УДК 553.94:622.7:691

Перспективи ресурсозбереження та використання відвальних порід ділянки надр «Зарічна техногенна» як техногенної мінеральної сировини

Книш І.Б [1], https://orcid.org/0000-0001-7962-5414, ivan.knysh@lnu.edu.ua;
Михалюк М.В.[2], https://orcid.org/0000-0001-7032-9619, Malva_2008@ukr.net
[1]*Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна*
[2]*Львівська національна наукова бібліотека України імені В. Стефаника, м. Львів, Україна*

Досліджено потенціал використання відвальних порід вугільних шахт як техногенних родовищ багатоцільової сировини. На прикладі ділянки надр «Зарічна Техногенна» (породний відвал шахти «Зарічна» у Шептицькому районі) наведено результати геолого-технологічних випробувань. Встановлено, що внутрішня будова та мінералогічна матриця відвалу, представлена аргілітами, алевролітами, пісковиками й вугіллям, забезпечують його високу промислову цінність. Доведено придатність порід для збагачення з метою отримання високозольного вторинного палива, виробництва будівельного щебню, піску, цегли та заповнювачів бетонів. Обґрунтовано ефективність застосування алюмосилікатної суміші як добавки у виробництві портландцементного клінкеру. Висвітлено геохімічний потенціал та перспективи гідрометалургійного вилучення рідкісних і рідкоземельних елементів, концентрація яких зростає внаслідок термічного метаморфізму. Промислова переробка відвалу сприятиме зменшенню екологічних ризиків, рекультивації земель та розвитку ресурсозберігаючої економіки в рамках післявоєнного відновлення України.

Ключові слова: відвальні породи, техногенне родовище, ділянка «Зарічна Техногенна», будівельні матеріали, вторинне паливо, рідкісноземельні елементи, ресурсозбереження.

УДК 553.94:622.7:691

Prospects for resource saving and utilization of waste rocks from the "Zarichna technohanna" subsurface plot as technogenic mineral raw materials

Knysh Ivan[1], https://orcid.org/0000-0001-7962-5414, ivan.knysh@lnu.edu.ua;
Myhaliyk Malvina[2], https://orcid.org/0000-0001-7032-9619, Malva_2008@ukr.net
[1] *Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine*
[2]*Vasyl Stefanyk National Scientific Library of Ukraine, Lviv, Ukraine*

The potential of utilizing coal mine waste rocks as technogenic deposits of multi-purpose raw materials has been investigated. Using the subsurface plot "Zarichna Technogenic" (the waste dump of the Zarichna mine in the Sheptytskyi district) as a case study, the results of geological and technological testing are presented. It was established that the internal structure and mineralogical matrix of the dump, represented by mudstones, siltstones, sandstones, and coal, ensure its high industrial value. The suitability of the rocks for beneficiation to obtain high-ash secondary fuel, as well as for the production of construction crushed stone, sand, bricks, and concrete aggregates, has been proven. The efficiency of using the aluminosilicate mixture as an additive in Portland cement clinker production is substantiated. The geochemical potential and prospects of hydrometallurgical extraction of rare and rare-earth elements, the concentration of which increases due to thermal metamorphism, are highlighted. Industrial processing of the waste dump will contribute to mitigating environmental risks, reclaiming land, and developing a resource-efficient economy as part of Ukraine's post-war recovery.

Keywords: waste rocks, technogenic deposit, Zarichna Technogenic plot, construction materials, secondary fuel, rare-earth elements, resource efficiency.

Вступ. Глобальні трансформації сучасної промислової інженерії вимагають якісно нового підходу до ресурсозбереження та поводження з промисловими відходами гірничодобувного комплексу. Багаторічна інтенсивна розробка вугільних родовищ Львівсько-Волинського кам’яновугільного басейну супроводжувалася масштабним вилученням гірничої маси на поверхню та накопиченням колосальних обсягів породних відвалів, які тривалий час розглядалися виключно як екологічно небезпечний баласт.

Сучасна геологічна та технологічна наука розглядає подібні накопичення шахтних порід як повноцінні техногенні родовища багатоцільової мінеральної та енергетичної сировини. Комплексна розробка цих об'єктів дає змогу одночасно розв'язати три фундаментальні задачі регіону: вилучити значні площі вилучених земель із техногенного обороту для подальшої рекультивації, забезпечити будівельний і дорожній сектори дешевими та якісними вторинними матеріалами, а також вилучити супутні цінні компоненти, включаючи високозольне вторинне паливо та рідкісні й рідкоземельні елементи, що мають стратегічне значення для високотехнологічних галузей економіки.

