

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Навчально-науковий механічний інститут

(повна назва навчально-наукового інституту)

Кафедра розробки та видобування корисних копалин

(повна назва випускової кафедри)

Кваліфікаційна робота

бакалавр

(освітній ступінь)

на тему: Проект дослідження запасів вмісту і розподілу самородної міді в базальтах
Волині

Виконав: здобувач 3 курсу, групи ГРз-31інт
освітньої програми (спеціальності) 184
«Гірництво»

(код і повна назва спеціальності)

Квасний Віктор Сергійович

(прізвище та ініціали)

Керівник

доц. Мощич С.З.

(прізвище та ініціали)

Рецензент проф. Корнієнко В.Я.

(прізвище та ініціали)

Рівне – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Навчально-науковий інститут механічний
Кафедра розробки та видобування корисних копалин
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 184 «Гірництво»

З А В Д А Н Н Я
ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧА

Квасному Віктору Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект дослідження запасів вмісту і розподілу самородної міді в базальтах Волині.

керівник роботи к.е.н., доц. Мощич С.З.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом університету від «24» 04. 2026 року С№ 465

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи базальти Волині.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. АНАЛІЗ ЗАПАСІВ, СКЛАДУ, ВМІСТУ ЦІННИХ МЕТАЛІВ І ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ 2. ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ 3. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ, ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ, ВМІСТУ ЦІННИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ РОЗПОДІЛУ В ПОРОДАХ БАЗАЛЬТОВОГО МАСИВУ. 4. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ. 5. ВИДОБУВНІ РОБОТИ Висновки. Література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Мультимедійна презентація

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАПАСІВ, СКЛАДУ, ВМІСТУ ЦІННИХ МЕТАЛІВ І ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ	7
РОЗДІЛ 2. ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ	12
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ, ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ, ВМІСТУ ЦІННИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ РОЗПОДІЛУ В ПОРОДАХ БАЗАЛЬТОВОГО МАСИВУ	20
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ	30
РОЗДІЛ 5. ВИДОБУВНІ РОБОТИ	35
Висновки	47
Література	49

ВСТУП

В Україні інтенсивно ведеться видобуток базальту. Він зосереджений переважно на заході країни, зокрема в Рівненській області. Видобутий базальт використовується в будівництві. Наприкінці минулого століття геологи Рівненської експедиції відзначили високий вміст дорогоцінних металів у складі базальтів, туфів та пов'язаних з ними лавових брекчій. Однак сьогодні базальт використовується виключно для будівництва, тоді як туфи та лавові брекчії зберігаються у відвалах. Ці багаті на руду родовища, тим не менш, цінні, оскільки, незважаючи на відмінності в структурі та фізико-механічних властивостях, вони містять самородну мідь, залізо та титан у кількостях, придатних для промислового виробництва. Протягом періоду видобутку в базальтових кар'єрах накопичилися мільйони тон туфів та лавових брекчій. Ці штучні відвали підлягають комплексному підходу до їх обробки. Світовий досвід видобутку міді пов'язаний, перш за все, з видобутком та переробкою її окислених видів (малахіту, азуриту, куприту, халькопїриту, бірюзи тощо). Базальтові родовища також містять деякі з цих мінералів, але їхня головна перевага полягає в наявності самородної міді, яка значно дешевша та простіше видобувати.

Щорічні потреби України в міді становлять приблизно 170 000 тонн, переважно імпортованих. Це підкреслює важливість експлуатації базальтових родовищ та необхідність розробки комплексної безвідходної технології переробки базальтової сировини. Потрібні подальші дослідження для розробки науково обґрунтованих схем та процесів підготовки руди, які дозволять видобувати корисні метали та використовувати решту силікатної фракції. Перспективним рішенням для оптимізації експлуатації запасів родовища є розробка та впровадження нових схем та процесів підготовки руди. Ці процеси повинні забезпечувати точну діагностику елементного, мінералогічного та гранулометричного складу кожного компонента базальтової сировини на різних стадіях підготовки руди. Ключовою вимогою цього процесу є врахування геолого-мінералогічних характеристик, ступеня включень самородної міді та, у зв'язку з цим, специфіки процесів

підготовки руди, а також встановлення зв'язку між вийманнями мінералу на кожному етапі обробки та параметрами обладнання та умовами експлуатації.

Оскільки комплексна переробка металоносної базальтової сировини в Україні не проводилася, а наявність самородної міді є винятковою, необхідно проаналізувати склад та технологічні властивості кожної породи під час процесів підготовки руди. Розмір включень та зерен, що їх складають, ступінь подрібнення, вміст самородної міді, вплив електромагнітних полів, гранулометричний склад вміщувальних порід та їх підготовка до подальшого перерозподілу металургійними або збагачувальними методами потребують подальших досліджень. У дослідженнях, що стосуються виробництва кінцевих продуктів підготовки руди, вибір необхідного обладнання та його параметрів має першочергове значення.

Мета роботи - дослідження запасів вмісту і розподілу самородної міді в базальтах Волині.

