

UDC 502.174:627.533

Mykhailo Petlovanyi¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8911-4973> **e-mail:** petlovanyi.m.v@nmu.one

Kateryna Sai¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1488-3230> **e-mail:** sai.k.s@nmu.one

Vasyl Popovych², Doctor of Technical Sciences, Professor
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2857-0147> **e-mail:** popovich2007@ukr.net

Maksym Chebanov¹, Doctor of Philosophy
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6681-2701> **e-mail:** chebanov.m.o@nmu.one

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

²Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINING PROMISING “QUARRY CAVITIES – BACKFILL MATERIAL” SYSTEMS ON THE TERRITORY OF UKRAINE

Abstract. *The research is aimed at identifying promising “quarry cavities – backfill material” systems on the territory of Ukraine. Currently, the existing reclamation methods for quarry cavities do not provide for the earth’s surface level complete restoration. A number of industrial wastes, the accumulation of which is increasing rapidly, are potential backfill materials. An insufficiently studied and promising method for restoring the earth’s surface level is the formation of a backfill mass in quarry cavities, which can provide geomechanical stability. Nevertheless, in order to develop directions for backfilling, it is necessary to have information on the spatial distribution of quarry cavities and potential backfill materials on the territory of Ukraine, which is also insufficiently studied today. The paper forms and reveals a theoretical idea about the “quarry cavities – backfill material” systems. A number of important conditions for the harmonious existence and effective implementation of the specified promising systems are characterized. The methodology for creating the basis of an information-analytical map is presented, and the principles for determining and characterizing its main constituent elements are given. A new information-analytical map of the spatial location of potential backfill materials and formed quarry cavities on the territory of Ukraine has been created, on the basis of which possible “quarry cavities – backfill material” systems have been identified. It has been determined that today on the territory of Ukraine, for the earth’s surface level complete restoration, it is expedient to consider the formation of a backfill mass in quarry cavities in 12 districts, where there are promising “quarry cavities – backfill material” systems. The concept of a complete restoration development of the earth’s surface disturbed by mining operations in certain potential systems is possible under conditions of synergistic interaction between public authorities and private business. The practical result obtained is an important basis for creating an effective mechanism and effective measures for a complete restoration of the earth’s surface state, which will contribute to strengthening the international image of Ukraine as a responsible and environmentally conscious country.*

Keywords: *reclamation; earth’s surface; quarry; industrial wastes; backfill material; method for backfilling; environment protection.*

М.В. Петльований¹, К.С. Сай¹, В.В. Попович², М.О. Чебанов¹

¹НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ «КАР'ЄРНІ ПУСТОТИ – ЗАКЛАДНИЙ МАТЕРІАЛ» НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

***Анотація.** Дослідження спрямоване на виявлення перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» на території України. На сьогодні існуючі методи рекультивациі кар'єрних пустот не передбачають повного відновлення рівня земної поверхні. Низка промислових відходів, накопичення яких стрімко збільшуються, є потенційними закладними матеріалами. Недостатньо вивченим та перспективним способом відновлення рівня земної поверхні є формування закладного масиву у кар'єрних пустотах, що забезпечить геомеханічну надійність. Проте, для розвитку напрямів закладання потрібно володіти інформацією просторового розміщення кар'єрних пустот і потенційних закладних матеріалів на території України, що також на сьогодні вивчено недостатньо. У роботі сформувано та розкрито теоретичне уявлення про системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал». Надана характеристика низки важливих умов гармонійного існування й ефективної реалізації визначених перспективних систем. Викладено методологію створення основи інформаційно-аналітичної карти та наведено принципи визначення і характеристики її основних складових елементів. Створено нову інформаційно-аналітичну карту просторового розташування потенційних закладних матеріалів та утворених кар'єрних пустот на території України, на основі якої визначені можливі системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал». Встановлено, що на сьогодні на території України для повного відновлення земної поверхні формування закладного масиву у кар'єрних пустотах доцільно розглядати у 12 районах, де розташовано перспективні системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал». Концепція розвитку повного відновлення земної поверхні, порушеної гірничими роботами, у визначених потенційних системах можлива за умов синергетичної взаємодії державних органів влади та приватного бізнесу. Основними принципами повинні стати екологічна відповідальність, мінімізація впливу гірничодобувної галузі на довкілля та захист інтересів громадян, особливо у вельми техногенно навантажених районах. Отриманий практичний результат є важливим підґрунтям для створення дієвого механізму та ефективних заходів з повного відновлення стану земної поверхні, що сприятиме зміцненню міжнародного іміджу України як відповідальної та екологічно усвідомленої країни.*

***Ключові слова:** рекультивациія; земна поверхня; кар'єр; промислові відходи; закладний матеріал; спосіб закладання; захист довкілля.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.32-47>

Вступ

Гірничодобувна галузь є важливим сектором економічного розвитку багатьох розвинених країн та країн, що розвиваються, у тому числі й України [1-3]. Так, у довоєнний стан за 2019 рік діяльність підприємств гірничо-металургійного комплексу забезпечила 15,2 млрд доларів валютних надходжень до державного бюджету України, що складає 38% та 10,5% від загального

ВВП [4]. В надрах України виявлено понад 20 тис. родовищ і проявів зі 117 видами мінеральної сировини, з яких понад 8949 родовищ мають промислове значення і враховуються Державним балансом запасів корисних копалин, при цьому промислово освоєно понад 2800 родовищ із 100 видів корисних копалин [5]. Найбільше за обсягами видобування розробляються родовища залізних руд, кам'яного вугілля, природного газу, нафти, марганцевих і титано-цирконієвих руд та родовищ будівельної сировини (граніти, вапняки, піски, каоліни, глини тощо).

