

УДК 622.88

<https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.010>

**АСПЕКТИ БЕЗПЕЧНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ
ВІДХОДІВ ЯК ЗАКЛАДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТЕХНОГЕННИХ ПУСТОТ**

М.В. Петльований^{1*}, К.С. Сай¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро,
Україна

*Відповідальний автор: e-mail: petlovanyi.m.v@nmu.one

**SAFETY ASPECTS OF USE OF INDUSTRIAL WASTES
AS BACKFILLING MATERIALS FOR TECHNOGENIC CAVITIES**

M.V. Petlovanyi^{1*}, K.S. Sai¹

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: petlovanyi.m.v@nmu.one

ABSTRACT

Purpose. Analysis and identification of the main aspects of the safety of using low-hazard industrial waste as filling materials for quarry voids to restore the level of the earth's surface.

Methods. To achieve the set goals, an analysis and systematization of a number of legislative and regulatory acts on the management of industrial waste and their possible use for backfilling the mined-out space of inactive quarries was used; analysis of existing practical experience in the use of industrial waste for reclamation of produced quarry spaces in Ukraine.

Findings. The industrial waste with a high probability can be used as backfill materials if, in terms of toxicity and radioactivity, they are assigned to classes IV and I, which are equivalent to building materials and can be used to form a backfill mass in mined-out quarry spaces has been determined. There is effective and practical experience in backfilling the mined-out space of quarries with industrial waste has been established that. A scheme and sequence of experimental studies of the contact of backfill materials with the aquatic environment for dry and water-logged deposits, which makes it possible to assess the safety of their use is recommended.

Originality. The features and ways to determine the possibility of safe use of low-hazard industrial waste for backfilling mined-out quarry space are revealed and generalized.

Paratactical implication. The research results are valuable for stimulating the development of environmental programs of state and local importance to restore territories disturbed by mining operations and increase the volume of recycling of low-hazard industrial waste.

Keywords: quarry cavities, industrial waste, backfill mass, reclamation, pollution, groundwater, insulation

1. ВСТУП

Антропогенна діяльність, що пов'язана з видобуванням корисних копалин призводить до значного впливу на довкілля. Особливого ураження зазнає земна поверхня. Так, внаслідок видобутку корисних копалин відкритим і підземним способом утворюються наступні форми порушень: кар'єрні пустоти, зони зрушень та провалів земної поверхні, багатотоннажні накопичення на значних площах. Зазначені порушення земної поверхні призводять до забруднення поверхневих і підземних водних ресурсів, зміни їх гідрологічного режиму та ерозії родючих ґрунтів, пилового забруднення атмосфери. Окрім довкілля має місце негативний соціально-економічний вплив зазначених форм порушень: не використовується потенціал земельних площ, створюються депресивні техногенні ландшафти, соціальне напруження та мають місце переселення мешканців з ліквідацією селищ, руйнування промислової і цивільної інфраструктури [1-5].

Станом на 2021 рік на території України площа земель, що зайняті під відкритими розробками, шахтами й рудниками, торфорозробками з відповідними спорудами та будівлями склала 52,73 тис. га. Лідерами є такі області: Дніпропетровська – 23,57 тис. га, Донецька – 5,83 тис. га, Житомирська – 4,22 тис. га; загалом – 52,73 тис. га [6]. Слід відзначити також значні площі, що порушені негативним впливом гірничих робіт – просідання та заболочування.

Ефективним заходом попередження порушень земної поверхні при підземній розробці родовищ цінних видів корисних копалин є застосування технології закладання виробленого простору [7-9]. Формування закладного масиву сприяє попередженню просідань земної поверхні та утилізації багатотоннажних накопичень промислових відходів. Ці заходи особливо важливі якщо у регіонах широко розвинена промислова та цивільна інфраструктура. Шахти та рудники, що не застосовують закладання виробленого простору на земній поверхні, утворюють зони зрушення та значні провали, що створює техногенну небезпеку й нівелює земельний потенціал територій. При відкритих гірничих роботах заходам закладання відпрацьованих кар'єрних пустот сьогодні недостатньо приділено уваги. Зазвичай використовуються заходи рекультивації для відновлення порушених земель, що складаються з гірничотехнічного та біологічного етапів [10]. Порушені гірничими роботами території повинні бути повернені до стану, максимально наближеного до природнього, як з позиції соціально-економічних аспектів, так і законодавчих. Так, відповідно до ст. 166 Земельного кодексу України, після завершення експлуатації кар'єра, територія, яка зазнала змін у результаті проведення гірничодобувних робіт, підлягає рекультивації [11]. На жаль, в Україні темпи рекультивації є вкрай низькими.

У зв'язку з тим, що зазвичай при проектуванні рекультивації порушених кар'єрною розробкою територій об'ємів розкривних порід недостатньо для повної засипки вироблених просторів кар'єрів через вилученням об'єму корисної копалини, найчастіше приймаються рекреаційний, водогосподарсь-

кий та лісогосподарський напрями рекультивації. Але якщо порушення земної поверхні відбулось на землях, зайнятих промисловістю, – відбувається втрата їх економічного потенціалу у зв'язку з прийняттям вищезазначених напрямів рекультивації.

Досягнення успіхів у розвитку будівельного та сільськогосподарського напрямів рекультивації порушених гірничими роботами територій за умов відновлення рівня земної поверхні можливе через використання накопичених промислових відходів як рекультиваційного матеріалу при заповненні техногенних пустот. Особливо це розумно, якщо порушені землі знаходяться у гірничопромислових районах, де широко розвинені різноманітні галузі промисловості й, відповідно, є наявність багатотоннажних накопичень промислових відходів.

