслідок міжбасейного перекидання води будуть наноситися збитки все більше з кожним роком.

Окрім того виникнуть негативні екологічні наслідки, які складно оцінити в грошовому еквіваленті, зокрема, кар'єр при розробці розкриває водоносний горизонт ґрунтових вод і водоносний горизонт мергельно-крейдянної товщі крейдяних відкладів, який є єдиним водоносним комплексом. Для Житомирського Полісся це буде мати непередбачувані негативні екологічні наслідки. Можливе зникнення окремих водойм, річки та озера будуть міліти та зменшуватиметься площа їх водного дзеркала, а берегова смуга заболочуватиметься, що призведе до зниження рекреаційних ресурсів. Можливе

пересушення понад 40 тисяч гектарів сільськогосподарських та лісових угідь. В зону впливу потраплять численні населені пункти, в побутових криницях яких ймовірно зникне вода, що потребуватиме додаткових фінансових ресурсів для забезпечення населення господарсько-питною водою.

РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ КАР'ЄРА НА ГІДРОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

2.1 Вплив видобутку на рівень та якість ґрунтових вод (осушення, виснаження водоносних горизонтів)

Активна експлуатація кар'єру у цій місцевості справляє помітний вплив на навколишнє природне середовище, зокрема на рівень та якість ґрунтових вод. Відкачування води з гранітних кар'єрів для забезпечення безперебійної роботи підприємств призводить до зниження рівня ґрунтових вод у навколишніх районах. Це явище викликає осушення прилеглих земель, що особливо негативно позначається на сільському господарстві та рослинності. Водні горизонти, які раніше стабільно живили криниці й джерела, з часом можуть виснажуватися, що ставить під загрозу водозабезпечення місцевого населення.

Крім того, механічне порушення геологічної структури унаслідок вибухових робіт сприяє зміні напрямів руху підземних вод, утворенню нових тріщин і каналів, які порушують природну фільтрацію. Це, у свою чергу, підвищує ризик потрапляння до водоносних горизонтів забруднювальних речовин, зокрема залишків паливно-мастильних матеріалів, металів і пилу [9].

У селищах фіксується зниження якості ґрунтових вод, що може бути пов'язане з несанкціонованим зберіганням відходів виробництва, недосконалою системою захисту від фільтрації та відсутністю належного екологічного контролю. Це створює потенційну загрозу не лише для екосистеми регіону, а й для здоров'я населення.

У зв'язку з цим важливо впроваджувати моніторинг ґрунтових вод, оцінювати вплив кар'єрів на гідрогеологічну ситуацію, а також розробляти екологічно обґрунтовані методи управління водними ресурсами. Зокрема, доцільно передбачити створення буферних зон навколо кар'єрів, впровадження систем рециркуляції води та поетапну рекультивацію порушених територій.

2.2 Визначення основних гідрогеологічних параметрів

Гідравлічні параметри водоносних горизонтів в районі видобутку кар'єру є критично важливими для оцінки обводненості кар'єру, прогнозування припливу води в гірничі виробки, розробки заходів зі зневоднення (водовідливу) та оцінки впливу кар'єру на гідрогеологічний режим прилеглих територій.

В роботі визначались основні гідрогеологічні параметри водоносних горизонтів.

Коефіцієнт фільтрації (K_f). Цей коефіцієнт характеризує водопроникність гірських порід в районі видобутку. Показує швидкість фільтрації води через одиницю площі поперечного перерізу водоносного горизонту при градієнті напору, що дорівнює одиниці. Вимірюється в м/добу або м/с.

Чому даний коефіцієнт важливий для кар'єрів: Чим вищий коефіцієнт фільтрації, тим більше води може надходити в кар'єр з водоносного горизонту. Для його визначення користувались методом відкачки зі свердловини. Це основний і найточніший метод. Були зроблені кілька свердловин (основну та спостережні), з яких відкачувалась вода з постійною витратою, при цьому фіксувалось зниження рівня води в основній та спостережних свердловинах з часом. За отриманими даними будувались гідродинамічні криві зниження рівня та за допомогою спеціальних числових методів (метод Тейса, Хаутера) розраховували K_f . За допомогою емпіричних формул, на основі гранулометричного складу порід також була зроблена приблизна оцінка.

Також в якості гідрогеологічного параметру визначалась водопровідність (T). Водопровідність характеризує здатність водоносного горизонту пропускати воду. Це добуток коефіцієнта фільтрації на потужність водоносного горизонту ($T = K_f \cdot M$, де M – потужність горизонту). Вимірюється в $m^2/добу$ або $m^2/с$. Чим вища водопровідність, тим більший потенційний приплив води. Визначалась водопровідність за результатами тих же дослідно-фільтраційних відкачок, що і коефіцієнт фільтрації.

До гідрогеологічних параметрів також відносять коефіцієнт рівнепровідності (α) або п'єзопровідності (α_n). Цей коефіцієнт характеризує

швидкість поширення коливань рівня тиску у водоносному горизонті. Для безнапірних горизонтів – коефіцієнт рівнепровідності, для напірних – п'єзопровідності. Для кар'єрів це важливий показник. Він впливає на те, як швидко змінюється рівень води в горизонті у відповідь на відкачку (зневоднення кар'єру). Його визначають також за результатами дослідно-фільтраційних відкачок, аналізуючи динаміку зниження рівнів у спостережних свердловинах.

Важливим для кар'єрів є гідрогеологічний показник потужність водоносного горизонту (M), тобто вертикальна товщина водоносного шару. Величина цього показника безпосередньо впливає на водопровідність та загальний об'єм води, що міститься в горизонті. Його визначають за даними буріння (геологорозвідувальних свердловин) та геофізичних досліджень.

Глибина залягання та рівень підземних вод – це відстань від поверхні землі до покрівлі водоносного горизонту. Це природний рівень води в свердловині, що не піддається відкачуванню. Глибина залягання підземних вод дозволяє визначати необхідну глибину і кількість дренажних свердловин для зневоднення, а також вплив кар'єру на прилеглі території. Цей показник визначають шляхом вимірювань рівня води в гідрогеологічних свердловинах.

Процес визначення гідрогеологічних параметрів для кар'єрів зазвичай включає:

1. Попереднє геологічне та гідрогеологічне вивчення: аналіз існуючих карт, звітів, даних буріння.
2. Буріння гідрогеологічних свердловин: для розкриття водоносних горизонтів, відбору зразків порід та води, встановлення спостережних пунктів.
3. Дослідно-фільтраційні відкачки: проведення пробних, дослідних та довготривалих експлуатаційних відкачок з фіксацією динаміки рівнів.
4. Лабораторні дослідження: аналіз фізичних властивостей порід та хімічного складу води.
5. Камеральна обробка даних: розрахунок гідравлічних параметрів на основі польових та лабораторних даних, побудова гідрогеологічних моделей.

6. Гідрогеологічне моделювання: створення комп'ютерних моделей для прогнозування припливу води в кар'єр, зони депресії, ефективності дренажних систем та впливу на навколишнє середовище.