На сьогодні розробка родовищ здійснюється переважно відкритим способом, що завдає найбільшого впливу земній поверхні та довкіллю. Кількість порушених земель за даними Держгеокадастру становить 142,7 тис. га, серед яких лідерами є такі області: Дніпропетровська (37,7 тис. га), Донецька (25,3 тис. га), Львівська (10,7 тис. га) та Луганська (10,3 тис. га). Очевидно, що найбільший вплив чинить саме гірничодобувна галузь, яка широко розвинена в цих областях. Рівень рекультивації є досить низьким і склав за 2020 рік лише 51,2 га [6]. Проте, за оцінками деяких вчених, площа земель, порушених лише відкритими гірничими розробками в Україні, становить понад 165 тис. га, в тому числі відпрацьованих, – на рівні 60 тис. га [7]. Зазначені дані свідчать про потужний негативний вплив гірничодобувної галузі на стан земної поверхні. Основними формами порушень земної поверхні при відкритому способі розробки є утворення значних пустот у надрах та складування багатотоннажних накопичень промислових відходів на земній поверхні.

Зазначені види порушень земної поверхні призводять до втрат використання земельного потенціалу, постійного збільшення накопичень промислових відходів (відвали порід, хвостосховища, металургійні шлаки тощо) та відведення нових площ при досягненні їх проектних розмірів, забруднення компонентів довкілля та соціальної обуреності населення [8-11]. Відновлення рівня земної поверхні особливо важливе у промислово розвинених регіонах, де будівельна рекультивація порушених земель є перспективним напрямом, але обмежена відсутністю науково-обґрунтованих способів відновлення земної поверхні із забезпеченням її геомеханічної стабільності та надійності.

При підземній розробці родовищ для вилучення цінних видів корисних копалин, попередження просідання земної поверхні й утилізації промислових відходів, особливо в регіонах з розвинутою промисловою та цивільною інфраструктурою, застосовуються технології закладання виробленого простору [12-14]. При відкритих гірничих роботах для відновлення порушених територій використовують різні напрями рекультивації, яка складається з технічного та біологічного етапів [15, 16]. Для повного відновлення земної поверхні, зайнятої кар'єрними розробками, на сьогодні існує звичайне засипання вироблених просторів кар'єрів розкривними та скельними породами [17, 18], яке можливо здійснити за умов наявності достатніх обсягів таких порід при експлуатації кар'єра або наявності інших відвалів у безпосередній близькості. Проте, суттєвим недоліком зазначеного методу є пустотність, нерівномірність розподілу фракцій та високий коефіцієнт фільтрації відсипаного масиву [19].

Перспективним способом відновлення рівня земної поверхні може стати розвиток напрямів формування закладного масиву у кар'єрних пустотах, що

забезпечить стійкість і геомеханічну надійність земної поверхні на тривалий період. На відміну від звичайного засипання кар'єрних пустот, потрібен комплексний підхід, в якому можуть бути розглянуті різні способи закладання виробленого простору або їх комбінація для більш ефективного відновлення стану земної поверхні. При цьому наявність достатніх запасів закладного матеріалу поблизу кар'єрних пустот має вагоме значення. Формування надійного закладного масиву може бути ефективним з точки зору екології, оптимального використання відновленої земної поверхні та економічних переваг, сприяючи розвитку інфраструктури й залученню інвестицій у промисловий регіон. При обґрунтуванні доцільності формування закладного масиву важливо врахувати аспекти збереження довкілля, довгострокової стабільності земної поверхні, економічної ефективності та соціальних аспектів.

Таким чином, виникає нове поняття «кар'єрні пустоти – закладний матеріал», яке по суті є відправною точкою у розвитку технологій формування закладного масиву при відкритих гірничих роботах. Проте, для цього необхідно володіти інформацією щодо просторового розміщення діючих і закритих кар'єрів та потенційних закладних матеріалів на території України. Аналітична оцінка розташування накопичень промислових відходів, що можуть розглядатись як потенційні закладні матеріали, та кар'єрів на території України на сьогодні не проведена, і цим актуальним питанням приділено недостатньо уваги науковою спільнотою та органами державної влади.

Матеріали і методи досліджень

Метою дослідження є виявлення перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» та їх параметрів на території України, що утворились при функціонуванні різних галузей промисловості, на основі вивчення і систематизації аналітичних даних розміщення промислових відходів як потенційних закладних матеріалів, а також діючих і закритих кар'єрів для подальшого обґрунтування ефективних способів закладання й відновлення земної поверхні. Для встановлення перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» на території України використано комплексний науково-методичний інструментарій, який передбачає визначення географічного розташування та характеристик промислових відходів як потенційних закладних матеріалів, а також утворених кар'єрних пустот з наступним їх об'єднанням в єдину інформаційно-аналітичну базу та виділенням відповідних систем.

Дослідження проводились у декілька етапів: аналіз місць розташування та характеристик визначених промислових відходів як потенційних закладних матеріалів; аналіз місць розташування та характеристик утворених кар'єрних пустот; об'єднання аналітичних даних розташування промислових відходів і кар'єрних пустот у єдину інформаційно-аналітичну карту. Інструменти та методи досліджень: вивчення реєстрів місць видалення відходів, екологічних паспортів та регіональних доповідей про стан навколишнього середовища, інформаційних даних Державної служби геології та надр України, супутникова програма Google Earth і низка літературно-інформаційних ресурсів.