Проте, використання промислових відходів як рекультиваційного або закладного матеріалу, потребує обов'язкового доведення їх безпечності для природного навколишнього середовища та безпеки здоров'ю населення. У дослідженні розкривається різний спектр особливостей оцінки безпечності застосування промислових відходів як закладних матеріалів при заповненні кар'єрних пустот.

2. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ У ДОСЛІДЖЕННІ

Для досягнення поставленої мети проаналізовано низку законодавчих та нормативних актів щодо поводження з промисловими відходами й можливого їх використання для закладання виробленого простору недіючих кар'єрів. Акцентовано увагу на необхідності виконання основних вимог екологічної безпеки при застосуванні промислових відходів як закладних матеріалів кар'єрних пустот: відсутності істотного токсикологічного та радіоактивного впливу на водоносні горизонти. Проаналізовано існуючий практичний досвід щодо використання промислових відходів для рекультивації вироблених просторів кар'єрів в Україні. Визначено основні складові елементи нової рекомендованої схеми експериментальних досліджень контакту промислових відходів як закладних матеріалів з водним середовищем для сухих та обводнених родовищ, що дозволяє оцінити безпечність їх застосування.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Законодавчо-нормативні аспекти й основні вимоги до використання промислових відходів як закладних матеріалів

Згідно нового Закону України «Про управління відходами», використовується поняття «зворотне заповнення». Це операція з відновлення, у результаті якої придатні для цього відходи, що не є небезпечними та/або інертними, використовуються для заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивації відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт, замінюючи при цьому матеріали, які не є відходами [12]. Тобто, якщо промислові відходи при заповненні пустот у надрах не несуть небезпеки довікллю та

здоров'ю населенню, вони можуть розглядатись в якості рекультиваційного або закладного матеріалу.

Згідно ст. 48 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», для підприємств та організацій, що утворюють відходи в результаті своєї діяльності, може здійснюватися стимулювання в системі охорони навколишнього природного середовища [13]. Так, при впровадженні ними маловідхідних, енерго- і ресурсозберігаючих технологій та здійсненні інших ефективних заходів, спрямованих на поліпшення охорони навколишнього природного середовища, надаються пільги при оподаткуванні.

Крім того, заповнення вироблених просторів відпрацьованих кар'єрів з метою відновлення земної поверхні та земель, відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 17.09.1996 р. № 1147, належить до природоохоронного виду діяльності (пп. 27, 33, 74-1) [14]. Також вагоме значення має те, що суб'єкти господарювання, згідно ст. 240, п. 5. Податкового кодексу України, не є платниками податку за розміщення відходів, які розміщують на власних територіях (об'єктах) виключно як вторинну сировину [15]. Засипка та гірничотехнічна рекультивація, згідно норм чинного законодавства, являється утилізацією (повторним використанням) відходів, що не є об'єктом сплати екологічного податку.

Прийняття рішення щодо рекультивації кар'єру шляхом формування закладного масиву на основі промислових відходів повинно ґрунтуватись на тому, що пропонувані відходи за показниками токсичності й радіоактивності є будівельним матеріалом, придатним для заповнення кар'єрних пустот. Як відомо, промислові відходи є небезпечними і поділяються за індексами токсичності на I, II, III, IV класи від найбільш небезпечних до малонебезпечних [16]. Сьогодні відсутній нормативний документ, який встановлює клас безпеки для кожного найменування відходу. Немає детального закріплення певних речовин до конкретного класу безпеки відходів. Визначати склад і властивості відходів, що утворюються, ступінь їх безпеки станом на сьогодні покладено на суб'єктів господарювання. Ступінь радіоактивності визначається за ефективною питомою активністю природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній сировині [17]. За радіоактивністю виділяють відходи I, II та III класу – від мало до найбільш небезпечних. Отже, якщо певний вид промислового відходу розглядається як потенційний закладний матеріал і за визначеними показниками токсичності та радіоактивності відноситься до IV і I класу, то він може бути розцінений як будівельний матеріал і використовуватись для будівництва (формування) закладного масиву у вироблених просторах кар'єрів.

Якщо звернути увагу на положення Державних будівельних норм (ДБН) щодо спорудження полігонів твердих відходів (ПТВ) [18], то перелік токсичних відходів, що приймають на полігон, визначається регіональними контролюючими органами. Допускається приймання на ПТВ інших видів промислових і будівельних відходів за окремими дозволами з місцевими органами екологічного та санітарно-епідеміологічного нагляду. Тобто, рішення можливості розміщення відходів приймається контролюючими органами на підставі детальних обґрунтувань. Також зазначається, що полігони твердих відходів рекомендується споруджувати у вироблених просторах кар'єрів та

відпрацьованих родовищах як закладні суміші з урахуванням вимог екологічної, санітарно-епідеміологічної безпеки та охорони праці. Отже, із дотриманням встановлених вимог промислові відходи IV класу небезпеки можуть з успіхом бути використані як закладний матеріал кар'єрних пустот.