1. АНАЛІЗ ЗАПАСІВ, СКЛАДУ, ВМІСТУ ЦІННИХ МЕТАЛІВ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ

Розвиток сировинних ресурсів є одним з основних напрямків державної технологічної політики України. Високе споживання кольорових металів промисловістю та зростання їх вартості вимагають активізації розвідки та експлуатації родовищ цих металів в Україні. Незважаючи на значно розвинений гірничодобувний сектор, наразі жодне підприємство не займається видобутком кольорових металів. Однак проводиться значна геологорозвідувальна та науково-дослідна діяльність з метою виявлення родовищ, їх запасів та підготовки доіндустріальних майданчиків. У зв'язку з цим волинські базальти, які простягаються від Молдови до Білорусі через Україну та Польщу, становлять великий інтерес. Як сировинні ресурси, вони цінні не лише як будівельні матеріали, але й як родовища численних дорогоцінних мінералів. Відкриття мідних самородків у волинських базальтах у 1930-х роках дозволило вивчити походження мідного зруденіння, мінералогічний склад вміщувальних порід, виявити перспективні родовища та пошук нових зон зруденіння. На сьогоднішній день на Волині відомі два родовища міді, зокрема Рафалівський мінералізований вузол у Рівненській області, відкритий Рівненською геологічною експедицією під час розвідувального буріння. Вивчення родовищ у кількох базальтових кар'єрах показало, що корінна мінералізація Волинських трапів має регіональний характер і розподілена за кількома морфотипами з різними умовами локалізації. Вона зустрічається, зокрема, у вигляді дисперсної, шаруватої, жильноподібної імпрегнованої мінералізації та у вигляді великих імпрегнованих злитків у лавакlastичних брекчіях. Базальтова формація трапів тут переважно складається з базальтів, базальтових туфів та лавакlastичних брекчій. Після відкриття геологами Рівненської експедиції у 1999 році перспективних родовищ корінної міді у всіх трьох компонентах родовища, вивчення цих утворень, їх складу та властивостей набуло практичного значення [1, 2]. Волинські базальти захоплюють дослідників своїми унікальними властивостями, зокрема мінералогічним та хімічним складом. Їхній ізотопний вік, визначений калій-аргоновим методом,

коливається від 510 до 598 мільйонів років. Виділяють два різновиди. Афонітові базальти - це чорні та темно-сірі породи. По суті, це плагонітові базальти. Їхній мінеральний склад такий: плагіоклаз (36%), піроксен (33%), скло (19%), палагоніт (6%) та рудні мінерали (6%). Ці базальти виходять на поверхню в кар'єрах сіл Берестівці, Янова Долина, Іванчі, Полиці тощо. Мигдалеподібні базальти — це дрібнозернисті, зеленувато-сірі породи з численними включеннями розміром до 15 мм. Їхній мінеральний склад такий: плагіоклаз, рудні мінерали (магнетит, ільменіт), апатит та вулканічне скло. Основні виверження відбуваються в басейні річки Стир. Щільність породи становить $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$. Хімічний склад основних базальтів представлено в таблиці 1 (масовий відсоток). [1, 3].

Таблиця 1 – Хімічний склад основних базальтів по кар'єрам

Місця оголення	Склад хімічних елементів, %														
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	CuO	H_2O	Інші
с. Ходоси с. Гутвин с. Янова Долина с. Мидськ	45,0	2,54	14,30	6,03	6,46	0,41	8,47	6,58	2,42	0,48	0,17	0,31	0,03-1,21	0,72	1,881
с. Берестівці с. Янова Долина (карьер 2)	49,5	2,85	12,79	3,36	10,6	0,21	6,19	9,38	2,78	2,05	0,57	0,21	0,221	0,81	2,411
с. Іванчі (Рафалівський кар'єр)	55,1	2,2-4,0	14,91	5,51	13,2 - 15,3	0,41	4,21	10,2	3,01	1,81	0,41	0,31	0,3-1,2	0,71	

Варто зазначити, що родовища самородної міді в трапових базальтах є рідкістю. Тому їх вивчення та допромислова підготовка вимагають розробки нових, іноді унікальних, технологій. Відомі три типи базальтового самородного мідного зруденіння: 1) рифейські траппи Великих озер (США); 2) давні ведичні траппи Волині; та 3) пермо-тріасові траппи Таймиру, Нової Землі, Аляски, Юкону, Британської Колумбії та Китаю. З цих родовищ розробляється лише Мічиганське мідне родовище (група родовищ на півострові Ківінаван), яке є найвідомішим у світі своїми запасами самородної міді. За 120 років з цього родовища було видобуто приблизно 150 мільйонів тонн міді та 500 тонн срібла [4]. Завдяки численным особливостям своєї геологічної будови це родовище подібне до родовища

Волинського мідного регіону, хоча значних родовищ міді там ще не виявлено. Порівняння цих унікальних регіонів з точки зору складу та структури їхніх мідних комплексів підкреслює їхню самобутність та дозволяє оцінити потенціал Волинської області щодо видобутку міді та промислових запасів міді. Це також пропонує переосмислити управління базальтовими родовищами, враховуючи їх загальну переробку, а не лише виробництво базальтових хвостів [4, 5]. Вивчення характеристик родовища самородної міді в регіоні Мічигану та його порівняння з Волинською областю свідчить про те, що остання має найбільшу геологічну схожість і що родовища самородної міді, ймовірно, будуть виявлені в подібних районах. Докембрійські мінералізовані міжблокові розломні зони вважаються перспективними [4].