При виконанні досліджень також використовувались теоретичні методи, такі як збір та аналіз аналітичних даних, узагальнення й систематизація.

Основним практичним результатом досліджень є створення нової інформаційно-аналітичної карти розміщення промислових відходів і кар'єрних пустот на території України з наступним виділенням перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал».

Результати досліджень та обговорення

Система «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» є новою методологією або підходом, який полягає у використанні відпрацьованих кар'єрів шляхом заповнення їх простору спеціально підібраним закладним матеріалом. Цей підхід дозволяє ефективно відновити та переобладнати вироблені кар'єри, перетворюючи їх на стійкі й безпечні території для подальшого використання. Система «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» є важливим аспектом у сучасному гірничодобувному промисловому комплексі, оскільки сприяє оптимізації використання земельних ресурсів, зниженню негативного впливу на навколишнє середовище та сталому розвитку територій. Вивчення місць розташування й об'ємів потенційних закладних матеріалів та утворених кар'єрних пустот на території України є важливим для визначення потенціалу до закладання вироблених просторів певних кар'єрів з метою створення стійкого закладного масиву, ефективного відновлення рівня земної поверхні та подальшого використання відновленої території.

Існує низка важливих умов існування й ефективної реалізації визначених перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал», які відіграють ключову роль в успішному та стійкому здійсненні технології відновлення земної поверхні на основі формування стійких закладних масивів. Перелік зазначених основних умов, на думку авторів, ілюструється на рис. 1, при дотриманні яких формування стійкого закладного масиву у кар'єрних пустотах дозволить досягти повного відновлення земної поверхні. Наведемо стисло характеристику основних умов.

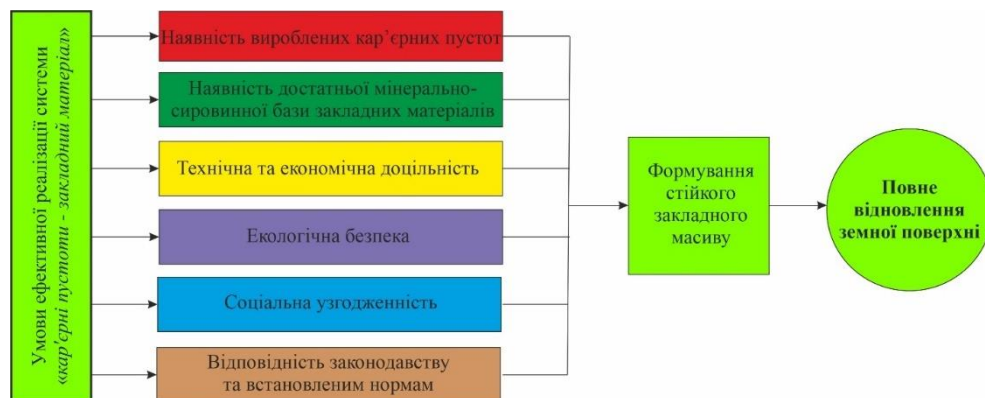


Рис. 1. Основні умови існування й ефективної реалізації системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал»

Наявність утворених кар'єрних порожнин у надрах. Для реалізації системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» безпосередньо необхідна наявність вироблених кар'єрів. Ці пустоти можуть виникати в результаті

гірничодобувних робіт, і їхнє оптимальне використання дозволить ефективно реалізувати концепцію закладання.

Наявність достатньої мінерально-сировинної бази закладних матеріалів. Для успішної реалізації системи важливо мати різноманітні та доступні джерела визначених закладних матеріалів, таких як відвали гірських порід, металургійні шлаки, золошлаки, хвости збагачення, техногенні вапняки та інші відходи промисловості. Це забезпечить стійке постачання закладних матеріалів і знизить витрати на їх транспортування та переробку.

Технічна та економічна доцільність. Реалізація системи має бути технічно та економічно обґрунтованою. Це включає визначення оптимальних методів заповнення кар'єрних пустот, вибір найбільш ефективних матеріалів, оцінку витрат і прогнозованих результатів. Технічна доцільність гарантує успішне виконання закладних робіт, а економічна – обґрунтовані інвестиції.

Екологічна безпека. Система має бути екологічно безпечною та враховувати вплив на навколишнє середовище. Заповнення пустот закладним матеріалом не повинно викликати негативні наслідки для підземних вод, що концентруються у днищах кар'єрів. Необхідним є дослідження можливого впливу визначених закладних матеріалів та, у випадку негативного впливу, – розробки заходів ізоляції і герметизації гірського масиву. Значним позитивним аспектом формування закладного масиву у виробленому просторі кар'єрів є вивільнення земельних площ, зайнятих як кар'єрною розробкою, так і накопиченнями промислових відходів.

Соціальна узгодженість. Реалізація системи має враховувати інтереси всіх зацікавлених сторін, включаючи місцеве населення, громадськість та державні органи. Консультації з громадськістю і прозорий діалог дозволяють досягти соціальної узгодженості та мінімізувати конфлікти.

Відповідність законодавству та встановленим нормам. Вся діяльність, пов'язана з реалізацією системи, має суворо відповідати чинному законодавству та нормативам України. Це включає дотримання вимог щодо охорони навколишнього середовища, землекористування та інших правових норм.