Мінералогічний склад відвальних порід - це переважно алюмосилікатна маса (глини, аргіліти, алевроліти, пісковики), збагачена на різних стадіях вуглевидобутку домішками кварцу, польових шпатів, карбонатів, гідроксидів заліза та навіть залишкового вуглецю. Така різноманітна структура робить їх придатними для використання у багатьох галузях промисловості: будівельній, хімічній, металургійній, енергетичній. Сучасні дослідження доводять, що за технологічної підготовки відвали можуть бути не проблемою, а цінним ресурсом, що частково замінює природну сировину, зменшуючи навантаження на довкілля.

У світовій практиці вже накопичено чималий досвід використання техногенних відходів як вторинної сировини. У країнах Європейського Союзу, Китаї, США активно впроваджуються технології залучення промислових відходів у виробництво будівельних матеріалів, цементу, скла, кераміки, а також у сфері рекультивації земель.

Міжнародний досвід підтверджує ефективність такої практики. У Польщі та Чехії відвальні породи вже десятиліттями використовуються у будівельних матеріалах. У Німеччині з 1970-х років реалізовано програми рекультивації та промислового використання шахтних відвалів, значна частина яких перетворена на парки й культурно-рекреаційні зони [5]. Китай активно впроваджує технології вилучення з відвальних порід рідкісноземельних та кольорових металів, а також їх використання у цементній та скляній промисловості [7].

Для України цей досвід надзвичайно цінний. Використання порід відвалів як техногенного ресурсу може стати частиною стратегії післявоєнного відновлення, поєднуючи економічний розвиток із вирішенням екологічних проблем [1–3, 6]. Таким чином, використання порід відвалів вугільних шахт як техногенної сировини відкриває нові можливості для розвитку ресурсоефективної економіки, зменшення техногенного навантаження на природу та створення нових виробничих напрямів.

Виклад основного матеріалу. Об’єктом досліджень виступили вуглевмісні негорілі та термічно змінені вуглевмісні породи, які оцінювалися при попередній геолого-економічній оцінці ділянки надр «Зарічна Техногенна» [4]. Ділянка надр досліджується ТОВ «СПС», починаючи із 2025 року, керуючись спеціальним дозволом №5748 від 09.12.2024 р. на користування надрами, що виданий Державною службою геології та надр України, з метою геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислової розробки, корисних копалин з подальшим видобуванням корисних копалин (промислова розробка родовищ).

Метою дослідження є геолого-технологічне обґрунтування перспектив комплексного залучення відвальних порід ділянки надр «Зарічна Техногенна» (породного відвалу шахти «Зарічна») як техногенного родовища багатоцільової мінеральної сировини.

Фізико-географічно даний об’єкт розташований у Шептицькому районі Львівської області, за 1,2 кілометра на південний захід від селища Гірник. Ділянка надр “Зарічна Техногенна” - це колишній відвал вугільної шахти «Зарічна», розташований північніше колишньої промплощадки шахти, якою здійснювалась розробка покладів вугілля у складі середньої вугленосної світи намюрського ярусу нижнього відділу кам’яновугільної системи, сформованої алевроліт-аргілітовими відкладами з прошарками пісковиків, уламків вугілля, іноді – карбонатних порід. Таким чином, ділянка надр відноситься до техногенного мінерального об’єкту, сформованого шахтними породами вугледобувного виробництва. Формування породного відвалу розпочато одночасно із проходкою шахтового ствола в 1970-х. Запущений в експлуатацію разом із шахтою в 1970 році.. В плані породний відвал має округлу форму, витягнуту в північно – західному напрямку (абсолютні відмітки від 235,0 до 196,0м). Параметри відвалу – конічний (163 тис. м^2, 3,4 млн м^3), за даними ГЕО-2 на 2025 рік.