Прогнозовані потреби України в самородній міді на період 2006-2012 років становлять приблизно 170 000 тонн на рік. Однак Україна не має розвіданих запасів мідної руди; тому виявлені на Волині мідні руди потребують ретельного дослідження та експлуатації. Це родовище є унікальним, оскільки у світі дуже мало родовищ самородної міді, кожне з яких має свої специфічні характеристики. Сучасні технології видобутку не дозволяють повною мірою використовувати їхній потенціал, що й вимагає подальших досліджень та передпромислової підготовки родовища. Наразі видобуток базальту здійснюється переважно для виробництва будівельних заповнювачів, без урахування багатокomпонентного складу цієї сировини, а шляхом експлуатації лише її найдешевшої фракції. У деяких різновидах базальту виявлено концентрацію самородної міді від 0,3% до 1%, що становить промисловий інтерес. Лавові брекчії містять самородки вагою до 700 г, з концентрацією міді від 0,4% до 5,0%. Тому переробка лавових брекчій заслуговує на пріоритетну увагу [2, 7].

В останні роки відкриття цієї цінної сировини стимулювало значні дослідницькі та промислові зусилля в Рівненсько-Волинській області. Структура пасткових угідь базальтових родовищ, різноманітність форм зруденіння та мінеральний склад породи, навіть на сучасному етапі дослідження, свідчать про необхідність комплексного підходу до експлуатації родовища. Це стосується як технологій видобутку та переробки, так і використання готової продукції, оскільки відвали багатого на мідь

Рафалівського базальтового кар'єру займають площу понад 60 гектарів. Наприклад, багат шарова структура базальтової породи, що складається з базальтів, туфів різного мінерального складу, лавових брекчій, багатих на самородну мідь, та мінералізованих шарів, що містять дорогоцінні метали в промислових кількостях, ставить під сумнів доцільність експлуатації базальту виключно для виробництва заповнювачів та облицювальної плитки. [1, 6, 7].

У [4] представлено класифікацію самородної міді з Волині та зазначено її основні місця розташування в межах родовища. Виділено наступне:

1. Самородна мідь, імпрегнована дисперсно та шарувато, переважно розташована в слабо змінених та флюїдизованих фанеритових базальтах у нижній частині потужних потоків. Її концентрація в базальтах рідко перевищує 0,3%. Розсіяні вклучення самородної міді спостерігалися геологами в базальтових туфах бабинської свити; вони характерні для слабо змінених різновидів, зі специфічним зеленим кольором, в яких концентрації, що досягають 1,0% міді, були виявлені в мінералізованому інтервалі від 1,5 до 2,0 м [4, 8].

2. Самородна мідь, імпрегнована прожилково, поширена в тріщинах та жилах гідротермальної мінералізації базальтів та туфів. Її концентрація надзвичайно неоднорідна та збільшується там, де прожилкова мідна мінералізація перекриває вкраплені мідні горизонти [4].

3. Найбагатші мідні руди були виявлені в тонкому до потужного горизонту лавоокластичних брекчій біля основи нижнього базальтового потоку Ратнянської формації. Там були знайдені мідні самородки вагою понад 700 г, зцементовані гідротермальними мінералами, такими як кварц, халцедон, хлорит та аналіт, утворюючи мигдалеподібні фрагменти базальту. Вміст міді в цих формаціях варіюється від 0,4% до 5% [4, 8].

Самородна мідь з потенційно промислово важливих родовищ, видобуток яких економічно виправданий (у цьому випадку вулканічні породи Волині), має специфічні характеристики, які необхідно враховувати для її подальшої експлуатації. Багатофакторний склад, різна глибина залягання та природа вміщувальних порід вимагають комплексної технології видобутку (відкритий або підземний видобуток,

гідравлічний видобуток через стволи). Таким чином, різноманітність корисних копалин вимагає цілого ряду застосовуваних методів для оптимізації експлуатації родовищ та розробки різних гірничих процесів. Слід зазначити, що розташування родовищ у заповідних зонах обмежує використання відкритого видобутку з екологічної точки зору. У цьому випадку перевагу надають геотехнологічному методу, заснованому на мобілізації корисних копалин на місці їх залягання. Порівняно з традиційними методами (відкритим та підземним), геотехнологічні методи видобутку корисних копалин мають дві принципові відмінності:

- 1) відкриття, підготовка та експлуатація родовища здійснюються бурінням, а видобуток, як правило, здійснюється з поверхні;

- 2) корисна копалина видобувається з поверхні після обробки одним із технологічних процесів, наприклад, гідроерозією. У цьому випадку властивості родовища використовуються під час розробки технології його переробки на місці видобутку.

Паралельно планується управління гірським хребтом, що виходить на територію видобутку, та враховуються процеси, що там відбуваються.

Щодо всіх розглянутих робіт у Рівненсько-Волинському районі, розроблено наукову основу буріння гідротехнічних свердловин для видобутку важких металів з алювіальних відкладень та техногенних розсипів [9-11]. Ця робота визначає реалізацію концепції розвідки, промислової підготовки та розвитку видобутку дорогоцінних корисних копалин у Рівненській області, а також стратегії збільшення їх концентрації в місцях залягання зі збереженням м'яких вміщуючих порід під землею.

Попередні дослідження Рівненської геологічної експедиції встановили не лише різноманітність та обсяги промислово цінних родовищ корисних копалин, але й умови їх залягання, потужність шарів, вміст кожного мінералу та їх розподіл у шарах базальтового родовища [12, 13]. Тому доцільність не лише складних гірничих робіт, а й переробки залежить від можливостей родовища та сучасних технологій, екологічних вимог регіону та значення продуктів переробки для національної економіки.