Згідно попередніх досліджень [19], основні види відходів, що повинні першочергово розглядатись для закладання кар'єрних пустот наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Пріоритетні матеріали природного та техногенного походження, перспективні до використання як закладні компоненти

Потенційні закладні матеріали	Походження	Клас небезпеки відходів	Джерело утворення	Місце складування
Розкривні та шахтні породи	природне	IV	Шахти та кар'єри	Відвали розкривних та шахтних порід
Металургійні шлаки	техногенне	IV	Металургійні комбінати	Шлакові відвали
Хвости і шлами збагачення	техногенне	IV	Гірничо-збагачувальні комбінати	Хвостосховища
Золошлаки та суха зола-виносу	техногенне	IV	Теплові електростанції	Золовідвали, золошлаковідвали

У науковій праці [20] авторами виконані комплексні аналітичні дослідження щодо виявлення в Україні перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал», в яких основу потенційних закладних матеріалів складають вищенаведені матеріали природного та техногенного походження.

3.2. Аналіз практичних прикладів застосування малонебезпечних промислових відходів для заповнення кар'єрних пустот

Представляє науковий та практичний інтерес аналіз наявного досвіду застосування промислових відходів з метою заповнення кар'єрних пустот на території України. Виконано аналіз низки інформаційних джерел стосовно випадків застосування промислових відходів IV класу небезпеки для рекультивації вироблених просторів кар'єрів (рис. 1).

Так, у зв'язку із ліквідацією Смолінської шахти (у 2025 році), що розробляє уранові руди, передбачається також закриття діючого кар'єру з видобутку піску (Родовище – Смолінське). Об'єкт наведено на рисунку 1а. Зазначені підприємства входять до складу ДП «Східний гірничо-збагачувальний комбінат». Піщаний кар'єр будувався з метою видобування піску як сировини для здійснення закладання виробленого простору уранової шахти. Розроблено проєкт рекультивації піщаного кар'єру Смолінського родовища пісків, де сформовані заходи щодо відновлення рівня земної поверхні шляхом заповнення виробленого простору малонебезпечними відходами гірничого вироб-

ництва [21]. Так, площа порушеної території від експлуатації кар'єру, яка підлягає рекультивації, складає 50,0 га, при цьому об'єм виробленого простору на момент закриття кар'єру складе 6,35 млн. м³. Заходи рекультивації, які передбачають погашення відпрацьованого простору кар'єра комплексом відходів гірничого виробництва, включають наступні матеріали: пусті породи від проходки гірничих виробок шахти; нейтралізовані відходи купного вилуговування; відходи рудозбагачувальної фабрики; матеріали від розбирання будівель і споруд та рекультивації території шахти; а також перекриття його з поверхні природними ґрунтами (суглинком і родючим ґрунтом). Всі типи відходів відповідають IV класу небезпеки. Згідно розрахунків проекту, всього за період рекультивації для повного заповнення виробленого простору в кар'єр буде укладено 10,99 млн. т матеріалів. Проект рекультивації розроблено проектним інститутом ДП «УкрНДПРІ промтехнології» у 2019 році.

Іншим прикладом заповнення відпрацьованих кар'єрних пустот є кар'єр №2 «Центральний ГЗК» (родовище залізних руд – «Велика Глеюватка»), де здійснюється етап гірничотехнічної рекультивації (рис. 1б).

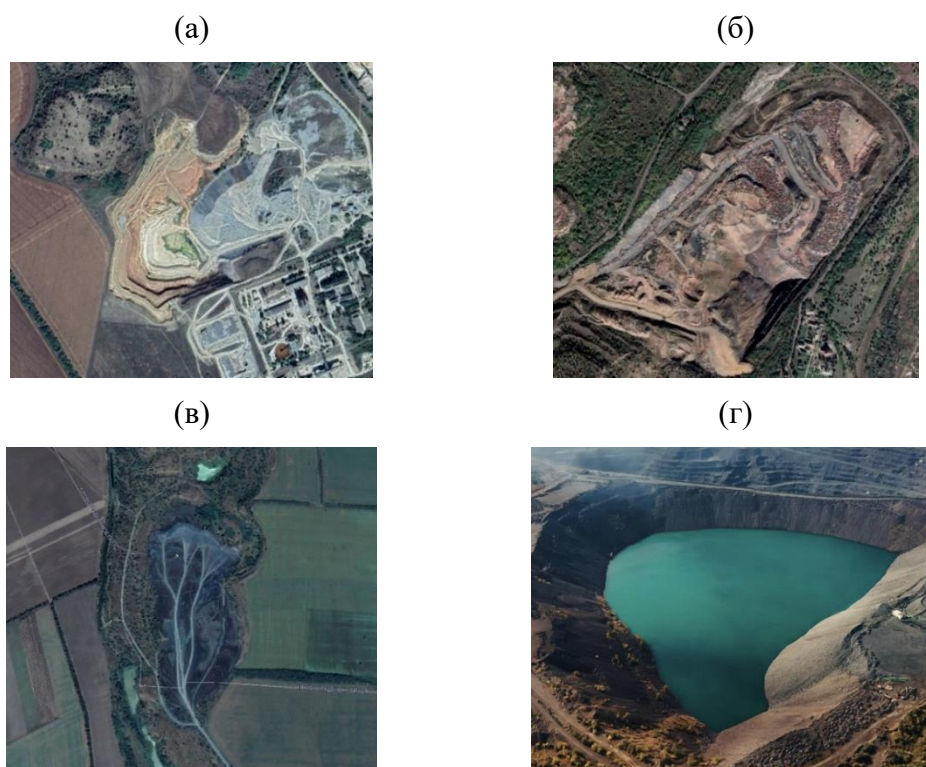


Рисунок 1. Рекультивація кар'єрних пустот промисловими відходами: (а) кар'єр ДП «Східний ГЗК»; (б) кар'єр № 2 ПрАТ «Центральний ГЗК»; (в) кар'єр ТОВ «Побужський феронікелевий комбінат»; (г) кар'єр НКГЗК № 1 ПрАТ «АрселорМітал Кривий Ріг»