За вихідні значення параметрів водоносних горизонтів, що входять в розрахунки очікуваних водоприпливів в кар'єр, взяті усереднені значення одержані дослідним шляхом на Сліпчицькому-1 родовищі лабрадориту [10].

Для четвертинних відкладів (пухкий розкрит):

H – середня потужність водоносної товщі – 2,8 м;

k_m – середній коефіцієнт водопровідності 0,2 м²/добу;

k – середній коефіцієнт фільтрації для тонкозернистих глинистих пісків, супісків 0,07 м/добу;

μ – водовіддача – для пісків тонкозернистих глинистих, супісків 0,05;

F – площа ділянки осушення, 59680 м²;

L – периметр ділянки осушення, 1130 м;

t – час осушення, 25 років, 9125 діб;

l – довжина фронту кар'єру, 250 м;

b – ширина розрізної траншеї – 15,5 м;

c – річне просування фронту кар'єру, 60 м;

M – середній річний модуль підземного стоку 0,68 л/с з 1 км² за 23 річний період спостережень, опорний гідрологічний пост на р. Тетерів.

Для докембрійських кристалічних порід (скельні розкритні породи, корисна копалина):

H – середня потужність тріщинуватої зони (до горизонту +187 м) – 24,2 м;

km – середній коефіцієнт водопровідності для корисної копалини в районі родовища становить – 1,7 м²/добу;

k – коефіцієнт фільтрації для кристалічних порід 0,07 м/добу;

μ – водовіддача – для сильно тріщинуватих порід 0,01;

F – площа ділянки осушення, 59680 м²;

L – периметр ділянки осушення, 1130 м;

t – час осушення, 25 років, 9125 діб;

l – довжина фронту кар'єру, 250 м;

b – ширина розрізної траншеї, 15,5 м;

c – річне просування фронту кар'єру, 60 м;

M – середній річний модуль підземного стоку 0,68 л/с з 1 км² за 23 річний період спостережень, опорний гідрологічний пост на р. Тетерів, м. Житомир.

Точне визначення цих параметрів є основою для розробки ефективних та економічно обґрунтованих проектів зневоднення кар'єрів, мінімізації екологічних ризиків та забезпечення безпечної та безперебійної роботи гірничодобувного підприємства.

2.3 Визначення водоприпливів у кар'єр

Водоприплив у кар'єр – це об'єм води, що надходить у гірничі виробки (власне кар'єр) з різних джерел за одиницю часу. Прогнозування та точне визначення величини водоприпливу є одним із ключових завдань гідрогеологічних досліджень при проектуванні та експлуатації будь-якого кар'єру. Недооцінка або переоцінка цього параметра може призвести до значних фінансових втрат, ускладнень у веденні гірничих робіт, а то й до аварійних ситуацій.

Вода може надходити в кар'єр з таких джерел:

- Підземні води. Це найбільш значуще джерело для більшості кар'єрів. Вода надходить з водоносних горизонтів, які розкриваються гірничими виробками, або підтікає по тріщинах і розломах.
- Атмосферні опади. Дощові та талі води, що безпосередньо потрапляють у чашу кар'єру.
- Поверхневі води. Вода з річок, озер, струмків або тимчасових водотоків, що розташовані поблизу кар'єру і можуть проникати в нього через тріщини, розломи або поверхневий стік.
- Техногенні витoki. Вода з водогонів, каналізаційних систем, відстійників тощо у випадку їх пошкодження або некоректної експлуатації.

Точне визначення водоприпливу необхідне для проектування системи водовідливу: визначення необхідної кількості та потужності насосних станцій, типу дренажних систем (свердловини, штольні, канали), розмірів водозбірних ємностей.

Безпека гірничих робіт також залежить від водоприпливу. Надмірне обводнення може призвести до обвалів бортів кар'єру, ускладнити роботу техніки, підвищити ризик затоплення.

Зниження рівня підземних вод внаслідок відкачування може вплинути на водопостачання прилеглих населених пунктів, стан сільськогосподарських угідь та природних екосистем.

Методи визначення водоприпливу. Оцінка водоприпливу в кар'єр може здійснюватися кількома методами, що доповнюють один одного:

Аналітичні методи. Ґрунтуються на застосуванні математичних формул, що описують фільтрацію підземних вод до гірничих виробок (наприклад, формули для необмеженого або обмеженого водоносного горизонту, для лінійного, радіального або площинного припливу). Ці формули враховують гідрогеологічні параметри (коефіцієнт фільтрації, водопровідність, потужність водоносного горизонту, коефіцієнти водовіддачі) та геометрію кар'єру.

Числові методи (гідрогеологічне моделювання). Сучасний і найточніший підхід, що використовує комп'ютерні програми (наприклад, MODFLOW, GMS, FEFLOW). Створюється цифрова модель водоносного горизонту, яка враховує його неоднорідність, анізотропію, наявність розломів, шарів з різною водопроникністю, а також вплив сусідніх водних об'єктів. Моделювання дозволяє прогнозувати водоприплив для різних сценаріїв розвитку кар'єру та варіантів систем водовідливу.

Відкачки зі свердловин. Проведення пробних, дослідних та тривалих експлуатаційних відкачок з окремих свердловин або групи свердловин. За даними цих відкачок визначаються гідрогеологічні параметри, які потім використовуються в розрахунках або моделях.

Наливи в шурфи або свердловини: Застосовуються для оцінки водопроникності слабопроникних порід.

Балансові методи (для діючих кар'єрів). Для вже існуючих кар'єрів водоприплив може бути оцінений шляхом складання водного балансу. Фіксується об'єм відкачаної води, об'єм поверхневого стоку та опадів, що потрапили в кар'єр. Різниця між цими величинами дозволяє оцінити приплив підземних вод. Цей метод дозволяє уточнити прогностні розрахунки.

Аналоговий метод. Використання даних про водоприплив на схожих кар'єрах з подібними гірничо-геологічними та гідрогеологічними умовами. Цей метод є допоміжним і використовується для попередніх оцінок.

Розрахунок припливів води в кар'єр виконаний декількома методами, дані результати зведені до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Результати розрахунків очікуваних припливів води в кар'єр

№ п/п	Метод розрахунку	Водоприпливи в кар'єр, м ³ /добу
1	Метод «великого колодязя»	107
2	Метод водного балансу	86
3	Метод гідрогеологічної аналогії	137
	Метод гідрогеологічної аналогії	152
4	Метод аналітичний	168
	Метод аналітичний	196
5	Водоприплив за рахунок інфільтрації води із струмка	58
6	Заповнення кар'єру атмосферними опадами	65
7	Можливий максимальний (зливовий) приплив води	5610

Очікуваний приплив в кар'єр визначаються як сума середнього значення (141 м³/добу) водоприпливу одержаного різними методами, водоприпливу за рахунок інфільтрації води із струмка (58 м³/добу) та заповнення кар'єру атмосферними опадами (65 м³/добу). Всього 264 м³/добу.