Для забезпечення надійності концепції комплексних гірничодобувних та переробних операцій на Волині необхідний попередній аналіз можливостей родовища.

Природні цеоліти викликають значний інтерес у дослідників, враховуючи їх перевірене практичне застосування в усьому світі. Японські вчені, а пізніше промисловці зі США, Китаю, Росії, Болгарії та України — країн, де були виявлені родовища цеолітів — продемонстрували їхній позитивний вплив на врожайність сільськогосподарських культур при внесенні в ґрунт, а також їхню цінність як кормових добавок для худоби та птиці. Використання цеолітно-сметитових туфів для боротьби з техногенним забрудненням навколишнього середовища радіонуклідами та важкими металами має великий потенціал. Враховуючи масштаби забруднених територій, особливо у високоіндустріалізованих регіонах України, величезні площі потребують профілактичної обробки. Тому видобуток цеолітів є актуальним варіантом. За приблизними оцінками [14, 15], запаси туфу в базальтових кар'єрах Рівненської області становлять приблизно 20 мільйонів тонн. Розташовані на глибині 10 метрів і більше, їх видобуток здійснюється переважно відкритим способом. Враховуючи розчинність певних видів туфу, можливим є також видобуток шахтним способом [16-18].

Мінералогічні дослідження цеолітно-сметитових вулканічних туфів Рівненської області показали, що їхніми основними складовими є цеоліти, сметити, дисперсні залізовмісні мінерали та алюмосилікати [19, 20]. Більшість із них мають пластинчасту кристалічну структуру, що надає частинкам високу питому поверхню та значну пористість. В результаті ці мінерали активно взаємодіють з водою та ефективно використовуються для її очищення. При контакті з водою сметитові туфи, кристалічна решітка яких набухає, збільшуються в об'ємі до 20 разів. У зневодненому стані їх об'єм різко зменшується, тоді як у вологому стані їх пластичність зростає, що дозволяє проводити гідроекстракцію [19, 20]. Лавокластичні брекчії, розташовані біля основи базальтових шарів, є важливим компонентом у формуванні волинських базальтових пасток. Геологи Рівненської експедиції виявили перспективні родовища самородної міді в різних пропорціях серед лавокластичних брекчій Рафалівського

гірничодобувного комплексу. Варто зазначити, що, окрім базальтового фундаменту, осадові та пірокластичні породи відіграють значну роль у складі гірської маси, займаючи приблизно 50% її стратиграфічного об'єму. Разом ці формації утворюють (знизу вгору) чотири формації: Горбашівську (гравійно-піщану з пірокластичними добавками), Заболотську базальтову з туфовими прошарками, Бабинську туфову та Ратненську базальтову з прошарками уламкової лавової брекчії, туфовими горизонтами, туфітами та туфовими конгломератами [11]. Мідьвмісні лавові брекчії виходять на поверхню в кількох базальтових кар'єрах. Ці брекчії виявлені в туфах Бабинської формації, біля основи першого базальтового потоку (знизу) Ратнянської формації, у вигляді горизонту товщиною від 1,0 до 0,7 м. Вміст міді в цих брекчіях варіюється від 0,04% до 5,0% [13]. Невелика глибина залягання продуктивних пластів в кар'єрах та метод буріння пропонують великі перспективи для відкриття значних родовищ самородної міді та дорогоцінних металів.

Вивчення характеристик родовищ самородної міді Жиричів та Рафалівського встановило, що мідна міднеруденство демонструє кілька морфотипів, пов'язаних з різними місцевими умовами. У роботах [12, 13] запропоновано класифікацію самородної міді на Волині та вказано її основні місця розташування в межах мінералізованих тіл. Так, самородна мідь, імпрегнована дисперсно та шарувато, розташована переважно в слабозмінених, флюїдно шарувато-фанеритових базальтах у нижній частині потужних потоків. Її концентрація рідко перевищує 0,3% у базальтах, тоді як у базальтових туфах бабинської свити концентрації міді, що досягають 1,0%, зафіксовані в мінералізованому інтервалі від 1,5 до 2,0 м. Самородна мідь, імпрегнована прожилковим способом, широко поширена в тріщинах та жилах гідротермального зруденіння базальтів та туфів. Її концентрація надзвичайно неоднорідна та зростає там, де прожилкове зруденіння перекриває дифузно імпрегновані мідні горизонти.

Високий вміст міді спостерігається у відносно тонких горизонтах лавакластичних брекчій біля основи нижнього базальтового потоку Ратнянської формації. Цей вміст коливається від 0,04% до 5,0%. Подальші дослідження показали, що невеликі включення самородної міді складають основну частину мінералізованих

тіл у вапняних базальтах, туфах та туфовмісних брекчіях мигдалеподібної текстури в межах кварцових прожилок вулканічних порід родовищ Жиричі та Рафалівка.