В якості рекультиваційного матеріалу застосовуються розкривні та скельні породи діючого кар'єру №1 «Центральний ГЗК». Даний тип відходу відповідає IV класу небезпеки (малонебезпечний). Щорічно у вироблений простір відсипається 1,5-1,7 млн. м³ розкривних порід або 4,0-4,5 млн. м³ [22]. Об'єм

виробленого простору кар'єру складає понад 70 млн. м³. Ступінь заповнення – 50-60%. Після засипання породами до рівня земної поверхні буде звільнено земельну ділянку площею 80 га, яку передбачається використати для формування нового зовнішнього відвалу й попередити відчуження нових земельних площ. Проєкт рекультивації розроблено Державним інститутом проєктування підприємств гірничорудної промисловості «Кривбаспроект» у 2014 році.

Для заповнення виробленого простору закритого кар'єру «Центральний» з видобутку нікелевих руд (родовище – Деренюхівсько-Липовеньківська зона), ТОВ «Побужський феронікелевий комбінат», який не ведено на рисунку 1в, з метою рекультивації використовується шлак електропічний феронікелевого виробництва, визнаний екологічно нейтральним матеріалом, щоб уникнути впливу на склад підземних вод. Даний тип відходу відповідає IV класу небезпеки (малонебезпечний). Щорічно у відпрацьованому кар'єрі в якості рекультиваційного матеріалу утилізується 0,7-1,0 млн. т шлаків феронікелевого виробництва. У результаті виконання засипки виробленого простору кар'єру планується відновити земельну ділянку площею 45,3 га. Проєкт рекультивації розроблено у 2004 році Державним інститутом проєктування підприємств гірничорудної промисловості «Кривбаспроект».

Заслуговують уваги теоретичні розробки у напрямку рекультивації кар'єрних пустот на ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча». На замовлення комбінату у 2020 році були розроблені та затверджені відповідними державними установами технічні умови ТУ У 08.1-00191158-002:2020, що регламентують використання металургійних шлаків комбінату як закладного матеріалу для технічної рекультивації вироблених просторів кар'єрів [23, 24]. У 2023 році планувалось розробити проєкт на рекультивацію кар'єру № 2 Каранського родовища гранітів шляхом формування закладного масиву на основі металургійних шлаків. Згідно попередніх розрахунків, передбачалось відновити 50 га цінних земель, утилізувати 22 млн. т металургійних шлаків протягом 11 років та попередити утворення нових шлакових відвалів. У зв'язку із окупацією м. Маріуполь російською федерацією робочий проєкт на рекультивацію не розроблявся.

У Криворізькому регіоні для рекультивації закритого залізорудного кар'єру Новокриворізького гірничо-збагачувального комбінату (НКГЗК) № 1 ПрАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» здійснює повну засипку його виробленого простору розкритими породами з близько розташованого діючого кар'єру № 2-біс [22]. Технологічні процеси відсіпання пустих порід реалізуються за допомогою драглайну. Щорічно у виробленому просторі кар'єру № 1 утилізується близько 5-6 млн. т порід. Слід зазначити, що кар'єр № 1 є затопленим до природного рівня підземних вод й формування засипання порід здійснюється у обводнене середовище, адже згідно вимог закладний матеріал схожий з геологічною будовою родовища.

Отже, проведений аналіз існуючого досвіду рекультивації кар'єрів свідчить, що застосування промислових відходів IV класу небезпеки (малонебезпечні) у якості рекультиваційного (закладного) матеріалу є цілком можливим при дотриманні екологічних та санітарно-гігієнічних вимог. Всі зазначені проєкти свого часу пройшли оцінку впливу на навколишнє середовище, отримали позитивний висновок і відповідають чинним нормам законодавства.

3.3. Експериментальні дослідження безпечності використання промислових відходів як закладних матеріалів

Особлива увага при заповненні кар'єрних пустот відходами IV класу небезпеки повинна приділятися можливому забрудненню підземних вод. Незважаючи на малонебезпечність відходів IV класу за токсичністю при контакті твердих фракцій з водою може змінюватись їх природний хімічний склад і підвищитись концентрація забруднюючих речовин. Тому, окрім отримання висновків спеціалізованих організацій за замовленням підприємств-утворювачів відходів щодо результатів санітарно-хімічних та токсиколого-гігієнічних досліджень промислових відходів, автори статті рекомендують проводити додаткові лабораторні дослідження, що розкриють вірогідність забруднення. Кар'єри розробляють як сухі, так і обводнені родовища. На рисунку 2 ілюструється рекомендована схема експериментальних досліджень контакту промислових відходів як закладних матеріалів з водним середовищем для двох випадків – сухих та обводнених родовищ.