Дотримання зазначених умов дозволяє оптимізувати процес заповнення, знизити економічні витрати, забезпечити екологічну безпеку та отримати підтримку з боку суспільства й державних органів.

Таким чином, умови гармонійного існування та реалізації системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» у гірничодобувному регіоні потребують балансу між економічними, технічними, екологічними та соціальними аспектами. Необхідно прагнути максимальної ефективності використання ресурсів, мінімізації негативного впливу на довкілля і задоволення потреб суспільства у процесі сталого розвитку промислових регіонів.

Для визначення можливих існуючих систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» на території України, де потенційно доцільно здійснити відновлення земної поверхні на основі формування стійких закладних масивів, було створено нову інформаційно-аналітичну карту взаємного розташування перспективних закладних матеріалів та утворених кар'єрних пустот за допомогою інструменту Google Earth Online. Методологія створення основи інформаційно-аналітичної карти полягала у послідовних етапах, що наведені на рис. 2.

В інформаційно-аналітичній карті створено спеціальне меню, де всі аналізовані об'єкти розділені на відповідні групи: хвостосховища та

шламосховища; відвали розкривних і скельних порід; породні відвали шахт; золошламонакопичувачі; відвали металургійних шлаків; інші промислові відходи; кар'єри; потенційні системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал».

Далі наводяться принципи визначення і характеристики основних складових елементів інформаційно-аналітичної карти.



Рис. 2. Послідовність та етапність виявлення систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» на території України

1. *Накопичення промислових відходів* (потенційні закладні матеріали). Попередніми дослідженнями на основі світового досвіду вивчено [20], що в якості основних закладних матеріалів техногенних пустот першочергово слід розглядати відходи природно-техногенного походження – відвальні кар'єрні та шахтні породи, золи-виносу та золошлаки, хвости збагачення, металургійні шлаки, а також інші додаткові матеріали (техногенні вапняки, фосфогіпси, ангідрити тощо). Тому на карту було нанесено місцерозташування багатотоннажних накопичень вищезазначених промислових відходів. Накопичення менше 100 тис. т до уваги не брались. Визначення місць розташування та основних характеристик потенційних закладних матеріалів здійснювалось на основі вивчення реєстрів місць видалення цих відходів за областями України. Слід зазначити, що у реєстрах Донецької та Луганської областей відсутня значна частина інформаційних даних щодо місць видалення відходів на тимчасово окупованих територіях російською федерацією або інформація надто застаріла. Це пов'язано з тим, що відповідним органам неможливо на сьогодні на окупованих територіях достовірно виконати ревізійні заходи об'єктів місць видалення відходів. Було зроблено запити до державних військово-цивільних адміністрацій областей України з метою отримання реєстрів місць видалення відходів областей станом на 2019–2021 роки.

Додатково вивчались дані екологічних паспортів та регіональних доповідей про стан навколишнього середовища областей, супутникової програми Google Earth, а також низка літературних та інформаційних ресурсів.

До кожного об'єкта промислових відходів в інформаційно-аналітичній карті на основі аналізу внесено наступні характеристики: географічні координати (широта, довгота), вид матеріалу, його походження (природний/техногенний), хімічний склад (за наявності), гранулометричний склад, щільність, категорія екологічної безпеки місця видалення відходів (МВВ), клас та група небезпеки відходів, режим функціонування МВВ (діюче/законсервоване/закрите), характеристика МВВ (наземне/насіпне/наливне), площа, що займається (га), об'єм накопичення (млн т/млн м³).

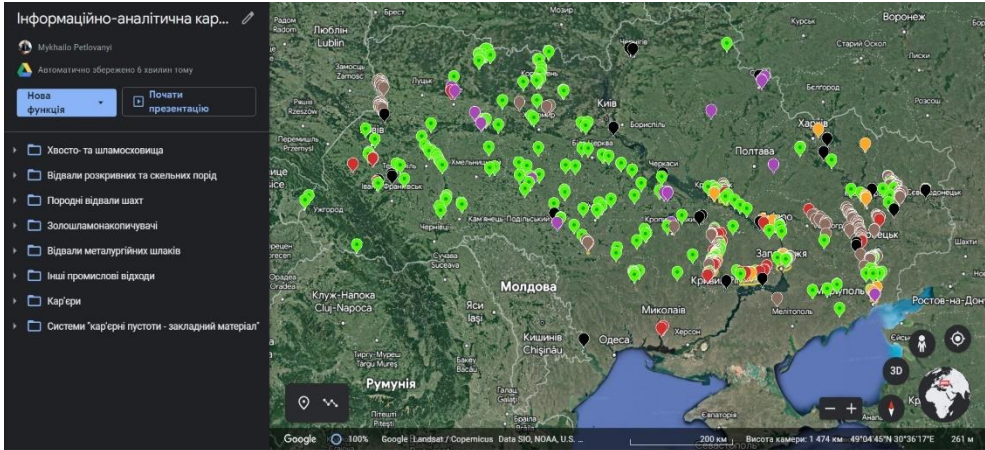
2. *Діючі та закриті кар'єри*. Визначення місць розташування та основних характеристик утворених кар'єрних пустот діючими і закритими кар'єрами здійснювалось на основі вивчення інформаційних даних Державного геологічного порталу Державної служби геології та надр України. Додатково вивчались дані супутникової програми Google Earth та низка літературно-інформаційних ресурсів. В дослідженнях увага приділялась типам кар'єрів, які утворили внаслідок видобування значні пустоти як за площею поверхні, так і за глибиною ($S > 5$ га, $H > 20$ м). Не враховувались кар'єри, що розробляють родовища таких корисних копалин, як каоліни, глини, суглинки, піски, марганцеві та титанові руди тощо, де застосовуються системи розробки з внутрішнім відвалоутворенням розкривних порід і рекультиваційними заходами одразу за переміщенням фронту гірничих робіт. Після виконання добувних робіт в зазначених типах кар'єрів здійснюється майже повне відновлення земної поверхні без залишення значних пустот в надрах. В даному дослідженні приділялась увага тим кар'єрам, по завершенню терміну роботи яких не вистачить розкривних порід для повного відновлення земної поверхні при виконанні рекультиваційних робіт.