Процес визначення водоприпливу є ітеративним і вимагає комплексного підходу, поєднання польових досліджень, лабораторних аналізів та числових розрахунків. З часом, у міру поглиблення кар'єру та отримання нових даних, прогноз водоприпливу уточнюються.

2.4 Можливі наслідки підтоплення або пересихання прилеглих водних об'єктів

Порушення природного водного режиму внаслідок інтенсивного видобутку граніту призводить як до пересихання, так і до підтоплення прилеглих територій. Обидва явища мають серйозні екологічні та соціально-економічні наслідки (рис.2.1).

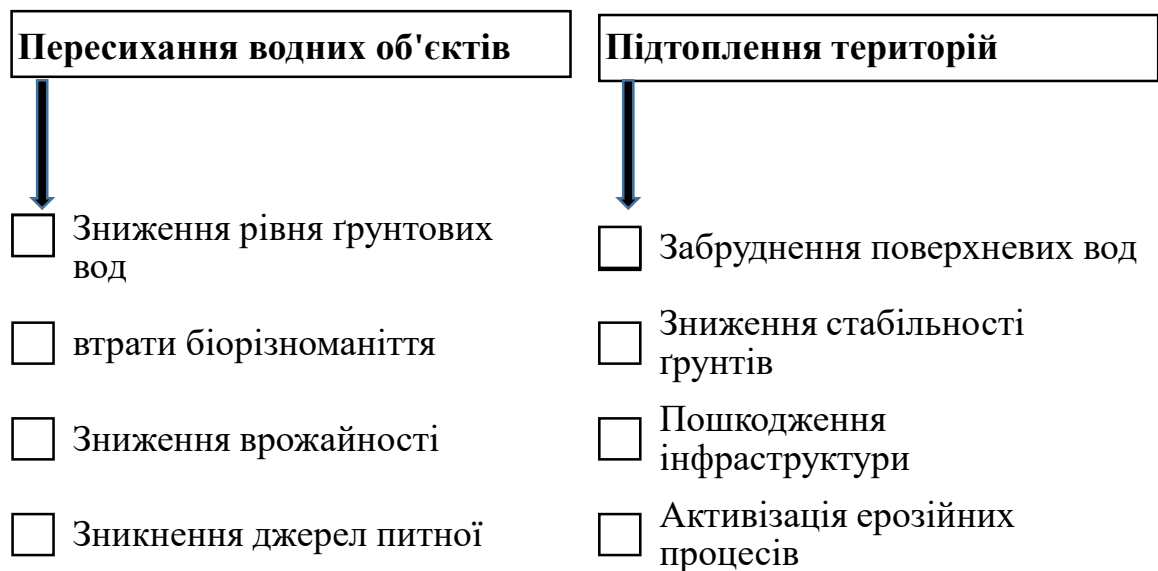


Рис.2.1. Схема наслідків пересихання підтоплення водних об'єктів

Тривале відкачування води із кар'єрів призводить до висихання малих річок, ставків, боліт, до пересихання середовищ існування популяцій водних рослин і тварин. Для місцевого населення, особливо в селах і хуторах призводить до зникнення джерел питної води та зниження самовідновної здатності природного ландшафту [11, 12, 13].

Потрапляння стічних кар'єрних вод у річки а озера призводить до забруднення поверхневих вод, заболочення навколишніх територій, зсувів ґрунту. Підтоплення територій призводять до пошкодження інфраструктури: доріг, будівель, інженерних мереж, активізації ерозійних процесів на схилах та берегах водойм.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ЗМІН

3.1 Опис методів, що використовуються для вивчення змін у водних ресурсах

При виконанні досліджень було використано вже апробовані класичні методи гідрологічних та гідрохімічних досліджень. Широко застосовувались і сучасні методи статистичного аналізу гідрологічної та гідрохімічної інформації. Зокрема, для аналізу циклічності часових рядів та встановлення повних циклів та фаз водного стоку було застосовано методи різницево інтегральних кривих, кумулятивних кривих. Норми річного водного стоку, характерні багаторічні витрати води різної забезпеченості розраховувались за аналітичними функціями розподілу щорічних ймовірностей перевищення витрат води з використанням програми «Statistica». Сучасні тенденції зміни водності річок оцінювались методом аналізу часових трендів з використанням статистичного тесту Манна Кендалла [6,10].

Для встановлення впливу водності на формування гідрохімічного режиму використовувався метод найменших квадратів та розроблені на його базі сучасні програми прикладного статистичного аналізу даних в середовищах «Statistica» та «Excell». Дослідження майбутніх змін водного стоку (довгостроковий гідрологічний прогноз) здійснювався з використанням водно-балансової моделі Турка на основі прогнозних кліматичних даних, отриманих українськими кліматологами за ансамблем регіональних кліматичних моделей.

Організація моніторингу поверхневих вод не може спиратися на адміністративний поділ території, котрий не відповідає поділові гідрографічному, тому виконання комплексного оцінювання впливу території басейну ріки, яка перетинає простір кількох областей, природним чином пов'язане з необхідністю прийняття рішень регіонального характеру. Моніторинг поверхневих текучих вод є системою, яка має за мету отримання,

нагромадження й обробку даних про якість ресурсів поверхневих вод та про причини їх забруднення. Завданням регіонального моніторингу рік є також надання інформації, яка б дозволяла оцінити якість текучих вод у межах цього басейну, і можливість на її основі прийняти правильні господарські рішення, пов'язані з використанням вод. З метою якнайкращого пристосування цілей і завдань регіонального моніторингу до реальної території, на якій він має проводитися, взято до уваги необхідність попереднього висвітлення нижче наведених питань.

1. Характеристика басейну, яка включає:

- опис географічного середовища (геологічна будова, ландшафт, продуктивно-гідрологічні властивості ґрунтів, кліматичні умови з докладним описом атмосферних опадів);
- соціально-економічну характеристику (структуру використання землі, розміщення промисловості, щільність населення);
- типи річкових русел;
- гідротехнічні споруди, меліорацію;
- хімію та біологію поверхневих вод на основі існуючих результатів досліджень.

2. Рівень забруднення ґрунтів.

Перед здійсненням польової програми спостережень за рівнем забруднення ґрунтів важкими металами в природних та техногенних ландшафтах необхідно провести планування робіт, тобто визначити приблизну кількість точок відбору ґрунтів, котрі дадуть основний фактичний матеріал, скласти схему їх територіального розташування, намітити польові маршрути або послідовність обробки площ, встановити календарні терміни виконання завдання. Крім цього треба перевірити наявність та якість топографічного матеріалу, а також тематичних карт (ґрунтових, геоботанічних, геологічних, геохімічних тощо).