Дослідження встановили, що в афонітових базальтах з самородною мідножильною мінералізацією концентрація міді становить менше 0,43%. У базальтових лавових брекчіях вміст міді коливається від 4,0 до 0,174%, тоді як у базальтових туфах з дисперсною та жильноподібною самородною мінералізацією він становить приблизно 0,7% [1, 21]. Однак існує неоднорідність вмісту міді між цими трьома типами порід. З огляду на різноманітність морфотипів самородної мідної міді, необхідно вивчати їх окремо, щоб визначити відповідні методи обробки та видобутку. Попередні дослідження [1, 21] показали, що кожен тип мінералізації вимагає специфічного підходу. У випадку грубозернистої (понад 3-5 мм) імпрегнованої міді рекомендується дроблення та, особливо, подрібнення, зберігаючи при цьому цілісність самородків. У цьому випадку можливий неповний цикл збагачення, що виключає технологічно складні операції, такі як седиментація та флотація, які можна замінити тонким сортуванням та електричним розділенням. Дрібнодисперсна мінералізація вимагає тонкого дроблення породи-вміщувача з подальшим флотаційним збагаченням, або комбінації тонкого дроблення, або навіть дроблення з подальшим тонким сортуванням (менше 50 мікрон) для відділення тонко подрібненої породи-вміщувача від дрібних самородків міді. Вкрай важливо уникати будь-якого подальшого дроблення тонкодисперсної міді [22-24].

Технологія обробки туфу хвостів є простою. У цьому випадку шари туфу розташовані або під розкривними породами, або в межах підстилаючих порід і, як правило, не змішуються з базальтом, а транспортуються до хвостосховищ. Під час кар'єрних робіт ці відвали містять цінні запаси туфу, який протягом років зберігання піддавався впливу вологості та температури, що робить його більш стійким і усуває необхідність багатоступеневого дроблення. Доступність цієї сировини, легкість її обробки та багатий склад роблять переробку туфу відвалів найбільш придатним методом.

Значний досвід, накопичений у відкритих гірничих роботах [25-27], дозволяє нам використовувати найефективніші технічні рішення для видобутку та використання

необхідного обладнання. Процеси підготовки руд з різною мінералізацією та складом вимагають індивідуального підходу, і питання промислового видобутку самородної міді з базальтового родовища в Україні розглядається вперше.

2. ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ

Наразі видобувається лише базальт (переважно для виробництва щебеню). Супутні туфи та лавові брекчії утворюють скупчення пустої породи, що являє собою техногенне родовище, багате на самородну мідь, залізо, титан та інші дорогоцінні метали. Згідно з дослідженнями [5, 28, 29], вміст міді в туфах коливається від 0,4% до 1,0%, що має промисловий інтерес. Крім того, вміст заліза в трьох компонентах родовища коливається від 17,0% до 30,0%, а вміст титану — від 1,0% до 4,0%. Вміст рідкісних та дорогоцінних металів потребує подальшого дослідження для кожного родовища. Результати спектрального аналізу порід з базальтового кар'єру Рафалівка у Рівненській області представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати спектрального аналізу складу елементів в базальтах

№ п/п	Елементний склад порід	Концентрація елементів, %		
		Базальт Рафалівського кар'єра	Лавобрекція Рафалівського кар'єра	Туф Рафалівського кар'єра
1	2	3	4	5
1	<i>Ba</i>	0,071	0,0513	0,313-0,513
2	<i>P</i>	0,12-0,22	0,15333	0,533-0,733
3	<i>Cz</i>	0,012-0,072	0,00733	0,03333
4	<i>Pb</i>	0,0072	0,00533	0,000544
5	<i>Sn</i>	0,0001522	0,000133	0,0015444
6	<i>Ca</i>	0,001222	0,00133	0,024444
7	<i>Ni</i>	0,0052	0,00533	0,015444
8	<i>Zn</i>	0,00522	0,0233	0,01444
9	<i>Zr</i>	0,012	0,0053-0,0133	0,0154-0,024
10	<i>Co</i>	0,007222	0,00533	0,00744
11	<i>Ti</i>	0,52-0,72	0,733	≥1,04
12	<i>Cu</i>	0,12>1,02	>>1,0, 1-5	0,3444-0,444
13	<i>V</i>	0,012-0,032	0,333	0,015-0,03444
14	<i>Ce</i>	0,00012222	0,00013	0,0002444
15	<i>Mo</i>	0,00007222	-	0,000544
16	<i>Li</i>	0,0001333	-	0,0001
17	<i>La</i>	0,0002333	0,0002	0,002
18	<i>Sr</i>	0,01333	0,0007	0,007
19	<i>Mn</i>	0,072-0,122	0,11111	0,0511-0,11111
20	<i>Fe</i>	14,0222-18,02	4,011-10,022	18,01111
21	<i>Al</i>	10,022	3,011-10,022	10,0111
22	<i>Ag</i> - 6, г/т	5-8	30-50	10-12

У кожній з гірських порід (базальт, туф, лавова брекчія) самородна мідь демонструє різний ступінь включення. Розрізняють дисперсні, шаруваті, жильні та черепичасті мінерали, а також особливий тип: самородки. Вони відрізняються від попередніх типів розміром і вагою, досягаючи від 735 до 1000 г із середньою чистотою міді 99,96%. Мідь також присутня у вторинних мінералах: куприті, малахіті, азуриті, халькопіриті та сфалериті, які можна видобувати лише хімічним шляхом. Отже, підготовка та збагачення руди вимагають значного промислового розвитку для створення технології видобутку міді, заліза та інших споріднених металів з базальту. З решти силікатної фракції цілком можливо виробляти базальтову вату, яка зараз широко використовується в будівництві та машинобудуванні [12] як нагрівальний матеріал. Згідно з даними з бібліографічних джерел [30], базальти мають численні застосування та класифікуються за різними характеристиками:

- за мінеральним складом: апатит, графіт, діаллаген, магнетит тощо;
- за мінеральним складом: базальти складаються з авгіту, кальцієвого плагіоклазу та вулканічного скла. Вони також можуть містити, у менших кількостях, псевдоромбічні піроксени, олівін (олівінові базальти), магнетит та ільменіт. Присутність скла в базальтах не є систематичною; вони можуть бути повністю кристалічними; ці аналоги базальтів тоді називаються долеритами;
- за хімічним складом: залізисті, вапняні, лужно-вапняні тощо.