Рисунок 2. *Схема експериментальних досліджень взаємодії закладних матеріалів кар'єрних пустот з водними ресурсами: (а) в умовах сухих кар'єрів: 1 – ємність; 2 – закладний матеріал; 3 – фільтрат; 4 – ємність для збору фільтрату; 5 – отвори у днищі ємності; 6 – висота шару закладного матеріалу; 7 – імітація атмосферних опадів; (б) в умовах обводнених кар'єрів: 1 – ємність; 2 – кран для зливу розчину; 3 – розчин; 4 – ємність для збору розчину; 5 – закладний матеріал; 6 – висота шару закладного матеріалу; 7 – рівень заповнення кар'єрною водою; $V_в$, $V_з$ – об'єми води та закладного матеріалу в ємності відповідно, m^3*

Для зручного та оперативного визначення хімічного складу продуктів контакту води із закладним матеріалом пропонується використання сучасного приладу фотометр Exact® Micro 20. Професійний фотометр Exact® Micro 20 американської корпорації Industrial Test Systems Inc – це цифровий фотометричний прилад для аналізу питної та технічної води як у лабораторних, так і промислових умовах. Фотометр запрограмований на аналіз понад 40 параметрів води, зокрема, солей, заліза, марганцю, хлоридів, сульфатів, нітратів, нітритів, важких металів та інших хімічних елементів. Прилад забезпечує лабораторну точність вимірювання і, на відміну від візуальних тестів, виключає суб'єктивний вплив на визначення результату [25].

При розробці сухих родовищ корисних копалин, а також осушених родовищ, внаслідок впливу депресійних воронкоподібних гідрогеологічних умов кар'єрів вважаються простими, і єдиним джерелом водопитоків у кар'єрі є атмосферні опади. Останні видаляються природним шляхом за рахунок випаровування та фільтрації у нижній водоносний горизонт. Отже, при заповненні кар'єрних пустот закладним матеріалом атмосферні опади фільтруються крізь його шар і здатні потрапляти у нижній водоносний горизонт. Для таких випадків рекомендується проведення лабораторних досліджень за схемою, що зазначена на рисунку 1а.

Для імітації умов фільтрації атмосферних опадів крізь закладний масив потрібно визначити середню кількість опадів за тривалий час, що випадає в регіоні, де планується формування закладного масиву у виробленому просторі кар'єру.

Визначення обсягу атмосферних опадів пропонується здійснювати, ґрунтуючись на статистичних даних щодо погодних умов на території України. З використанням даних Українського гідрометеорологічного центру з'являється можливість визначити стійку та середньозважену кількість атмосферних опадів і похмурих дощових днів за місяць протягом періоду (з 1899 по 2021 роки). Далі визначається показник кількості опадів на площу поверхні закладного масиву ($\text{л}/\text{м}^2$). Визначену кількість імітованих атмосферних опадів з дотримання геометричної подібності фізичної моделі пропускають крізь шар закладного масиву, а фільтрат збирають у спеціальну ємність і далі досліджують його хімічний склад. Також обов'язковою умовою є дослідження хімічного складу води нижнього водоносного горизонту кар'єру, який буде виступати як фонові концентрація.

Профільтрована вода та вода водоносного горизонту порівнюються між собою та робиться висновок щодо безпечності застосування певного виду промислового відходу для закладання виробленого простору кар'єру з позиції забруднення. Примітно, що за схемою рисунку 2а можна виконати значну кількість експериментів з широкою варіацією параметрів, зокрема висоти заповнення закладного шару та кількості профільтрованих атмосферних опадів.

При обводнених кар'єрах у обводнену частину, зазвичай, розміщують розкриті скельні породи, оскільки вони мають близький хімічний та радіонуклідний склад із природними породами основи кар'єру. Проте, може бути розглянута можливість розміщення деяких промислових відходів IV класу небезпеки. Для таких випадків рекомендується проведення лабораторних досліджень за схемою, вказаною на рисунку 1б.

В ємності досліджується взаємодія закладного матеріалу з кар'єрними водами водоносного горизонту. Перед змішуванням визначається первинний хімічний склад кар'єрних вод, що є фонові концентрацією для подальшого порівняння. За такою схемою досліджень (рис. 1б) з'являється можливість виконати значну кількість експериментів з широкою варіацією параметрів, а саме: різних об'ємів кар'єрної води та закладного матеріалу, часу їх витримки для дослідження динаміки зміни показників тощо. Рекомендується також досліджувати хімічний склад розчину при первинній та вторинній витримці (нова вода) закладного матеріалу.

Якщо промислові відходи чинять істотний вплив на підземні води, то обов'язковою умовою є проведення заходів щодо інженерно-геологічного захисту днища кар'єру, що ізолює та герметизує вірогідний контакт кар'єрних вод з утвореним закладним масивом. Рекомендується першочергово розглядати можливість укладання в основі кар'єру розкриті та скельні пусті породи у суміші з суглинками для сухих родовищ або розкриті скельні породи в обводнену частину кар'єру вище природного рівня води. Ці породи мають близький хімічний та радіонуклідний склад із природними породами основи кар'єру і не створюють забруднення. У випадку прогнозованої низької ефективності ізоляції можуть бути застосовані більш складні заходи із застосуванням геотекстильних матеріалів, що зазначається в інформаційних джерелах та нормативних документах ДБН [18, 26]. Для обводнених родовищ у крайніх випадках може розглядатись будівництво систем дренажу та відкачування кар'єрних вод.

Якщо доведена абсолютна відсутність впливу закладного масиву на підземні води, то може бути розглянута можливість розміщення певних видів промислових відходів IV класу небезпеки у днищах кар'єрів без заходів герметизації та ізоляції гірського масиву. Для остаточного висновку щодо безпечності використання промислових відходів як закладних матеріалів слід врахувати також наступні фактори: наявність або відсутність у регіоні інтенсивного водозабору поблизу кар'єру, де планується технічна рекультивация; характеристику порід днища кар'єру; їх фільтраційні властивості та відмітки горизонту підземних вод; коефіцієнт фільтрації закладного матеріалу.