Необхідно зібрати відомості про джерела забруднення ґрунтів на території (розташування, сировина, що використовується, об'єм виробництва, відходи), а також встановити зв'язок з установами, котрі зацікавлені в запланованих

дослідженнях. Спостереження за рівнем забруднення ґрунтів важкими металами носять краще проводити в сухий період. Повторні спостереження за рівнем забруднення ґрунтів важкими металами територій, що були обстежені раніше, здійснюються через 5–10 років [14, 15]. Щоб глибше зрозуміти зв'язок між ґрунтами, природними та господарськими умовами району, здійснюється попереднє розвідування місцевості. Розвідувальні обстеження проводяться маршрутним шляхом, більш або менш детально в залежності від природної складності території, ступеня її вивченості, площі та масштабу обстежень.

3.2 Проведення польових досліджень, вимірювання рівнів води та відбір проб

Експрес-методи (або швидкісні методи) оцінки фільтраційних властивостей порід ґрунтуються на законах несталого руху потоку. Вони застосовуються для наближених швидких визначень коефіцієнтів фільтрації, водовіддачі, водопровідності, п'єзопровідності та рівнепровідності пласта. Експрес-методи ґрунтуються на аналізі спостережень за зміною рівня води у свердловині після короточасного збурення напору у водоносному пласті. Використання цих методів у поєднанні з традиційними (відкачками та наливками) дозволяють отримувати достатньо точні результати, скоротити строки і вартість досліджень, а також застосовувати їх на всіх стадіях гідрогеологічних вишукувань для будь-яких видів досліджень.

Випереджаюче випробування водоносних горизонтів застосовується при обертальному бурінні свердловин у пухких породах з використанням глинистого розчину. Після того, як розкрито пласт, що був намічений до випробування, буріння зупиняють і промивають свердловину якісним глинистим розчином для забезпечення ізоляції випробуваного горизонту від вищезалягаючих. Потім дістають буровий наконечник і на бурових трубах спускають в свердловину спеціальний фільтр-випробувач промивного або шнекового типу. Після введення фільтра у випробуваний горизонт заміряється рівень води в бурових трубах і

здійснюється відкачка. Експрес-відкачки та експрес-наливи в свердловини виконуються, головним чином, для вивчення фільтраційних характеристик порід з відносно невеликою водопроникністю ($0,01 < k < 5$ м/добу). Експрес-відкачка здійснюється шляхом миттєвого зниження рівня води в дослідній свердловині (незакріпленій або обладнаній фільтром) завдяки швидкому відбору води желонкою, включенням насоса або відкриванням заслінки [16].

Експрес-налив здійснюється шляхом миттєвого підняття рівня води внаслідок одночасного її наливу або занурення під рівень води якого-небудь ємкого тіла. До недоліків експрес-методів відносять залежність отриманих параметрів від стану і збереження призабійної зони свердловини та їх малий діапазон дії (при незначному ступені збурення параметри характеризують невелику зону порід біля свердловини).

Достовірність отриманих результатів підвищують за рахунок масовості експрес-визначень (за одиночне визначення приймають середнє арифметичне значення, отримане за даними дослідів, які проведені в чотирьох точках), а також шляхом урахування стану призабійної зони. До спеціальних видів дослідно-фільтраційних робіт відносять геофізичні методи витратометрії й резистивіметрії свердловин, які у своїй основі є гідродинамічними. Використання цих методів дозволяє надати попередню орієнтовну оцінку фільтраційних властивостей і провести гідрогеологічне розчленування розрізу.

Витратометрія свердловин здійснюється для розчленування розрізу за водопроникністю, визначення фільтраційних властивостей і напорів пластів, виявлення зон перетоку і водопоглинення, оцінки роботи фільтрів та ін. Витратометрія здійснюється у фонтануючих свердловинах, при відкачках, наливах і нагнітаннях в умовах сталої (рідше – несталої) фільтрації підземних вод. Для проведення витратометрії свердловину відповідним чином готують і обладнують (встановлюють фільтр, очищають від шламу, виконують розглинизацію, шаблонування і прокачування, встановлюють обладнання). Виміри виконуються механічними або термометричними витратомірами [17].

Механічні витратоміри вимірюють швидкість пересування води за допомогою вертушки (турбіни), яка з'єднана з магнітним переривачем, за даними якого визначають частоту обертання вертушки.

Термометричні витратоміри ґрунтуються на вимірі охолодження підігрітого опору датчика розміщеного в потоку, у залежності від середньої лінійної швидкості цього потоку. За результатами витратометрії будується крива розподілу швидкостей руху води по стовбуру свердловини, за якою будують витратограму – криву приросту витрат по стовбуру свердловини або диференційну витратограму – криву змін витрат по стовбуру свердловини. По характерних точках перегину диференціальних кривих визначають інтервали найбільш проникних пластів і витрату, що припадає на ці інтервали. На підґрунті співставлення фактичних і теоретичних кривих розподілу вхідних швидкостей за потужністю кожного з відокремлених пластів роблять висновки про їх однорідність, а за співвідношенням витрат або швидкостей по окремим пластам і сумарної водопроникності (визначається будь-яким іншим методом) оцінюють параметри кожного з пластів.

Резистивіметрія свердловин використовується в тріщинуватих породах, а також у пухких відкладах, які не вміщують значну кількість глинистих і пиловатих часток. Резистивіметрія дає можливість визначити місця притоку води у свердловину та розрахувати (з деякими припущеннями) швидкість фільтрації підземних вод шляхом виміру швидкості змін концентрації сольового розчину, що заповнює стовбур свердловини, під дією фільтраційних підземних вод. В процесі гідрогеологічних досліджень для вирішення багатьох завдань (виявлення умов формування і руйнування родовищ корисних копалин, міграції хімічних і біологічних компонентів, прогнозу зміни якості підземних вод та ін.), часто виникає необхідність визначення напрямку і швидкості руху підземних вод.

Напрямок руху підземних вод співпадає з уклоном поверхні їх рівня. Він ні є постійним і змінюється в залежності від умов живлення і дренажу водоносного горизонту. Основним методом визначення напрямку руху потоку

підземних вод є використання карт гідроізогіпс або гідроізоп'єз. Перпендикуляр проведений до ізоліній рівнів води по схилу потоку й покаже напрямок руху.

Поява індикатора в спостережних виробках встановлюється хімічним, електролітичним і колориметричним способами (перші два найбільш надійні та точні). Хімічний спосіб полягає у визначенні концентрації розчину солі в спостережній виробці за допомогою хімічного аналізу. Цей спосіб застосовують при неглибокому заляганні водоносного горизонту з прісними водами.

Електролітичний спосіб відрізняється від хімічного лише способом визначення наявності й концентрацією солі в спостережній свердловині. Фіксація руху електроліту між свердловинами та поява його в спостережній свердловині проводиться за допомогою спеціального електровимірювального обладнання. Про момент появи в спостережній свердловині розчину солі судять по збільшенню електропровідності води (сила току при цьому максимальна, а опір підземних вод мінімальний).