У літературі також пропонується класифікація базальтів на три групи на основі реакцій з кремнеземом [31]:

1. Кварц: нормативний, що містить надлишок кремнезему;
2. Нефелін: нормативний, що демонструє дефіцит кремнезему;
3. Гіперстен: нормативний за відсутності нормативного кварцу або нефеліну.

Завдяки своїм властивостям, базальтові волокна та матеріали, отримані з них, сьогодні все частіше використовуються. Базальтові волокна використовуються:

- для тепло- та звукоізоляції, а також вогнезахисту, в житлових та промислових будівлях і спорудах, лазнях, саунах, житлових приміщеннях тощо;
- для теплоізоляції електростанцій та трубопроводів великого діаметра;
- для теплоізоляції газових та електричних плит, духовок тощо;

- у тришарових сендвіч-панелях для будівництва;
- для утеплення будівель під час реконструкції, як з внутрішнім, так і зовнішнім монтажем;
- для утеплення плоских дахів;
- у промислових холодильниках та холодильних камерах, а також у побутових холодильниках;
- для ізоляції кисневих колон;
- для ізоляції низькотемпературного обладнання, що використовується у виробництві та використанні азоту;
- в промисловій холодильній ізоляції [30-33].

Виробництво безперервних виробів з базальтового волокна за один етап є однією з головних переваг цієї технології. Крім того, матеріали та вироби з базальтового волокна перевершують вироби зі скловолокна за багатьма фізико-хімічними параметрами.

З безперервних базальтових волокон можна виготовити такі матеріали:

Базальтові комплексні сітки.

Базальтові пасма для виготовлення базальтових профілів від $\varnothing$ 4 до 60 мм.

Пасма для виготовлення профілів різної конфігурації.

Базальтопластикові фітинги.

Труби та контейнери (шляхом намотування).

Армувальні пасма для виробництва скловолокна.

Підкладки для виготовлення гнучкої покрівлі.

Покрівельні та облицювальні матеріали.

Геотекстиль (сітка, тканина) для армування доріг, насипів та земляних дамб.

Голкопробивні матеріали для тепло- та звукоізоляції.

Ці матеріали можна використовувати в різних галузях народного господарства:

Хімічна промисловість.

Промислове та цивільне будівництво.

Будівництво доріг, зміцнення насипів та схилів.

Виробництво скловолокна різного призначення.

Енергетика.

Автомобільна промисловість.

Суднобудування та інші галузі промисловості.

Особливий інтерес, згідно з аналітичними даними, представляють волинські туфи, що виробляються в результаті переробки базальту та зберігаються у відвалах. Розташовані на південно-західному краю зазначеної області поширення, вони виходять на поверхню та є кар'єрами. На значній площі вони перетворені гідрохімічними процесами на цеолітно-сметитові туфи, що широко використовуються в промисловості. У Рівненській області туфи залягають під мезозойськими та кайнозойськими відкладами на глибині від 4 до 60 метрів та простягаються смугами по адміністративних районах Володимирецького, Сарненського, Костопільського, Рівненського та Гощанського. Ці туфи виходять на поверхню лише в базальтових кар'єрах Полиця (Іванча), Берестовець, Базалтове та, на краю Рівненської області, за 5 км на північний схід від міста Славут, у Хмельницькій області, у кар'єрі [8, 33].

Туфи розташовані горизонтально або на пологому схилі (від 1 до 5 градусів) шарами, їхня товщина коливається від кількох метрів до 140 метрів. Пов'язані з базальтовими потоками, вони утворюють нижньовендську трапову формацію (Волинська вулканічна серія). Згідно з існуючою стратиграфічною схемою, у розрізі (зверху вниз) виділяються чотири свити. Найтовстіші шари туфів належать до бабинської формації, найбільш поширеної в межах волинської серії на величезній території Рівненської області [5].

Встановлено, що туфи Рівненської області виникли внаслідок виверження вулканічної базальтової магми, яке сталося приблизно 600 мільйонів років тому. Вони складаються з вулканічного попелу та піску, зцементованих, а потім перекристалізованих під впливом гарячих ґрунтових вод. У деяких місцях туфи таким чином повністю перетворилися на цеолітно-сметитові породи, які містять значну кількість корисних компонентів (MgO – до 16%, N_2O – до 7,5%, K_2O – до 7,5%) та мікроелементів (залізо, мідь, титан, кобальт тощо) [16-28].