До кожної виявленої кар'єрної пустоти в інформаційно-аналітичній карті на основі аналізу внесено наступні характеристики: географічні координати (широта, довгота), назва родовища, вид корисної копалини, промислові запаси (млн т/млн м³), річна продуктивність (тис. м³/млн т), зайнята площа кар'єру по поверхні (га), глибина кар'єру (м), прогнозний об'єм пустот (млн м³), статус (діючий/закритий), термін дії спецдозволу на користування надрами, прогнозний термін закриття кар'єру.

3. *Потенційні системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал»*. На підставі детального аналізу на інформаційно-аналітичну карту України нанесено 50 хвостосховищ та шламосховищ, 90 відвалів розкривних порід, 110 відвалів вугільних і рудних шахт, 34 золошлаконакопичувачі, 25 відвалів металургійних шлаків, 16 об'єктів додаткових закладних матеріалів (некондиційний вапняк, фосфогіпс, ангідрити тощо) та 221 визначений кар'єр.

Виявлення потенційних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» здійснено на основі зіставлення просторового розташування багатотоннажних накопичень закладних матеріалів та утворених кар'єрних пустот на території України. Елементи нової розробленої інформаційно-аналітичної карти наведено на рис. 3. Рис. 3 (а) ілюструє фрагмент карти та меню з категоріями визначених видів промислових відходів, що розглядаються в якості закладних матеріалів. На рис. 3 (б) і 3 (в) зображені впливаючі інформаційні вікна, в яких сформовані основні характеристики об'єктів.

(a)

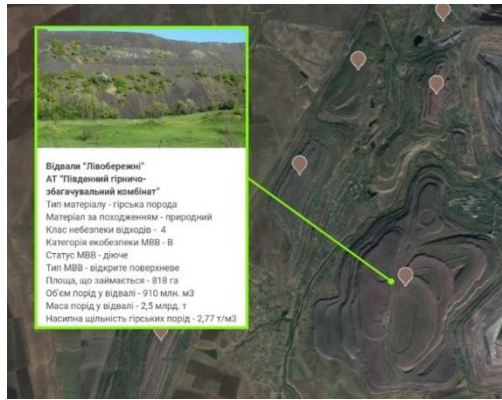


- Умовні позначення:
- Хвостові та шламосховища
 - Відвали розкривних та скельних порід; породи відвали шахт
 - Золошламонакопичувачі
 - Інші промислові відходи
 - Відвали металургійних шлаків
 - Кар'єри

(б)



(в)



(г)



Рис. 3. Видгляд створеної інформаційно-аналітичної карти та її елементів: (а) фрагмент карти з меню; (б) фрагмент інформаційного вікна «кар'єр»; (в) фрагмент інформаційного вікна «закладний матеріал»; (г) виявлені потенційні системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал»

Рис. 3 (г) демонструє просторове розташування потенційних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» на території України, яке співпадає з найбільш промислово розвиненими регіонами. Інформаційно-аналітична карта надає систематизовану та точну інформацію щодо просторового розташування та основних характеристик промислових відходів і кар'єрів на території країни.

Потенційні системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» виявлені на підставі проведеного просторового аналізу розташування багатотоннажних накопичень промислових відходів як потенційних закладних матеріалів та утворених значних кар'єрних пустот при відкритій розробці родовищ корисних копалин на території України.

Нами було виявлено низку груп близького розташування зазначених об'єктів. Ці групи визначаються як можливі до реалізації системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал».

Встановлено, що на території України, на думку авторів, доцільно першочергово розглядати можливість повного відновлення земної поверхні шляхом формування закладних масивів у вироблених просторах кар'єрів у 12 районах (системах), яким умовно задані спеціальні назви.

Перелік виявлених систем та характеристика їх наявних умов існування викладена у табл. 1. У зазначених районах існують сприятливі умови для розробки технологій формування закладних масивів, адже існує відповідна мінерально-сировинна база закладних матеріалів і є наявність утворених в надрах кар'єрних пустот.

Невід'ємною складовою є визначення найважливіших показників потенційних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал», що наведено в табл. 1. Планується до кожної виявленої системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» у інформаційно-аналітичній карті внести наступні характеристики: детальний перелік закладних матеріалів у системі, показники займаних площ (га) та об'ємів накопичення закладних матеріалів (млн м³/млн т), кількість кар'єрів, статус кар'єрів (діючий/закритий), прогностичні терміни закриття кар'єрів, об'єми вироблених просторів кар'єрів (млн м³). Після виконання відповідних досліджень до кожної системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» заплановано додати інформацію щодо перспективних технологій закладання.