Колориметричний спосіб полягає у визначенні часу проходження розчину барвника між пусковою та спостережною свердловинами. Наявність і концентрація забарвлюючої речовини у спостережних свердловинах встановлюється шляхом відбору з неї проб води та їх аналізу за допомогою флюороскопа. Флюороскоп – це набір з 10 скляних трубок з розчином-стандартом, концентрація якого змінюється від 0 до 5% [18,19]. Проби води порівнюють з розчинами-стандартами тієї ж самої забарвлюючої речовини різної концентрації. Часом проходження розчину вважають час від моменту запуску барвника в пускову свердловину до моменту найбільш інтенсивного забарвлення проб води зі спостережної свердловини.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВПЛИВУ КАР'ЄРА НА ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ

4.1 Оцінка впливу на водозабезпечення місцевого населення та екосистем

Характеристика хімічного складу вод. Підземні води приурочені до водоносного комплексу в тріщинуватій зоні кристалічних порід і їх корі вивітрювання (PR12).

Характеристика надається за результатами випробування свердловин. Тип води за аніонним складом переважно сульфатно-гідрокарбонатний, рідше зустрічається гідрокарбонатно-сульфатний. За катіонним складом тип води магнієво-кальцієвий. Води прісні. Сухий залишок 0,23-0,38 г/дм³. Окиснюваність 1,6-2,24 мг/дм³. Вуглекислотна агресивність 4,4-13,2 мг/дм³. Води м'які, жорсткість загальна 3,4-5,20 мг-екв/дм³, усувна – 0,4-0,8 мг-екв/дм³, рН 6,89-7,36. За макрокомпонентним складом відповідає ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Його вміст у воді досягає 1,3 мг/дм³, що не перевищує ГДК для питної води. За вмістом нафтопродуктів 0,14 мг/дм³ вода чиста (табл. 4.1)

Кар'єрні води. Вода хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатна кальцієва. Сухий залишок 0,12 – 0,29 г/дм³. Окиснюваність 2,72 мг/дм³. Агресивність до бетону – 15,4 мг/дм³. Води дуже м'які, жорсткість загальна 0,8 – 0,9 мг-екв/дм³, постійна 0,6 мг-екв/дм³, усувна – 0,3 мг-екв/дм³. Реакція води кисла. Концентрація водневих іонів (рН) 5,4 – 5,43. За макрокомпонентним складом кар'єрна вода відповідає ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Вміст у воді заліза загального відповідає межі ГДК для питної води – 0,3 мг/дм³. Хімічне споживання кисню (ХСК) 39,2 мгО₂/дм³, біологічне споживання кисню (БСК) 5,8 мгО₂/дм³, що відповідно в 1,31 і 1,9

разів перевищує ГДК для поверхневих вод та ПДК для рибогосподарських водойм (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Характеристика хімічного складу вод

Відстояні (скидні) води. Вода змішана 3-х компонентна за аніонним

Хімічні властивості	Підземні води (прісні)	Кар'єрні води	Відстояні (скидні) води	Поверхневі води вище скиду (прісні)	Поверхневі води нижче скиду
Тип води	сульфатно-гідрокарбонатний магнієм-кальцієвий	хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатна кальцієва	хлоридно-нітратно-сульфатна кальцієва	хлоридно-гідрокарбонатна кальцієва	хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатна кальцієва
Сухий залишок	0,23-0,38 г/дм ³	0,12-0,29 г/дм ³	128 г/дм ³	0,116г/дм ³	118 мг/дм ³
Окислюваність	1,6-2,24мг/дм ³	2,72мг/дм ³	4,5мг/дм ³	4,2 мг/дм ³	4,2 мг/дм ³
Вуглекислотна агресивність	4,4-13,2м/дм ³	-	-	6,8-8,8 мг/дм ³	-
Жорсткість:	Води м'які	Дуже м'які	м'які	м'які	дуже м'які, м'які
- загальна	3,4-5,2мг-екв/дм ³	0,8-0,9 м-екв/дм ³	0,9-1,0 м-екв/дм ³	1,8-2,5 м-екв/дм ³	0,4-0,2м-екв/дм ³
- постійна	-	0,6 м-екв/дм ³	0,7 м-екв/дм ³	0,7 м-екв/дм ³	-
- усувна	0,4-0,8м-екв/дм ³	0,3 м-екв/дм ³	0,2 м-екв/дм ³	1,8м-екв/дм ³	0,4 м-екв/дм ³
Реакція води		Кисла	Слаболужна	Нейтральна	Слабо-лужна
pH	6,89-7,36	5,4-5,43	7,7	7,0	7,8
За маркокомонентним складом	1,3 мг/дм ³	0,3 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³	0,05 мг/дм ³	-
За вмістом нафтопродуктів	0,14 мг/дм ³ ,	-	-	-	-
Агресивність до бетону	-	15,4мг/дм ³	-	-	-
Хімічне споживання кисню	-	39,2 мгО ₂ /дм ³	37,4 мгО ₂ /дм ³	43 мгО ₂ /дм ³	39 мгО ₂ /дм ³
Біологічне споживання кисню	-	5,8 мгО ₂ /дм ³	5,2 мгО ₂ /дм ³	5 мгО ₂ /дм ³	4,3 мгО ₂ /дм ³

складом — хлоридно-нітратно-сульфатна, за катіонним складом —

однокомпонентна – кальцієва. Сухий залишок 128 г/дм³. Окиснюваність 4,5 мг/дм³. Води м'які, жорсткість загальна 0,9 – 1,0 мг-екв/дм³, постійна 0,7 мг-екв/дм³, усувна – 0,2 мг-екв/дм³. Реакція води слаболужна рН 7,7. За макрокомпонентним складом вода із відстійника відповідає ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Його вміст у воді – 0,5 мг/дм³, що в 1,7 разів перевищує ГДК для питної води. Хімічне споживання кисню (ХСК) 37,4 мгО₂/дм³, біологічне споживання кисню (БСК) 5,2 мгО₂/дм³.

Поверхневі води вище скиду (р. Бистріївка). Характеристика за результатами детальної розвідки Сліпчицького-1 родовища лабрадориту (звіт Укргеолбуд, 2021 рік). За аніонним складом вода змішана 3-х компонентна. За катіонним складом – магнієво-кальцієва. Води прісні. Сухий залишок 456 – 462 мг/дм³. Окиснюваність 1,44 – 1,92 мг/дм³. Вуглекислотна агресивність 6,8 – 8,8 мг/дм³. Води м'які, жорсткість загальна 6,2-6,8 мг-екв/дм³, усувна – 0,2 – 4,6 мг-екв/дм³. рН 7,37 – 7,6. За макрокомпонентним складом відповідає ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості», окрім заліза загального. Його вміст у воді досягає 0,05 – 1,3 мг/дм³, що в 4,3 рази перевищує ГДК для питної води.

Характеристика за результатами досліджень води районною СЕС. Вода хлоридно-гідрокарбонатна кальцієва. Сухий залишок 0,116 г/дм³. Окиснюваність 4,2 мг/дм³. Води м'які, жорсткість загальна 1,8 – 2,5 мг-екв/дм³, постійна – 0,7 мг-екв/дм³, усувна – 1,8 мг-екв/дм³. Реакція води нейтральна, рН 7,0. За макрокомпонентним складом відповідає ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Вміст у воді заліза загального досягає 0,5 мг/дм³. Хімічне споживання кисню (ХСК) 43 мгО₂/дм³ та біологічне споживання кисню (БСК) 5,0 мгО₂/дм³.