Запаси туфу, сировини, що знаходиться в базальтових кар'єрах Рівненської області, загальною площею 86 гектарів та сягають глибини 10 м, оцінюються приблизно в 20 мільйонів тонн. Характер ґрунту дозволяє вести відкритий видобуток корисних копалин, переважно з дна відпрацьованих базальтових кар'єрів, без необхідності зворотної засипки. Важливо зазначити, що під час видобутку базальту туфи не використовуються як сировина, а зберігаються у відвалах. Таким чином, за десятиліття розробки кар'єрів у цих відвалах накопичилася достатня кількість туфу, що дозволяє їх промислову переробку. Одночасно, наявність під'їзних шляхів та гірничодобувної інфраструктури в існуючих базальтових кар'єрах значно знижує витрати на видобуток та переробку туфів, що, враховуючи їх численні потенційні застосування, може виявитися економічно вигідним та технічно доцільним. Тому цеолітно-сметитові туфи з цих родовищ заслуговують на особливу увагу та вивчення з метою розробки технології, яка дозволяє їх комплексну промислову переробку та широкомасштабне використання їхніх компонентів. Сприятливі умови для формування туфів дозволяють вважати їх новою, універсальною мінеральною сировиною. Однак, незважаючи на можливість відкритого видобутку, ця сировина наразі майже повністю не розробляється та залишається на дні виснажених базальтових кар'єрів. Як корисна копалина, вулканічні туфи Рівненської області недостатньо вивчені організаціями, що спеціалізуються на геологорозвідці. Однак, технологічні експерименти та численні дослідження агрохімічних, біоактивних, екологічних та адсорбційних властивостей туфів продемонстрували їхній потенціал для використання в багатьох секторах економіки, включаючи тваринництво, птахівництво, овочівництво, медицину та виробництво адсорбентів для різних видів отруєнь [9, 10].

Основні сфери використання туфів такі: 1) Сільське господарство: мінеральні добрива, консервація насіння, добавка до кормів для тварин та птиці, стабілізатор поживних речовин для рослин. 2) Захист навколишнього середовища: дезактивація ґрунтів, забруднених радіоактивністю, захоронення токсичних речовин, очищення стічних вод. 3) Будівництво: виробництво будівельних матеріалів (цегли, черепиці,

керамічної плитки), цементу та керамзиту, пігментів для фарб та бетону. 4) В'язкі речовини: дроблення руди, дроблення добрив.

Збільшення врожайності сільськогосподарських культур завдяки використанню цеолітових туфів було продемонстровано дослідженнями, проведеними Національним університетом водного господарства та природокористування, Інститутом харчування тварин Академії наук України (Вінниця) та Національним науково-дослідним та контрольним інститутом ветеринарної медицини та кормових добавок (Львів). Ці установи розробили технічний патент ТУУ 46.15.ГО-026-2001 на використання туфів з кар'єрів у Рівненській області. Інститут епізоотології Академії наук України, зі свого боку, розробив технічний патент на виробництво туфового борошна з родовища "ПОЛІЦІ-2", призначеного для ветеринарного використання [11-32]. Кілька дослідників виявили, що 1,2 мільйона гектарів у Рівненській області забруднені радіонуклідами після аварії на Чорнобильській АЕС, включаючи 290 000 гектарів сільськогосподарських угідь. Крім того, рівень забруднення значно перевищує допустимі норми. За даними Державного департаменту екології та природних ресурсів, у Рівненській області неадекватні системи очищення промислових стічних вод, газів та інших промислових відходів призводять до утворення техногенних аномалій стронцію, свинцю, миш'яку, нітратів, нітритів та шкідливих органічних сполук, як правило, у безпосередній близькості від житлових будинків та тваринницьких ферм. Їх концентрації у 3–10 разів перевищують допустимі рівні. Радіонукліди та забруднюючі речовини мігрують повітрям та водою, створюючи нові техногенні аномалії в районах, віддалених від джерел забруднення [13, 14].

Наявність цеолітно-сметитових туфів у Рівненській області може радикально змінити екологічну ситуацію та компенсувати дефіцит поживних речовин, оскільки ці туфи містять численні корисні мікро- та макроелементи та можуть нейтралізувати шкідливі органічні сполуки, покращуючи таким чином регіональну екосистему [15]. Геохімічне дослідження західної України, включаючи Рівненську область, виявило дефіцит біогенних мікроелементів, таких як цинк, йод, мідь, кобальт, марганець, залізо та селен, у ґрунтах та воді. Цей дефіцит призводить до нестачі цих елементів у

рослинах, що сприяє дефіциту у людей і тварин. Цей дефіцит викликає особливе занепокоєння через брак гемопоетичних мікроелементів, необхідних для синтезу гемоглобіну. Цеолітно-сметитові туфи цього регіону містять усі вищезгадані елементи в достатній кількості, що відкриває шлях для ширшого використання цих матеріалів. Протягом останніх десяти років Рівненська обласна адміністрація впроваджує програму використання туфів для покращення навколишнього середовища, відновлення земель та тваринництва. У рамках цієї програми команда вчених розробила метод обробки відходів з використанням туфів. Метою було збільшити акумуляційну здатність шару ізоляційного покриття для відходів, одночасно забезпечуючи безпечне видалення вологи з відвалів шляхом очищення інфільтрату, що містить шкідливі речовини, шаром туфу. Одночасно відбувається дезодорація навколишнього середовища. Цей метод був випробуваний і пропонується для широкомасштабного впровадження. [16, 17].