Породний відвал ділянки «Зарічна Техногенна» характеризується складною внутрішньою будовою, різними за щільністю, крупністю уламків які його складають, речовинним складом, вмістом корисних компонентів і технологічними властивостями накопиченої мінеральної сировини.. Ключовим фактором, який визначив сучасний внутрішній стан, літологічну цілісність та пожежну безпеку масиву, став обраний спосіб формування відвалу. З початку експлуатації шахти транспортування гірничої породи у відвал здійснювалося за допомогою канатних підвісно-маятникових доріг. Під час постійного розвантаження конусоподібна маса послідовно переформовувалася у плоский відвал. Такий технологічний прийом забезпечив належний рівень аерації та ефективну тепловіддачу масиву,

що практично повністю запобігло виникненню в породах стійких осередків самозаймання. Завдяки відсутності суцільного неконтрольованого горіння в тілі відвалу збереглися як первинні негорілі різновиди порід, так і зонально, термічно змінені перегорілі фракції.

З геолого-промислової точки зору товща вуглевмісних відвальних порід ділянки «Зарічна Техногенна» належить до другої групи складності геологічної будови. За літологічним складом породний відвал віднесено до глинистого типу. Масив складається із суміші різнорозмірних уламків аргілітів, алевролітів, пісковиків, кам'яного вугілля та карбонатних порід. Аналіз мінералогічного та літологічного складу показує, що найбільше поширення у товщі мають аргіліти та алевроліти, які сукупно займають від 36,92 до 95,97 %а від загального об'єму породи. Вміст кам'яного вугілля варіюється у широких межах — від 1,1 до 27, 84 %. Частка пісковиків становить від 0,3 до 8,65 %. Вміст вільної кварцової складової сягає від 0,1 до 20,25 %. У гранулометричному відношенні відвальні породи представлені щебенево-жорств'яною сумішшю різнорозмірних уламків крупністю від часток міліметра до 40-80 міліметрів і більше. За загальною класифікацією це породи середньої крупності та дрібні. У масі виділяється великоуламкова та тонкодисперсна частини, причому вміст тонкодисперсного та глинистого наповнювача становить від 26 до 50 відсотків, а в окремих зонах досягає 60 %.

За макроскопічними та візуальними ознаками негорілі породи мають сірий, сіро-чорний та коричнево-чорний колір. За вмістом оксидів заліза породи варіюються від малозалізистих до залізистих. За вмістом органічного вуглецю вони відносяться до групи вуглецевих порід, а за вмістом загальної сірки — до малосірчаних та середньосірчаних. Лабораторні випробування зольності свідчать, що відвальні породи є дуже високозольними: показники коливаються від 36,41 до 98,03 %, при середньому значенні по ділянці на рівні 76,72 %.

Вуглевмісні відвальні породи ділянки надр «Зарічна Техногенна» оцінені при попередній ГЕО (ГЕО-2) як комплексна сировина і можуть використовуватись для вилучення вторинного палива, для отримання щебню та застосовуватися в енерго-технологічних процесах виробництва цегли, цементу та іншої будівельної продукції. Багатокомпонентність мінерального складу відкривають значні можливості для промислової сепарації та багатонапрямкового використання матеріалу. Насамперед негорілі вуглевмісні породи із високою часткою органічної маси слугують сировиною для механічного або гравітаційного збагачення. Шляхом попередньої сепарації з них можливо вилучити високозольне вторинне паливо у вигляді вугільного промпродукту, який може бути ефективно використаний у пиловугільних котлах теплових електростанцій та промислових опалювальних установках, мінімізуючи потреби у первинному вугіллі.

Результати випробувань підтверджують збагачувальність вуглевмісних відвальних порід на ділянці надр, та можливість використання їх в якості сировини для отримання високозольного вторинного палива у вигляді суміші вугілля кам'яного та вуглевмісних порід.

Другим за обсягами напрямком є використання термічно змінених порід у дорожньому будівництві та виробництві заповнювачів. Внаслідок випалювання в умовах обмеженого доступу кисню термічно змінені аргіліти та алевроліти набувають властивостей штучного керамзитоподібного матеріалу з високою міцністю та стійкістю до атмосферного вивітрювання. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-74-98 дана сировина класифікується за щільністю та походженням як щебінь середньо-пористий із горілих порід відходів вугільної промисловості. Цей щебінь є ідеальним матеріалом для влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу, зведення залізничних насипів, підбудовних дамб та дренажних систем.