Поверхневі води нижче скиду. Вода за аніонним складом змішана 3-х компонентна – хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатна, за катіонним складом – однокомпонентна – кальцієва. Сухий залишок 118 мг/дм³. Окиснюваність 4,2 мг/дм³. Води дуже м'які, м'які, жорсткість загальна 0,4 – 2,0 мг-екв/дм³, усувна – 0,4 мг-екв/дм³. Реакція води слаболужна, рН 7,8. За макрокомпонентним

складом вода відповідає ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Хімічне споживання кисню (ХСК) $39 \text{ мгО}_2 / \text{дм}^3$, біологічне споживання кисню (БСК) $4,3 \text{ мгО}_2 / \text{дм}^3$.

Порівняльна характеристика якості поверхневих вод вище та нижче скиду відстояних кар'єрних вод показує, що суттєвих змін в хімічному складі вод річки Бистріївка не відбулося.

Водовідливне господарство. Враховуючи, що видобування корисної копалини на Сліпчицькому родовищі габро-нориту буде проводитись довгий період часу, то розрахунок водовідливної установки на кінець відпрацювання кар'єру в даний час не є доцільним.

Згідно робочого проекту розробки і рекультивації Сліпчицького родовища габро-нориту за 2021 р. на перші 25 років експлуатації кар'єру очікуваний водопритік буде становити $1400 \text{ м}^3 / \text{добу}$ чи $58 \text{ м}^3 / \text{годину}$.

Для відкачки води із кар'єру прийнятий існуючий на кар'єрі центробіжний насос 4К-6 продуктивністю $85 \text{ м}^3 / \text{годину}$, напором 75 м водяного стовпа. Встановлена потужність електричного двигуна 55 кВт [20]. На кар'єрі працює три водовідливні насоси 4К-6 – один основний, один резервний на Сліпчицькому кар'єрі і один на Південному Сліпчицькому кар'єрі.

В кар'єрі є водозбірник у вигляді зумпфа. Зумпф розташований в північно-західній частині кар'єру. Зумпф знаходиться на найнижчій частині горизонту кар'єру і за рахунок діючої системи водопониження вся вода з усієї площі кар'єру самостійно стікає в зумпф.

Вода після відкачки з водозбірника потрапляє у перший відстійник, який знаходиться з північної сторони кар'єру. Вода у відстійнику очищується від механічних домішок, що потрапили у воду в результаті розробки родовища.

Частина води з першого відстійника використовується камене перероблювальним цехом в технологічному виробництві, а інша частина потрапляє в другий відстійник де вода повністю очищується від механічних домішок. На випадок опадів у вигляді злив по периметру кар'єру зроблена нагорна канава.

4.2. Методи контролю та зменшення негативного впливу на гідрологічні процеси (рекультивація, створення водозахисних зон)

Розробка кар'єрів неминуче впливає на гідрологічні процеси, змінюючи водний баланс і потенційно забруднюючи водні ресурси. Для мінімізації цих негативних наслідків критично важливими є рекультивація порушених земель та створення водозахисних зон (рис. 4.1).

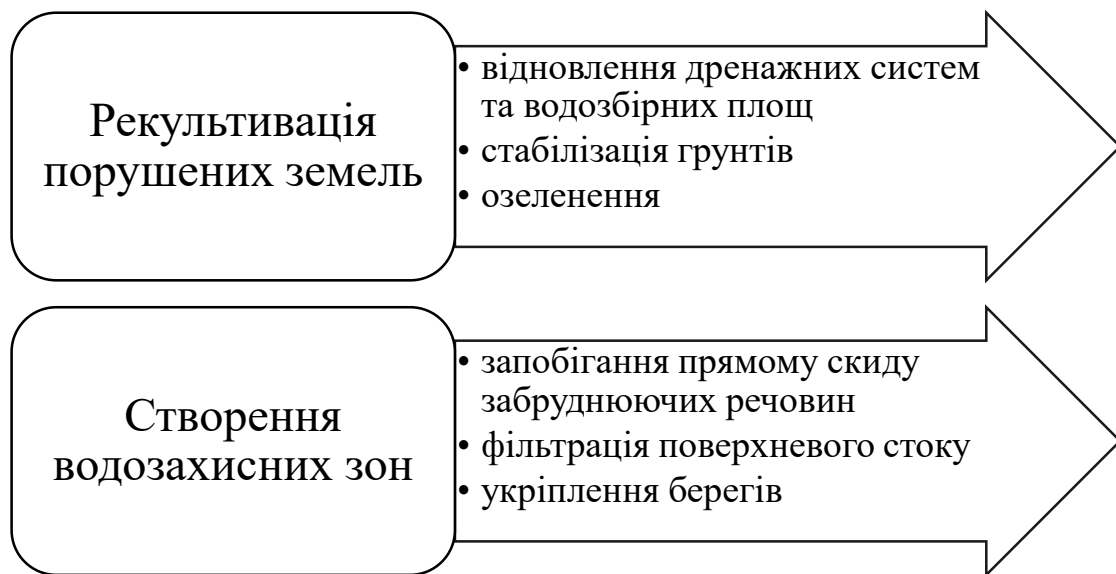


Рис. 4.1. Заходи по зменшенню негативного впливу кар'єру на гідрологічні процеси

Рекультивація спрямована на відновлення природних функцій території. Це включає: відновлення дренажних систем та водозбірних площ; стабілізацію ґрунтів для запобігання ерозії та замулення водойм; озеленення, що сприяє природній фільтрації води та поповненню ґрунтових вод [21, 22].

Водозахисні зони створюють буферну смугу між кар'єром і водними об'єктами. Їхня роль: запобігання прямому скиду забруднюючих речовин; фільтрація поверхневого стоку завдяки рослинності; укріплення берегів і збереження прибережної біорізноманітності.

На хвостосховищі Сліпчицького кар'єру пропонується висаджувати очерет звичайний та жито-тритикале для закріплення ґрунту та стабілізації ґрунту, що опосередковано впливає на гідрологію. Також на відвалах висаджувати сотні

саджанців сосни та акації та засівати трави (костриця, тонконіг, райграс, буркун).

Це буде сприяти:

- Зменшенню водної ерозії: Коренева система рослин закріплює ґрунт, запобігаючи змиванню частинок у водостоки та річки.
- Покращенню фільтрації води: Рослинний покрив сприяє інфільтрації атмосферних опадів у ґрунт, поповненню ґрунтових вод та зменшенню поверхневого стоку, який може бути забрудненим.
- Загальному поліпшенню водного балансу: Створення лісів і трав'яних покривів допомагає відновити природний кругообіг води.

Застосування цих методів у комплексі, разом з постійним моніторингом та суворим дотриманням екологічних норм, є запорукою збереження водних ресурсів під час гірничих робіт.