У подальших дослідженнях передбачається детально дослідити характеристики визначених потенційних систем «кар'єрні пустоти – закладні матеріали» та визначити напрями ефективних способів закладання з метою розробки відповідної оптимальної технології. Наступними завданнями досліджень повинні стати:

- визначення загальних об'ємів накопичення закладних матеріалів у потенційних системах «кар'єрні пустоти – закладні матеріали»;
- вибір кар'єрних пустот для закладання на основі встановлення прогностичного терміну роботи кар'єрів і аналізу стану закритих кар'єрів в системах «кар'єрні пустоти – закладні матеріали»;
- встановлення позитивного балансу наявних об'ємів закладного матеріалу та об'ємів вироблених просторів кар'єрних пустот для закладання;
- аналіз фізичних, хімічних та механічних властивостей наявних видів закладних матеріалів;

- вибір ефективних методів закладання кар'єрних пустот на основі врахування специфіки наявних видів закладних матеріалів, комплексу особливостей утворених пустот, переваг і недоліків технологій закладання;
- визначення першочергових регіонів для повного відновлення земної поверхні, порушеної гірничими роботами з урахуванням економічних, екологічних і соціальних аспектів, а також відповідних норм та стандартів.

Табл. 1. Характеристика виявлених систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал»

| № з/п | Назва системи | Наявність умов існування системи | |
|-------|---------------------------|---|--|
| | | Мінерально-сировинна база закладних матеріалів | Утворені кар'єрні пустоти |
| 1 | Криворізька №1 | 12 відвалів розкривних і скельних порід; 5 хвостовищ відходів збагачення залізних руд; 3 відвали металургійних шлаків (у т.ч. некондиційне вапно) | 3 діючих кар'єри; 2 закритих кар'єри |
| 2 | Криворізька №2 | 12 відвалів розкривних і скельних порід; 1 хвостовище відходів збагачення залізних руд | 3 діючих кар'єри; 2 закритих кар'єри |
| 3 | Криворізька №3 | 12 відвалів розкривних і скельних порід; 1 хвостовище відходів збагачення | 3 діючих кар'єри |
| 4 | Покровсько-Нікопольська | 6 шламосховищ відходів збагачення марганцевих руд; 1 відвал металургійних шлаків | 3 діючих кар'єри; 2 закритих кар'єри |
| 5 | Запорізька | 5 відвалів металургійних шлаків; 5 відвалів розкривних порід | 5 діючих кар'єрів |
| 6 | Завалівська | 1 відвал розкривних і скельних порід; 1 хвостовище відходів збагачення графітової руди | 1 діючий кар'єр |
| 7 | Дніпровська | 3 золошламонакопичувача; 1 відвал розкривних порід; 1 відвал металургійних шлаків | 3 діючих кар'єри; 1 закритий кар'єр |
| 8 | Горішнєплавенська | 4 відвали розкривних і скельних порід; 1 хвостовище відходів збагачення залізних руд | 4 діючих кар'єри; 1 тимчасово недіючий кар'єр |
| 9 | Маріупольська | 1 відвал розкривних порід; 3 золошламонакопичувача; 4 відвали металургійних шлаків; 1 об'єкт накопичення некондиційного вапна | 1 діючий кар'єр; 1 закритий кар'єр |
| 10 | Новотроїцько-Докучаєвська | 12 відвалів розкривних порід | 5 діючих кар'єрів; 1 закритий кар'єр |
| 11 | Краматорська | 1 відвал розкривних порід; 3 відвали металургійних шлаків | 1 діючий кар'єр |
| 12 | Лисичанська | 2 відвали розкривних порід; 16 породних відвалів вугільних шахт; 1 золошламонакопичувач | 1 діючий кар'єр; 2 закритих кар'єри |

Слід зазначити, що концепція розвитку повного відновлення земної поверхні, порушеної гірничими роботами, у визначених потенційних системах можлива за умов синергетичної взаємодії державних органів влади та приватного бізнесу. Основним принципом повинні стати екологічна відповідальність, зменшення негативного впливу гірничодобувної галузі на навколишнє середовище та захист інтересів громадян, особливо у вельми техногенно навантажених регіонах.

Розроблену інформаційно-аналітичну карту, де розташовані накопичення промислових відходів, утворені кар'єрні пустоти і перспективні системи «кар'єрні пустоти – закладні матеріали», планується передати Міністерству екології та природних ресурсів, а також департаментам екології і природних ресурсів обласних державних адміністрацій. Інформаційно-аналітична карта дозволить сфокусувати увагу на вирішенні проблем порушень земної поверхні у конкретних промислових регіонах України, а також буде корисною для розвитку вельми потрібних екологічних програм за спільної участі органів влади (державних та регіональних) й приватного бізнесу щодо повного відновлення порушених гірничими роботами земель. Отриманий практичний результат є важливим підґрунтям для створення дієвого механізму та ефективних заходів з повного відновлення стану земної поверхні й системи управління промисловими відходами у визначених регіонах, що сприятиме зміцненню міжнародного іміджу України як відповідальної та екологічно усвідомленої країни.

Висновки

У представленому дослідженні викладені методологічні інструментарії та підходи щодо уявлення та виявлення перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал» на території України для подальшого розвитку концепції та стратегії з відновлення земної поверхні, порушеної гірничими роботами.

Визначено, що аналітична оцінка розташування накопичень промислових відходів як потенційних закладних матеріалів і кар'єрів на території України на сьогодні не проведена і цим актуальним питанням приділено недостатньо уваги науковою спільнотою та органами державної влади. Також недостатньо вивченим є відновлення земної поверхні на основі формування стійкого закладного масиву у вироблених кар'єрних пустотах.