Проведення досліджень за схемою, наведеною на рисунку 1, дозволить переконливіше представити результати можливого впливу використання промислових відходів у звіті оцінки впливу на довкілля проєкту рекультивации кар'єру, який підлягає обов'язковій експертизі Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України.

4. ВИСНОВКИ

У процесі виконання досліджень отримані наступні науково-практичні результати:

1. Проаналізовано та узагальнено низку існуючих законодавчо-нормативних аспектів і основних вимог до використання промислових відходів як закладних матеріалів кар'єрних пустот. Визначено, що промислові відходи з високою вірогідністю можуть використовуватись як закладні матеріали, якщо за визначеними показниками токсичності та радіоактивності вони віднесені до IV й I класу відповідно. Відходи цих класів відносяться до будівельних матеріалів і можуть використовуватись для будівництва (формування) закладного масиву у вироблених просторах кар'єрів. Остаточне рішення приймається контролюючими та місцевими органами із дотриманням екологічних та санітарно-епідеміологічних вимог.

2. Виконано аналіз наявного досвіду застосування промислових відходів IV класу небезпеки з метою заповнення кар'єрних пустот на території України. Визначено, що застосування промислових відходів IV класу небезпеки (мало-небезпечні) як рекультивацийного (закладного) матеріалу є цілком можливим

при дотриманні екологічних та санітарно-гігієнічних вимог. Всі проаналізовані проекти рекультивації пройшли процедуру оцінки впливу на навколишнє природне середовище, отримали позитивний висновок і відповідають чинним нормам законодавства.

3. Рекомендовано схеми та послідовність експериментальних досліджень контакту промислових відходів як закладних матеріалів з водним середовищем для сухих та обводнених родовищ, що дозволяє оцінити безпечність їх застосування. Виконання зазначених досліджень дозволить переконливіше представити результати можливого впливу від використання промислових відходів у звіті оцінки впливу на довкілля проєкту рекультивації кар'єру, який підлягає обов'язковій експертизі.

ВДЯЧНІСТЬ

Дослідження виконані в рамках наукового грантового проєкту від Національного фонду досліджень України 2021.01/0306 «Розробка технології відновлення порушених гірничими роботами територій шляхом формування закладних масивів на основі природно-техногенних матеріалів».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Antonik, V.I., Petrukhin, A.V., & Antonik, I.P. (2017). Impact of dumps and tailings storage facilities of Kryvorizhia mining and beneficiation plants on the state of ecology of the surrounding areas. *Bulletin of Kryvyi Rih National University*, (44), 161-166.
2. Tymchuk, I., Malovanyu, M., Shkvirko, O., Chornomaz, N., Popovych, O., Grechanik, R., & Symak, D. (2021). Review of the global experience in reclamation of disturbed lands. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22(1), 24-30. <https://doi.org/10.12912/27197050/132097>
3. Petlovanyi, M., Sai, K., Malashkevych, D., Popovych, V., & Khorolskyi, A. (2023). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012007>
4. Shi, Z., Wu, Y., Chiu, Y., Wu, F., & Shi, C. (2020). Dynamic linkages among mining production and land rehabilitation efficiency in China. *Land*, 9(3), 76. <https://doi.org/10.3390/land9030076>
5. Грін'юв, В.Г., & Хорольський, А.О. (2022). Потенціал розвитку досліджень щодо створення технології оптимального проєктування природокористування. *Фізико-Технічні Проблеми Гірничого Виробництва*, (24), 103-127. <https://doi.org/10.37101/ftpgp24.01.008>
6. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році*. (2022). Київ, Україна: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 514 с.
7. Xue, G., Yilmaz, E., & Wang, Y. (2023). Progress and prospects of mining with backfill in metal mines in China. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 30(8), 1455-1473. <https://doi.org/10.1007/s12613-023-2663-0>
8. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., Bulat, I., & Popovych, V. (2021). Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 122-129. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.122>