ТОВ «СПС» виконало оцінка якості відвальних порід у відповідності до вимог ДСТУ 9177-2:2022 Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови, який поширюється на матеріали неукріплені (незв'язні), що використовують для влаштування шарів дорожнього одягу без використання в'яжучих. Щебінь за формою зерен пластинчастої і голчастої форми відноситься до звичайної групи. Фізико – механічні властивості щебню з перегорілих порід свідчать про їх придатність до використання для влаштування шарів дорожнього одягу основи автомобільних доріг V - V категорій. Отриманий щебінь за фракційним складом 20-40, 10-20, 5-10 мм відповідає щебню (гравію) заклинювальної фракції. Гранично допустимі рівні вмісту радіонуклідів у сировині, що використовується для

виготовлення продукту не перевищують 370 Бк/кг відповідно до НРБУ. Посилаючись на досвід досліджень аналогічних об'єктів прогнозується, що термічно змінені та негорілі породи ділянки «Зарічна» будуть придатні для виробництва щебню для будівельних робіт. Дослідження проводитимуться під час дослідно-промислової розробки та ГЕО-1.

Враховуючи речовинний склад, характеристику та мінливість складу вуглевмісних порід, ще одним напрямком технологічних випробувань є дослідження вуглевмісних відвальних порід в якості добавок у виробництві в'яжучих матеріалів.Хімічний склад вуглевідходів сприяє їх залученню в технологічний процес виробництва цементу. При використанні вуглевмісних порід в технології цементу реалізується їх енергетичний потенціал і мінеральна складова, представлена переважно глиноземом та кремнеземом. Така техногенна сировина може використовуватись в технології цементу в якості мінеральних добавок.

Вуглевмісні відвальні породи із ділянки надр «Зарічна Техногенна» вивчаються в якості глинозем- і кремнеземвміщуючої добавки в сировинну суміш для отримання портландцементного клінкеру. Максимальний вміст алюмосилікатних вуглепорід в шихті може складати від 12 до 20 % (або 0,3-0,6 т на 1 т. клінкеру). Додавання вуглевмісних порід супроводжується одночасно зменшенням водоспоживання шихти і за рахунок спалювання паливних компонентів вуглевідходів зменшуються витрати палива і збільшується продуктивність цементних печей, що сприяє більш детальному вивченню енергетичних властивостей вуглевмісних порід родовища. Цемент, виготовлений на базі отриманого портландцементного клінкеру нормованого складу (КТ - 2), пройшов випробування згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-46-2010 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови», за результатами яких виготовлений портландцемент відповідає характеристикам марки 400.

Відсів подрібнення термічно змінених відвальних порід на щебінь (фракції 0-5 мм) випробовувалися у відповідності з вимогами ДСТУ Б В.2.7-29-95. За зерновим складом відсів класифікуються як пісок крупний. За вмістом пиловидних та глинистих часток класифікуються як піски групи з дуже високим вмістом. Глина в грудках відсутня. Відсів відноситься до групи сировини із дуже низьким вмістом органічних домішок

Наведені результати лабораторних досліджень відсіву від подрібнення перегорілих відвальних порід на щебінь, свідчать про відповідність якості відсіву вимогам ДСТУ Б В.-210:2010 «Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови» і ДСТУ Б В.2.7-29-95 "Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація" як: пісок-компонент в'яжучого для виробництва щільних силікатних бетонів; пісок для виробництва силікатних цегли та каменю; пісок для благоустрою.

Пісок вихідний з дуже високим вмістом глини можна використовувати для благоустрою. Можливість використання твердих відходів видобутку вугілля для технічної рекультивації багато в чому залежить від їх літологічного складу. З врахуванням цього показника більшість вуглевідходів придатна для технічної рекультивації. Використання вуглевмісних відходів дозволяє скоротити витрати на роботи із рекультивації, оскільки виключається (зменшується) використання природного ґрунтового шару. Для активації органічної речовини вуглевмісних порід вони змішуються з добривами або (за необхідності) із спеціальними активаторами. За літературними даними, вуглевмісні породи перед змішуванням з іншими компонентами подрібнюють до крупності менше 3 мм.

Узагальнюючи нормативні випробовування, відвальні породи ділянки відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-29-95, ОСТ 21-78-88, ДСТУ Б В.2.7-61:2008 та ДСТУ Б В.2.7-210:2010 для виробництва цегли, черепиці, тротуарних покриттів, бетонів та шляхового будівництва.