Розкрито теоретичне уявлення про системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал». Надана характеристика низки важливих умов гармонійного існування й ефективної реалізації визначених перспективних систем «кар'єрні пустоти – закладний матеріал», що дозволить оптимізувати процес закладання, знизити економічні витрати, забезпечити екологічну безпеку та отримати підтримку з боку суспільства й державних органів.

Викладено методологію створення основи інформаційно-аналітичної карти, яка полягала у виконанні послідовних етапів. Наведено принципи визначення і характеристики її основних складових елементів. Створено нову інформаційно-аналітичну карту просторового розташування потенційних закладних матеріалів та утворених кар'єрних пустот на території України, на основі якої визначені перспективні системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал».

Встановлено, що на території України закладання виробленого простору кар'єрів для повного відновлення земної поверхні на сьогодні доцільно розглядати у 12 районах, де розташовано потенційні системи «кар'єрні пустоти – закладний матеріал». Визначеним системам умовно задано спеціальні назви: Криворізька №1, Криворізька №2, Криворізька №3, Покровсько-Нікопольська, Запорізька, Завалівська, Дніпровська, Горішнєплавенська, Маріупольська, Новотроїцько-Докучаєвська, Краматорська, Лисичанська. Отриманий практичний результат є важливим підґрунтям для створення дієвого механізму та ефективних заходів з повного відновлення стану земної поверхні та системи управління промисловими відходами у визначених регіонах, що сприятиме зміцненню міжнародного іміджу України як відповідальної й екологічно усвідомленої країни.

Подяка

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhang, B., Zhao, M., & Tu, Y. (2023). Sustainable development and resources extraction: A novel perspective for resources rich economies. *Resources Policy*, (83), 103595. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103595>
2. Brodny, J., & Tutak, M. (2022). Challenges of the polish coal mining industry on its way to innovative and sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, (375), 134061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134061>
3. Shtangret, A., Shliakhetko, V., & Mandzinovska, K. (2022). The mining industry: An information basis for changes in government regulation. *State and Regions. Series: Economics and Business*, 1(124), 61-66. <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2022-1-10>
4. ГМК Центр оцінює внесок ГМК в економіку України в 10,6%. *Електронний ресурс*. Режим доступу: <https://gmk.center/ua/news/gmk-center-ocinjuie-vnesok-gmk-v-ekonomiku-ukraini-v-10-6/>
5. *Мінеральні ресурси України*. (2021). Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 270 с.
6. Hunko, L., & Berezhna, K. (2021). Problems regarding treatment of disturbed land in Ukraine. *Zemleustriy, Kadastr i Monitoring Zemel'*, (2), 1-14. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2021.02.06>
7. Чабаненко, М.М., Волох, П.В., & Левченко, В.Р. (2020). Юридична категорія «рекультивация земель»: сучасні науково-правові підходи до законодавства. *Юридичний науковий електронний журнал*, (4), 110-114. <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2020-4/25>
8. Wang, H., Qi, Y., Zhang, J., Zhang, J., Yang, R., Guo, J., Luo, D., Wu, J., & Zhou, S. (2022). Influence of open-pit coal mining on ground surface deformation of permafrost in the Muli region in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Remote Sensing*, 14(10), 2352. <https://doi.org/10.3390/rs14102352>
9. Антонік, В.І., Петрухін, А.В., & Антонік, І.П. (2017). Вплив відвалів та хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя на стан екології прилеглих територій. *Вісник Криворізького національного університету*, (44), 161-166.

10. Vriens, B., Plante, B., Seigneur, N., & Jamieson, H. (2020). Mine waste rock: Insights for sustainable hydrogeochemical management. *Minerals*, 10(9), 728. <https://doi.org/10.3390/min10090728>
11. Hrinov, V.H., Khorolskyi, A.O., & Kaliushchenko, O.P. (2019). Elaboration of environmental scenarios for the effective development of valuable mineral deposits. *Mineral Resources of Ukraine*, (2), 46-50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>
12. 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>
13. Behera, S.K., Mishra, D.P., Singh, P., Mishra, K., Mandal, S.K., Ghosh, C.N., Kumar, R., & Mandal, P.K. (2021). Utilization of mill tailings, fly ash and slag as mine paste backfill material: Review and future perspective. *Construction and Building Materials*, (309), 125120. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125120>
14. Кузьменко, О.М., & Петльованій, М.В. (2017). Стійкість штучного масиву при підземній розробці потужного рудного покладу на великій глибині. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (50), 56-62.
15. Корсунський, Г.Я., Павличенко, А.В., & Конопльова, О.О. (2018). Дослідження технології гірничотехнічної рекультивациї в процесі відкритої розробки пологих родовищ. *Геотехнічна механіка*, (139), 195-204.
16. Собко, Б.Ю., Ложников, Ю.В., & Романченко, Ю.В. (2015). Обґрунтування параметрів технологічних схем гірничотехнічної рекультивациї обводнених залишкових вироблених просторів кар'єрів. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (48), 88-95.
17. Villain, L., Alakangas, L., & Öhlander, B. (2013). The effects of backfilling and sealing the waste rock on water quality at the Kimheden open-pit mine, northern Sweden. *Journal of Geochemical Exploration*, (134), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.08.003>
18. Гайко, Ю.І., Гнатченко, Є.Ю., Завальний, О.В., & Шишкін, Е.А. (2021). *Реновација промислової забудови та її адаптација до сучасного міського середовища*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 353 с.
19. Petlovanyi, M., Chebanov, M., & Sherstiuk, Y. (2023). Formation of a backfill mass as an effective method of mining-technical reclamation when rehabilitating lands disturbed by mining. *Materials of the Scientific Collection "InterConf"*, (164), 177-182.
20. Петльованій, М.В., Сай, К.С., Борисовська, О.О., & Хорольський, А.О. (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>