9. Petlovanyi, M.V., Malashkevych, D.S., & Sai, K.S. (2020). The new approach to creating progressive and low-waste mining technology for thin coal seams. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 765-775. <https://doi.org/10.15421/112069>
10. Гайдін, А.М., & Собко, Б.Ю. (2019). *Ревіталізація. Відновлення порушених ландшафтів в зонах діяльності гірничих підприємств*. Дніпро, Україна: ПП Кулик В.В., 218 с.
11. *Земельний кодекс України*. (2023). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
12. *Закон України «Про управління відходами»*. (2022). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
13. *Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»*. (2023). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#n622>
14. *Постанова Кабінету Міністрів України від 17.09.1996 № 1147 «Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів»*. (1996). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1147-96-%D0%BF#Text>
15. *Податковий кодекс України*. (2023). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>
16. ДСанПіН2.2.7.029-99. (2014). *Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення*. Київ, Україна: МОЗ України.
17. *Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)»*. (2000). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>
18. ДБН В.2.4-4:2010. (2010). *Полігони зі знешкодження та захоронення токсичних відходів. Основні положення проектування*. Донецьк, Україна: ДП НДПІ «Донецький ПромбудНДІпроект».
19. Петльований, М.В., Сай, К.С., Борисовська, О.О., & Хорольський, А.А. (2023). Аналіз використання промислових відходів для формування закладних масивів у техногенних пустотах. *Науковий Вісник ДонНТУ*, 1(10), 115-126. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-1-115-126>
20. Petlovanyi, M., Sai, K., Khalymendyk, O., Borysovska, O., & Sherstiuk, Ye. (2023). Analytical research of the parameters and characteristics of new “quarry cavities – backfill material” systems: Case study of Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 17(3), 126-139. <https://doi.org/10.33271/mining17.03.126>
21. *Звіт з оцінки впливу на довкілля. ДП «СхідГЗК». Смолінська шахта. Рекультивация кар'єру піску*. (2019). Жовті Води, Україна: ДП «УкрНДПРІ промтехнології», 132 с.
22. *Міська програма вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього природного середовища на 2016-2025 роки (надалі – Міська екологічна програма, програма), затверджена рішенням Криворізької міської ради від 28.09.2016 № 901*. (2016). Кривий Ріг, Україна: Криворізька міська рада.
23. Філоненко, О.В., & Петльований, М.В. (2021). Методика дослідження параметрів формування закладного масиву кар'єрних пустот з металургійних шлаків. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*, (64), 81-98. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.081>
24. ТУ У 08.1-00191158-002:2020. (2020). *Суміші закладні із металургійних шлаків ПРАТ «МК «Азовсталь» та ПРАТ «ММК ім. Ілліча» для технічної рекультивациі техногенно порушених земель*. Маріуполь, Україна: ПРАТ «ММК ім. Ілліча».
25. *Фотометр Exact® Micro 20*. (2023). Режим доступу: <https://crossmarket.com.ua/ua/p686729421-fotometr-exact-micro.html>

26. Broda, J., Franitza, P., Herrmann, U., Helbig, R., Große, A., Grzybowska-Pietras, J., & Rom, M. (2020). Reclamation of abandoned open mines with innovative meandrically arranged geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(3), 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.11.003>

REFERENCES

1. Antonik, V.I., Petrukhin, A.V., & Antonik, I.P. (2017). Impact of dumps and tailings storage facilities of Kryvorizhia mining and beneficiation plants on the state of ecology of the surrounding areas. *Bulletin of Kryvyi Rih National University*, (44), 161-166.
2. Tymchuk, I., Malovanyy, M., Shkvirko, O., Chornomaz, N., Popovych, O., Grechanik, R., & Symak, D. (2021). Review of the global experience in reclamation of disturbed lands. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22(1), 24-30. <https://doi.org/10.12912/27197050/132097>
3. Petlovanyi, M., Sai, K., Malashkevych, D., Popovych, V., & Khorolskyi, A. (2023). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012007>
4. Shi, Z., Wu, Y., Chiu, Y., Wu, F., & Shi, C. (2020). Dynamic linkages among mining production and land rehabilitation efficiency in China. *Land*, 9(3), 76. <https://doi.org/10.3390/land9030076>
5. Hrinov, V., & Khorolskyi, A. (2022). Potential of development of researches is in relation to creation of technology of optimal planning of use by nature. *Physical and Technical Problems of Mining Production*, (24), 103-127. <https://doi.org/10.37101/ftpgp24.01.008>
6. *Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ukraini u 2021 rotsi.* (2022). Kyiv, Ukraina: Ministerstvo zakhystu dovykillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy, 514 s.
7. Xue, G., Yilmaz, E., & Wang, Y. (2023). Progress and prospects of mining with backfill in metal mines in China. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 30(8), 1455-1473. <https://doi.org/10.1007/s12613-023-2663-0>
8. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., Bulat, I., & Popovych, V. (2021). Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 122-129. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.122>
9. Petlovanyi, M.V., Malashkevych, D.S., & Sai, K.S. (2020). The new approach to creating progressive and low-waste mining technology for thin coal seams. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 765-775. <https://doi.org/10.15421/112069>
10. Haidin, A.M., & Sobko, B.Yu. (2019). *Revitalizatsiia. Vidnovlennia porushenykh landshaftiv v zonakh diial-nosti hirnychykh pidpriemstv.* Dnipro, Ukraina: PP Kulyk V.V., 218 s.
11. *Zemelnyi kodeks Ukrainy.* (2023). Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
12. *Zakon Ukrainy «Pro upravlinnia vidkhodamy».* (2022). Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
13. *Zakon Ukrainy «Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha».* (2023). Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#n622>
14. *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17.09.1996 № 1147 «Pro zatverdzhennia pereliku vydiv diia-lnosti, shcho nalezhat do pryrodookhoronnykh zakhodiv».* (1996). Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1147-96-%D0%BF#Tex>