Поряд із будівельним та паливним напрямками, винятковий науковий та індустріальний інтерес становить геохімічний потенціал рідкісних, розсіяних та рідкоземельних елементів у породах відвалу шахти «Зарічна». Мінералогічна матриця тонкодисперсних аргілітів та алевролітів, що складають до 95% уламкової маси відвалу, формувалася в умовах інтенсивного сорбційного накопичення металів глинистими речовинами під час древнього осадонакопичення та діагенезу. Тонкодисперсна глиниста фракція виступала природним геохімічним бар'єром, що концентрував широку гаму рідкісноземельних елементів, включаючи лантаноїди, а також ітрій, скандій, ґалій, ґерманій, літій та ванадій.

Особливе геохімічне значення мають термічно змінені різновиди порід відвалу. У процесі природного або техногенного термічного метаморфізму відбувається вигорання органічної вуглецевої складової, що супроводжується значною втратою маси та об'єму вихідного матеріалу. При цьому рідкісні та рідкоземельні елементи, зв'язані із силікатною та алюмосилікатною матрицею, не випаровуються, а акумулюються у залишковому силікатному спеку чи золі. У результаті цього явища в термічно змінених аргілітах спостерігається природне збагачення та зростання концентрацій рідкісноземельних елементів у три-п'ять разів порівняно з первинними розсіяними вмістами у вугільних пластах.

Вилучення цих елементів з порід ділянки «Зарічна Техногенна» є технологічно досяжним завдяки сучасним методам гідрометалургії. Використання технологій селективного купчастого або агітаційного кислотного вилуговування розчинами м'яких мінеральних чи органічних кислот, а також методів бактеріального вилуговування дає змогу переводити до вісімдесяти відсотків лантаноїдів, скандію та ітрію в рідку фазу з наступною екстракцією та сорбційним виділенням товарних оксидів. Економічна привабливість вилучення РЗЕ з відвалу шахти «Зарічна» обумовлена тим, що гірнича маса вже вилучена на поверхню, подрібнена в ході видобутку та складування і розміщена у зоні з готовою транспортною інфраструктурою, що повністю виключає витрати на дороговартісний підземний або відкритий видобуток руди.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні комплексної ресурсної цінності техногенного масиву ділянки «Зарічна Техногенна», де завдяки специфіці формування відвалу було забезпечено належну аерацію та тепловіддачу, що запобігло суцільному самозайманню й зберегло як первинні негорілі, так і зонально термічно змінені різновиди порід. Вперше для даного об’єкта деталізовано та експериментально підтверджено багатоцільову технологічну придатність порід для отримання високозольного вторинного палива, виготовлення заклинювального щебню для дорожнього будівництва, застосування піску з відсіву подрібнення у виробництві бетонів і цегли, а також використання алюмосилікатної суміші як енерго-мінеральної добавки у випалі портландцементного клінкеру.

Висновки. Екологічний та соціально-економічний ефект від реалізації комплексного проекту переробки відвалу «Зарічна Техногенна» має системний характер. Ліквідація або суттєве зменшення габаритів відвалу дасть змогу вилучити з-під техногенного навантаження значні площі родючих земель та повернути їх у господарський оборот. Повне опрацювання масиву ліквідує джерела пилоутворення, повністю усуне загрозу вилуговування токсичних сполук та важких металів у водоносні горизонти басейну річки Західний Буг, виключить ризики виникнення вторинних осередків горіння. Економічна вигода полягає у створенні нових робочих місць та отриманні високої доданої вартості від реалізації щебню, будівельного піску, високозольного вторинного палива та стратегічної рідкоземельної продукції.

У підсумку, ділянка «Зарічна Техногенна» являє собою високоперспективне майбутнє техногенне родовище багатоцільової сировини. Відвальні породи шахти «Зарічна» повністю відповідають усім чинним будівельним, технічним та радіаційно-гігієнічним нормативам і можуть без обмежень залучатися у виробництво дорожньо-будівельних матеріалів, цегли, заповнювачів бетонів та вторинного палива. Подальше поглиблене систематичне дослідження геохімічного складу аргілітів та алевролітів дасть змогу розробити високоефективні технологічні схеми вилучення рідкісних і рідкоземельних хімічних елементів, перетворюючи накопичені гірничі відходи на стратегічний мінерально-сировинний ресурс України.