Крім того, враховуючи сучасні підходи на кар'єрі пропонується запровадити використання замкнутого циклу водопостачання. Збір дощової та поверхневої води для живлення штучного озера, що є відмінним прикладом управління водними ресурсами на рекультивованій території. Одним із заходів може бути висаджування червонокнижних рослин. Це не лише відновлення біорізноманіття, а й створення стабільних екосистем, здатних ефективно регулювати водний режим.

4.3 Рекомендації щодо управління водними ресурсами в зоні кар'єру

Ефективне управління водними ресурсами є критично важливим аспектом сталого функціонування гранітного кар'єру, оскільки дозволяє мінімізувати негативний вплив на довкілля, забезпечити безпеку робіт та оптимізувати виробничі процеси. Впровадження комплексних заходів з управління водними ресурсами має бути пріоритетом на всіх етапах життєвого циклу кар'єру – від проектування до рекультивації.

В своїй виробничій діяльності Керівництво Сліпчицького гранітного кар'єру має запроваджувати системи збору та використання кар'єрних вод.

В таку систему входять:

Розробка та впровадження ефективної системи дренажних каналів, водозбірних басейнів та насосних станцій для відкачування води з робочих горизонтів кар'єру. Важливо, щоб ця система була розрахована на максимальні можливі об'єми надходження води (наприклад, під час інтенсивних опадів).

Проектування поверхні кар'єру (укосів, берм) таким чином, щоб забезпечити організований стік дощових та талих вод до спеціально облаштованих водозбірних ємностей або відстійників. Це дозволить зменшити ерозію схилів та контролювати якість зібраної води.

Будівництво каскаду ставків-відстійників або гідровідвалів, які виконуватимуть функцію не тільки очищення води від завислих частинок, але й її накопичення для подальшого використання. Ці ставки можуть бути розділені на секції для первинного відстоювання та подальшої доочистки.

Підприємство також повинне запроваджувати повторне використання води у технологічних процесах:

- Зрошення доріг та пилопридушення: Зібрана та частково очищена вода може використовуватися для зволоження під'їзних доріг та робочих майданчиків з метою зменшення пилоутворення, що є значною проблемою для гранітних кар'єрів.

- Промивка агрегатів: Вода може застосовуватися для промивання дробильно-сортувального обладнання, конвеєрних стрічок та іншої техніки.

- Технологічні потреби: Залежно від специфіки виробництва, очищена кар'єрна вода може бути використана для інших технологічних потреб, які не вимагають питної якості.

- Регулярно здійснювати моніторинг притоку та відтоку води, а також об'ємів її використання, що дозволить оптимізувати споживання та планувати стратегії збору та зберігання водних ресурсів.

З метою запобігання забрудненню водних ресурсів підприємство має здійснювати контроль якості води та моніторинг., тобто:

Створювати комплексні програми моніторингу якості поверхневих та підземних вод у зоні впливу кар'єру. Ці програми повинні включати регулярний відбір проб та аналіз на вміст завислих речовин, нафтопродуктів, важких металів, рН та інших специфічних забруднювачів, характерних для гранітного кар'єру [23].

Створювати мережі спостережних свердловин та пунктів відбору проб на поверхневих водних об'єктах (річки, струмки, озера) до, під час та після зони впливу кар'єру. Застосувати, де це економічно доцільно, автоматизовані системи для безперервного моніторингу ключових показників якості води.

Тому, в роботі рекомендується запроваджувати заходи щодо запобігання забруднення від різних джерел (рис. 4.2)



Рис. 4.2. Заходи щодо запобігання забруднення від різних джерел

На підставі аналізу хімічного складу кар'єрних вод (див. розд. 4.1) впливає, що кар'єрні та скидні води мають високу окиснюваність, підвищене ХСК (до $43 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$), високий вміст заліза, а також кислу реакцію середовища ($\text{pH} \sim 5,4$), що вказує на агресивність до бетонних конструкцій ($15,4 \text{ мг}/\text{дм}^3$) [24, 25]. Тому

були розроблені конкретні рекомендації щодо зменшення негативного впливу діяльності гранітного кар'єру на навколишнє середовище та гідроресурси.

Рекомендації:

1. Побудова локальних очисних установок, що включають:
 - аерацію (для окиснення Fe^{2+});
 - нейтралізацію кислого середовища шляхом додавання лужних компонентів (наприклад, вапна);
 - механічну фільтрацію та абсорбцію органіки (активоване вугілля або цеоліти).

2. Встановити закриту систему оборотного водопостачання для мінімізації скиду вод із залишковим навантаженням.

3. Створити ізольовані відстійники для висококонцентрованих вод зі скидом (128 г/дм^3 сухого залишку), які не можна скидати у водойми без глибокої очистки.

Після скиду у водойми спостерігається погіршення якості води нижче точки скиду – підвищується окиснюваність, спостерігається погіршення жорсткості (від 2,5 до 0,2 мг-екв/дм³), збільшення рН, що вказує на хімічний дисбаланс. Рекомендації:

- Встановити біоінженерні буферні зони (рослинні фіторемедіатори – очерет, рогіз), які будуть затримувати та фільтрувати скидну воду перед попаданням у водойми.
- Створити контрольну свердловину вище і нижче скиду для регулярного моніторингу заліза, кисню, БСК, ХСК.
- Використовувати гідрогеологічні бар'єри (глиняні екрани, геомембрани) у зонах, де скидні води можуть проникати у підземні горизонти.

Як зазначалось вище кар'єрна вода є агресивною до бетону – це загрожує руйнуванням дренажних каналів, насосних станцій та резервуарів. Рекомендації:

- Всі бетонні конструкції, які контактують з кар'єрними або скидними водами, повинні мати захисне полімерне покриття або бути виготовлені з сульфатостійкого бетону.

– Проводити регулярне контрольне обстеження стану захисних матеріалів та інженерних конструкцій.

Навколишні води після скиду мають підвищені показники окиснюваності і БСК, що може впливати на екосистеми та здоров'я місцевого населення. Тому, необхідно запровадити щомісячне публічне інформування місцевої громади про стан вод (через сайти, стенди, інформаційні бюлетені). Налагодити спільний моніторинг із громадськими екоорганізаціями, створити «зелену карту впливу» – візуалізацію змін якості вод вище і нижче скиду, на основі аналітики.

Постійний пошук та впровадження новітніх технологій та методів управління водними ресурсами, впровадження цих рекомендацій дозволить гранітному кар'єру не тільки відповідати екологічним вимогам, але й сприяти сталому використанню водних ресурсів регіону, мінімізуючи негативний вплив на довкілля та забезпечуючи довгострокову перспективу його функціонування.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження кар'єру «Сліпчицьке-1» та його впливу на гідрологічні процеси в районі видобутку було отримано низку наукових та прикладних висновків. Вони стосуються як геологічної будови території, так і якісного складу вод, режиму їх циркуляції та можливих техногенних змін. Нижче подано основні висновки дослідження:

1. Кар'єр «Сліпчицьке-1» розташований у межах геологічної структури з осадовими породами, що мають високу водопроникність. Це сприяє значному впливу гірничих робіт на підземні води.