15. *Podatkovyi kodeks Ukrainy*. (2023). Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>
16. DSanPiN2.2.7.029-99. (2014). *Hihiiienichni vymohy shchodo povodzhennia z promyslovymy vidkhodamy ta vy-znachennia yikh klasu nebezpeky dlia zdorov'ia nase-lennia*. Kyiv, Ukraina: MOZ Ukrainy
17. *Pro vvedennia v diiu Derzhavnykh hihiiienichnykh normatyviv «Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97)»*. (2000). Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>
18. DBN V.2.4-4:2010. (2010). *Polihony zi zneshkodzhennia ta zachoronennia toksychnykh vidkhodiv. Osnovni po-lozhennia proektuvannia*. Donetsk, Ukraina: DP NDPI «Donetskyi PrombudNDIproekt».
19. Petlovanyi, M., Sai, K., Borysovska, O., & Khorolskyi, A. (2023). Analysis of the use of industrial waste for the formation of backfill mass in man-made voids. *Scientific Bulletin of Donetsk National Technical University*, 1(10), 115-126. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-1-115-126>
20. Petlovanyi, M., Sai, K., Khalymendyk, O., Borysovska, O., & Sherstiuk, Ye. (2023). Analytical research of the parameters and characteristics of new “quarry cavities – backfill material” systems: Case study of Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 17(3), 126-139. <https://doi.org/10.33271/mining17.03.126>
21. *Zvit z otsinky vplyvu na dovkillia. DP «SkhidHZK». Smolinska shakhta. Re-kultyvatsiia kar'ieru pisku*. (2019). Zhovti Vody, Ukraina: DP «UkrNDPRI promtekhnohii», 132 s.
22. *Miska prohrama vyryshennia ekolohichnykh problem Kryvbasu ta polipshennia stanu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha na 2016-2025 roky (nadali – Miska ekolohichna prohrama, prohrama)*, zatverdzhena rishenniam Kryvorizkoi miskoi rady vid 28.09.2016 № 901. (2016). Kryvyi Rih, Ukraina: Kryvorizka miska rada.
23. Filonenko, O., & Petlovanyi, M. (2021). Methods for studying the parameters of the formation of a backfilling mass of open pit cavities from metallurgical slags. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, (64), 81-98. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.081>
24. TU U 08.1-00191158-002:2020. (2020). *Sumishi zakladni iz metalurhiinykh shlakiv PRAT«MK «Azov-stal» ta PRAT «MMK im. Illicha» dlia tekhnichnoi rekultyvatsii tekhnohenno porushenykh zemel*. Mariupol, Ukraina: PRAT «MMK im. Illicha».
25. *Fotometr Exact® Micro 20*. (2023). Rezhym dostupu: <https://crossmarket.com.ua/ua/p686729421-fotometr-exact-micro.html>
26. Broda, J., Franitza, P., Herrmann, U., Helbig, R., Große, A., Grzybowska-Pietras, J., & Rom, M. (2020). Reclamation of abandoned open mines with innovative meandri-cally arranged geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(3), 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.11.003>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Аналіз та виділення основних аспектів безпечності застосування малонебезпечних промислових відходів як закладних матеріалів кар'єрних пустот для відновлення рівня земної поверхні.

Методика. Для досягнення поставленої мети застосовано аналіз та систематизацію низки законодавчих і нормативних актів щодо поводження з промисловими відходами й можливого їх використання для закладання виробленого простору недіючих кар'єрів; аналіз існуючого практичного досвіду вико-

ристання промислових відходів для рекультивації вироблених просторів кар'єрів в Україні.

Результати. Визначено, що промислові відходи з високою вірогідністю можуть використовуватись як закладні матеріали, якщо за показниками токсичності та радіоактивності вони віднесені до IV і I класу відповідно, що порівнюються до будівельних матеріалів і можуть використовуватись для формування закладного масиву у вироблених просторах кар'єрів. Встановлено наявність дієвого та практичного досвіду закладання виробленого простору кар'єрів промисловими відходами. Рекомендовано схеми та послідовність експериментальних досліджень контакту закладних матеріалів з водним середовищем для сухих і обводнених родовищ, що дозволяє оцінити безпечність їх застосування.

Наукова новизна. Розкриті та узагальнені особливості й шляхи визначення можливості безпечного застосування малонебезпечних промислових відходів для закладання вироблених просторів кар'єрів.

Практична значимість. Результати досліджень є цінними для стимулювання розвитку екологічних програм державного й місцевого значення щодо відновлення порушених гірничим роботами територій та збільшення об'ємів утилізації малонебезпечних промислових відходів.

Ключові слова: кар'єрні пустоти, промислові відходи, закладний масив, рекультивація, забруднення, підземні води, ізоляція

ABOUT AUTHORS

Petlovanyi Mykhailo, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: petlovanyi.m.v@nmu.one

Sai Kateryna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: sai.k.s@nmu.one

ПРО МОНИТОРИНГ ГЕОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ЯКІ ЗНАХОДЯТЬСЯ ПІД ТЕХНОГЕННИМ ВПЛИВОМ

С.В. Тинина¹, І.І. Чоботько^{2*}, Є.А. Кулак¹, Г.М. Шевельова³

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

²Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

³Інститут технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, м. Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: efilonov79@gmail.com

MONITORING OF GEOMECHANICAL SYSTEMS UNDER ANTHROPOGENIC INFLUENCE

S.V. Tynyna¹, I.I. Chobotko^{2*}, Y.A. Kulak¹, H.M. Shevelova³

¹M.S.Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

²Branch for Physics of Mining Processes in the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

³Institute of Technical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: efilonov79@gmail.com

ABSTRACT

Purpose. The purpose of the study is to improve the monitoring systems of man-made facilities: quarries, waste heaps and tailings (sludge pits) with increased environmental hazards.

Methods. In preparation for the research, the following tasks were set: to analyse the problem and assess the main types of monitoring of man-made objects, to establish the main advantages and disadvantages of using methods of monitoring and controlling the environmental state of geomechanical systems.

Findings. Based on the conducted research, the results indicate the effectiveness of using monitoring methods to determine the state of geomechanical systems under anthropogenic influence. The factors influencing their stability and functionality are identified.

Originality. It is established that the study has made an important contribution to the development of methods for monitoring geomechanical systems under the influence of anthropogenic factors, revealing new opportunities for the use of UAVs.