Список використаних джерел:

1. Волощишин А. І., Попович В. В., Босак П. В. *Екологічний стан природно-технічних геосистем ліквідованих шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну*. EcoLab. Т. 3 : монографія. Львів : ЛДУ БЖД, 2024. 214 с.
2. Іванов Є. А., Ковальчук І. П. Накопичення гірничопромислових відходів у Львівсько-Волинському кам’яновугільному басейні: сучасний стан, проблеми і перспективи поводження. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 75–84.
3. Книш І. Б. Перспективи використання відходів вугільної промисловості Львівщини як нової мінеральної сировини. *Вісник Львівського ун-ту. Серія геологічна*. 2006. № 20. С. 111–123.

4. *Попередня геолого-економічна оцінка кам'яного вугілля ділянки Зарічна техногенна (відвал шахти «Зарічна») у Шептицькому районі Львівської області*. Відпов. виконав.: Тимошенко Т. О. Київ : ФОП «Василенко Богдан Вікторович», 2026.

5. Kasztelewicz Z. Approaches to post-mining land reclamation in Polish open-cast lignite mining. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2014. Vol. 12, no. 1. P. 55–67.

6. Voloshchyshyn A. I., Bosak P. V., Popovych V. V., Menshykova O. V., Kopystynskyi Yu. O. Natural phytomelioration of coal mine waste heaps in the context of increased radiation background (on the case of Nadiya mine, Lviv-Volyn coal basin, Ukraine). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1415. Art. 012130. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012130

7. Wang J., Liu W., Yang R., Zhang L., Ma J. Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. *Disaster advances*. 2013. Vol. 6, no. 3. P. 366–377.

References:

Ivanov, Ye. A., & Kovalchuk, I. P. (2024). Nakopychennya hirnychopromyslovykh vidkhodiv u Lvivsko-Volynskomu kamyanovuhilnomu baseyni: suchasnyy stan, mekhanizmy i perspektyvy povodzhennya [Accumulation of mining waste in the Lviv-Volyn coal basin: Current state, problems and management prospects]. *Ukrayinskyy zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 7, 75–84. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.8 [in Ukrainian].

Kasztelewicz, Z. (2014). Approaches to post-mining land reclamation in Polish open-cast lignite mining. *Civil and Environmental Engineering Reports*, *12*(1), 55–67. DOI: 10.2478/ceer-2014-0006.

Knysh, I. (2006). Perspektyvy vykorystannya vidkhodiv vuhilnoyi promyslovosti Lvivshchyny yak novoyi mineralnoyi syrovyny [Prospects of using coal industry waste of Lviv region as a new mineral raw material]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heolohichna [Bulletin of Lviv University. Geological Series]*, 20, 111–122 [in Ukrainian].

Tymoshenko, T. O. (Resp. Exec.). (2026). *Poperednia heoloho-ekonomichna otsinka kamianoho vuhillia dilianky Zarichna tekhnohenna (vidval shakhty "Zarichna") u Sheptytskomu raioni Lvivskoi oblasti* [Preliminary geological and economic evaluation of hard coal in the Zarichna Technogenic site (spoil tip of the "Zarichna" mine) in Sheptytskyi District, Lviv Region] (Report). FOP "Vasylenko Bohdan Viktorovych"[in Ukrainian].

Voloshchyshyn, A. I., Bosak, P. V., Popovych, V. V., Menshykova, O. V., & Kopystynskyi, Yu. O. (2024). Natural phytomelioration of coal mine waste heaps in the context of increased radiation background (on the case of Nadiya mine, Lviv-Volyn coal basin, Ukraine). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1415*, Article 012130. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012130

Voloshyshyn, A. I., Popovych, V. V., & Bosak, P. V. (2024). *Ekolohichnyy stan pryrodno-tekhnichnykh heosystem likvidovanykh shakht Lvivsko-Volynskoho vuhilnoho baseynu* [Environmental state of natural-technical geosystems of liquidated mines of the Lviv-Volyn coal basin] (*EcoLab*, Vol. 3). Lviv State University of Life Safety. https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/13986 [in Ukrainian].

Wang, J., Liu, W., Yang, R., Zhang, L., & Ma, J. (2013). Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. *Disaster Advances*, *6*(3), 366–377.