2. Гірничодобувна діяльність спричиняє порушення природного водного балансу: зниження рівнів ґрунтових вод, зменшення живлення джерел та зміну напрямку руху підземних потоків.

3. Кар'єрні та скидні води мають ознаки техногенного забруднення: підвищену окиснюваність, жорсткість, високий вміст заліза та сухого залишку. Це підтверджує негативний вплив на довкілля.

4. Аналіз води нижче місця скиду вказує на зміну гідрохімічного типу вод, погіршення її екологічної якості, що може негативно вплинути на біоценози та водоспоживання місцевого населення.

5. Зафіксовано агресивність кар'єрних вод до бетонів, що вимагає застосування спеціальних матеріалів для інженерних споруд у зоні видобутку.

6. Рекомендовано впровадити системи збору та очищення вод, фіторе mediaційні буферні зони, нейтралізацію кислотності, а також організувати постійний моніторинг якості води у підземних та поверхневих об'єктах.

7. Загалом Сліпчицький гранітний кар'єр не впливає на об'єм стоку р. Бистріївка, оскільки практично всі фільтраційні кар'єрні води, що надходять із водозбору, повертаються після очищення безпосередньо в цю річку. За тривалий час експлуатації Сліпчицького гранітного кар'єру рівні ґрунтових вод водоносного горизонту докембрійських кристалічних порід уже встановилися і

нині залишаються відносно стабільними. Подальша розробка кар'єрного масиву не впливатиме на пониження рівнів ґрунтових вод у межах недалеко розташованих сіл. Зниження рівнів води в криницях та колодязях у межах зазначених сіл в останні роки (2020– 2024 рр.) пов'язано з кліматичними змінами, що призвели до зменшення кількості опадів, підвищення температури і випаровування та, як наслідок, дуже низької водності річок практично по всій території України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нестерчук І.К. Ландшафтно-типологічна структура території Житомирської області. Фізична географія та геоморфологія. 2016. № 1 (81). С. 41–52.
2. Поверхневі води України. Гідрохімічний довідник / Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. К.: Ніка-Центр, 2008. 656 с.
3. Екологічний паспорт Житомирської області за 2023 рік [Електрон. ресурс]. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovidj%202023.pdf> (дата звернення 12.02.2025).
4. Смілий П.М., Гопчак І.В., Басюк Т.О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод Житомирського Полісся. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 2 (60). С. 41–48. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.5>.
5. Дятел О. О. Формування водообміну та його прогнозування в умовах техногенезу на меліорованих територіях Волинського Полісся : автореф. дис. канд. техн. наук. Київ, 2019. 22 с.
6. Lavryk O., Volovyk V., Maksiytov A., Tsymbaliuk V. Optimization variations of valley-river landscape-technical systems of the Right Bank zone of Ukraine. Journal of geology, geography and geoecology. 2022. Vol. 31(3). P. 504–512. <https://doi.org/10.15421/112246>.
7. Lavryk O.D., Tsymbaliuk V.V., Poshtaruk L.I. Recognition of a landscape techno-sphere as a new geosphere. Український журнал природничих наук. 2022. № 2. С. 85–94. <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.2.2023.85-94>.
8. Методика формування вартості послуг з подачі води на зрошення, промислові та комунальні потреби / Ромащенко М. І. та ін. Київ : Інститут водних проблем та меліорації, 2012. 33 с.
9. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О. Оцінка рівня техногенного навантаження Житомирської області. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. 2017. Т. 1. № 1 (58). С. 39–48.

10. Кашпаров В.О., Голяка Д.М., Левчук С.Є., Берковський В.Б. Зонування територій радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Ядерна фізика та енергетика. 2022. Т. 23. № 3. С. 182–194. <https://doi.org/10.15407/jnpae2022.03.182>.
11. Пацева І.Г., Барабаш О.В., Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацев І. С. Аналіз сучасного стану лісових ресурсів у контексті сталого розвитку. Технології захисту навколишнього середовища. 2023. № 4 (493). С. 205–211. [https://doi.org/10.15589/znp2023.4\(493\).27](https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).27).
12. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2022 році [Електронний ресурс]. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovidj%202023.pdf> (дата звернення 13.08.2024).
13. Статистичний щорічник України за 2021 рік. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. URL: <https://www.zt.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 22.04.2025).
14. Стратегія розвитку Житомирської області до 2027 року [Електрон. ресурс]. URL: http://dfrr.minregion.gov.ua/foto/projt_reg_info_norm/2020/01/Strategiya-do-2027-roku.pdf (дата звернення 12.03.2025).
15. Khomiak I., Harbar O., Kostiuk V., Demchuk N., Vasylenko O. Synphytoindication models of the anthropogenic transformation of ecosystems. *Natura Croatica*. 2024. Vol. 33. №. 1. P. 65–77. <https://doi.org/10.20302/NC.2024.1.5>.
16. Lad R. J. and Samant J. S. Environmental and social impacts of stone quarrying-a case study of kolhapur district. *International Journal of Current Research*. 2014. Vol. 6(3). P. 5664–5669.
17. Управління екології та природних ресурсів Житомирської облдержадміністрації. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua> (дата звернення 13.08.2024).
18. S. Bewiadzi, R. Awubomu1 and N. Glover-Meni. Searching and Cracking: Stone Quarrying, Livelihood and the Environment in the Daglama Quarry

Site in the Ho Municipality. *West African Journal of Applied Ecology*. 2018. Vol. 26. P. 149–166.

19. Fangmann A. Trends in beobachteten Abflusszeitreihen in Niedersachsen / Fangmann A., Belli A., Haberlandt U. // *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*. 2013. №57. P. 196-205

20. Global Change: Enough Water for all? – Hamburg : Wssenschaftliche Auswertungen, 2007. 385 p.

21. . Оцінка можливих змін водних ресурсів місцевого стоку в Україні в XXI столітті / Сніжко С., Яцюк М., Купріков І. та ін. // *Водне господарство України*. 2012. №6(102). С. 8-16.

22. Обухов Є. В. Сучасні показники забезпеченості населення України водними ресурсами / Є. В. Обухов // *Укр. гідрометеорологічний журнал*. 2011. №8. С. 176-181

23. Процеси формування хімічного складу поверхневих вод / Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Линник П. М. та ін. – К. : Ніка-Центр, 2013. – 240 с

24. Development and testing of the HYPE water quality model for different spatial scales / Lindström G., Pers C. Rosberg J. etc. // *Hydrology Research*. 2010. Vol. 41, Is. 3-4. P. 295-319.

25. Awoke Endalew, Endalew tasew, Solomon tolahun. Environment and Social Impacts of Stone Quarrying: South Western Ethiopia, in Case of Bahir Dar Zuria Wereda Zenzelma Kebele. *International Journal of Research in Environmental Science*. 2019. Vol. 5(2). P. 29–38