Стаття надійшла до редакції 24.08.2023 і прийнята до друку після рецензування 14.11.2023

REFERENCES

1. Zhang, B., Zhao, M., & Tu, Y. (2023). Sustainable development and resources extraction: A novel perspective for resources rich economies. *Resources Policy*, (83), 103595. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103595>
2. Brodny, J., & Tutak, M. (2022). Challenges of the polish coal mining industry on its way to innovative and sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, (375), 134061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134061>
3. Shtangret, A., Shliakhetko, V., & Mandzinovska, K. (2022). The mining industry: An information basis for changes in government regulation. *State and Regions. Series: Economics and Business*, 1(124), 61-66. <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2022-1-10>
4. GMK Center estimates the contribution of GMK to the economy of Ukraine at 10.6%. Retrieved from: <https://gmk.center/ua/news/gmk-center-ocinjuie-vnesok-gmk-v-ekonomiku-ukraini-v-10-6/> [in Ukrainian].

5. *Mineral resources of Ukraine*. (2021). Kyiv: State Scientific and Production Enterprise “State Geological Information Fund of Ukraine”, 270 p.
6. Hunko, L., & Berezna, K. (2021). Problems regarding treatment of disturbed land in Ukraine. *Zemleustrij, Kadastr i Monitoring Zemel'*, (2), 1-14. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2021.02.06>
7. Chabanenko, M.M., Voloh, P.V., & Levchenko, V.R. (2020). Legal category “land reclamation”: Modern scientific and legal approaches to legislation. *Legal Scientific Electronic Journal*, (4), 110-114 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2020-4/25>
8. Wang, H., Qi, Y., Zhang, J., Zhang, J., Yang, R., Guo, J., Luo, D., Wu, J., & Zhou, S. (2022). Influence of open-pit coal mining on ground surface deformation of permafrost in the Muli region in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Remote Sensing*, 14(10), 2352. <https://doi.org/10.3390/rs14102352>
9. 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 [in Ukrainian].
10. Vriens, B., Plante, B., Seigneur, N., & Jamieson, H. (2020). Mine waste rock: Insights for sustainable hydrogeochemical management. *Minerals*, 10(9), 728. <https://doi.org/10.3390/min10090728>
11. Hrinov, V.H., Khorolskyi, A.O., & Kaliushchenko, O.P. (2019). Elaboration of environmental scenarios for the effective development of valuable mineral deposits. *Mineral Resources of Ukraine*, (2), 46-50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>
12. 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>
13. Behera, S.K., Mishra, D.P., Singh, P., Mishra, K., Mandal, S.K., Ghosh, C.N., Kumar, R., & Mandal, P.K. (2021). Utilization of mill tailings, fly ash and slag as mine paste backfill material: Review and future perspective. *Construction and Building Materials*, (309), 125120. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125120>
14. Kuzmenko, O.M., & Petlyovanyi, M.V. (2017). Stability of the artificial massif during the underground mining of a powerful ore deposit at a great depth. *Collection of Scientific Papers of the National Mining University*, (50), 56-62.
15. Korsunskyi, H.Ya., Pavlychenko, A.V., & Konoplyova, O.O. (2018). Research of the technology of mining reclamation in the process of open pit mining of gentle deposits. *Geotechnical Mechanics*, (139), 195-204.
16. Sobko, B.Yu., Lozhnikov, Yu.V., & Romanchenko, Yu.V. (2015). Justification of parameters of technological schemes of mining reclamation of watered residual produced spaces of quarries. *Collection of Scientific Papers of the National Mining University*, (48), 88-95.
17. Villain, L., Alakangas, L., & Öhlander, B. (2013). The effects of backfilling and sealing the waste rock on water quality at the Kimheden open-pit mine, northern Sweden. *Journal of Geochemical Exploration*, (134), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.08.003>
18. Hayko, Yu.I., Hnatchenko, Ye.Yu., Zavalnyi, O.V., & Shishkin, E.A. (2021). Renovation of industrial buildings and their adaptation to the modern urban environment. Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 353 p.
19. Petlovanyi, M., Chebanov, M., & Sherstiuk, Y. (2023). Formation of a backfill mass as an effective method of mining-technical reclamation when rehabilitating lands disturbed by mining. *Materials of the Scientific Collection “InterConf”*, (164), 177-182.
20. 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. *Naukovyi Visnyk Donetskooho Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu*, 1(10), 115-126 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-1-115-126>

The article was received 24.08.2023 and was accepted after revision 14.11.2023

Петльований Михайло Володимирович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Адреса робоча: 49005, Україна, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8911-4973> **e-mail:** petlovanyi.m.v@nmu.one

Сай Катерина Сергіївна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Адреса робоча: 49005, Україна, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1488-3230> **e-mail:** sai.k.s@nmu.one

Попович Василь Васильович

доктор технічних наук, професор, т.в.о. проректора з науково-дослідної роботи, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Адреса робоча: 79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2857-0147> **e-mail:** popovich2007@ukr.net

Чебанов Максим Олександрович

доктор філософії, доцент кафедри відкритих гірничих робіт, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Адреса робоча: 49005, Україна, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6681-2701> **e-mail:** chebanov.m.o@nmu.one