Зростання міського населення та промисловий розвиток призводять до збільшення кількості побутових та промислових відходів, які, якщо їх не лікувати своєчасно, погіршують екологічну ситуацію, забруднюючи повітря, ґрунт, водні шляхи (малі, середні та великі) та ґрунтові води, а також збільшуючи площу земель, які зараз непридатні для використання без рекультивації. Кількість сміттєзвалищ, які є джерелом небезпеки для всіх живих істот і вже переповнені, продовжує зростати. Ці перевантажені сміттєзвалища є розсадниками інфекцій. У ґрунтових водах та відкладеннях поблизу цих сміттєзвалищ концентрація свинцю перевищує норму в 4-36 разів, цинку - в 2-14 разів, міді - в 2-8 разів, ртуті - в 950 разів та вісмуту - в 180 разів. Крім того, парникові гази (CH_4 , CO_2) сприяють атмосферному горінню та можуть спричиняти самозаймання в спекотну погоду. Метан, навпаки, отруєє та знищує рослинність. Викиди метану зі сміттєзвалищ твердих побутових відходів становлять від 5 до 20% світових викидів і досягають занепокоєння. Тому необхідно проектувати сміттєзвалища як інтегровані інженерні та екологічні споруди в рамках природно-технологічного комплексу. Метод проектування базується на ідеї збільшення поглинальної здатності ізоляційного шару, що покриває сміттєзвалище, та місцевих забруднювачів, одночасно забезпечуючи захист ґрунту, видалення вологи

з твердих відходів шляхом обробки інфільтратів, що містять шкідливі речовини, та дезодорацію навколишньої атмосфери. Рішення полягає в зберіганні відходів на сміттєзвалищі послідовними шарами ізоляційних матеріалів та створенні поглинаючих траншей з цими ж матеріалами. Для цього цеолітовий туф з великою ефективністю використовується як потужний природний сорбент та побічний продукт видобутку базальту [28-30]. Важливою властивістю туфу є його висока селективність адсорбції, що дозволяє йому розділяти іони та молекули різних речовин відповідно до їх розміру, а також його висока механічна та хімічна стійкість. Його значна пористість, порівняно з кварцовим піском, збільшує концентрацію шкідливих речовин, надаючи йому вищу селективність іонного обміну для певних хімічних елементів, рівні яких суворо регламентуються. Це особливо важливо для селективності щодо радіоактивних елементів та сорбційної здатності важких металів, фенолу та аміачного азоту, що присутні у відходах. Цеолітовий туф очищає воду на 30-40% ефективніше, видаляючи мікроорганізми та колоїдні частинки мінерального та органічного походження. Туфи мають властивість адсорбувати аміак з повітря і тому рекомендуються для дезодорації місць зберігання відходів або виробничих зон. Встановлено, що один кілограм цеолітового туфу може адсорбувати до 100 г аміаку. [22].

Таким чином, іонообмінні властивості туфу використовуються в таких випадках:

1. Видалення аміаку (NH_4^+) з комунальних та промислових стічних вод. Кліноптилолітовий туф використовується для видалення амонію, цезію та фосфору зі стічних вод.

2. Видалення важких металів з промислових стічних вод, включаючи свинець, хром та кадмій. Очищення кислих шахтних вод ($2 < \text{pH} < 3$) від таких металів: алюміній (Al), кальцій (Ca), кадмій (Cd), кобальт (Co), кремній (Si), залізо (Fe), калій (K), магній (Mg), марганець (Mn), натрій (Na), нікель (Ni), свинець (Pb) та цинк (Zn).

3. Видалення радіонуклідів зі стічних вод атомних електростанцій, де туф використовується як катіонообмінник для захоплення ізотопів цезію та стронцію. Наприклад, морденіт, різновид туфу, захоплює до 98% цезію-147 (Cs^{147}).

4. Розділення та уловлювання газів. Наприклад, для отримання SO_2 , кліноптилолітовий туф активують розчином хлоридної кислоти та використовують для уловлювання SO_2 з газів, що викидаються сірчаноокислотними установками під час спалювання сульфідів.

5. Використання цеоліту як каталізатора, зокрема в нафтохімічній промисловості. У цьому випадку каталітичні центри можуть бути створені в цеоліті без активації інших компонентів. Кліноптилолітовий туф – єдиний цеоліт, на якому кислотні центри не утворюються під час гідратації ацетилену; ці центри небажані для каталітичних перетворень. Цей туф дозволяє досягати високих швидкостей вилучення бензолу. Поглинальна здатність туфів з Рафалівського родовища в Рівненській області порівнюється з іншими родовищами (Таблиця 3). [22].

Таблиця 3 – Поглинаюча здатність туфів

Родовище	Катіоно-обмінна властивість, мг-екв./100 г	Na^+ г/кг	H^+ г/кг	NH_4^+ г/кг	Pb^+ г/кг	Cs^{137} %	Pb^{2+} г/кг	Hg_2^{2+} г/кг	Zn^{2+} г/кг	Sr^{90} %	Cu^{2+} г/кг	Co^{2+} г/кг	Mn^{2+} г/кг
Поганське (Кемеровська обл., Росія)	45	52	83	32	117	95	150	410	56	92,5	53	47	47
Тендзамське (Грузія)	109	52	75	44	119	95	175	340	57	94	58	63	61
Полиці (Рівненська обл., Україна)	118	53	79	45	162	99,51	179	440	62	97	65	61	75

6. Використання цеолітового туфу для зберігання твердих побутових відходів для виробництва біогазу в абсорбційних траншеях. Цей метод дозволяє накопичувати біогаз у траншеях та використовувати його як альтернативне паливо [23].

Мінеральний склад туфів Рівненської області був детально вивчений та опублікований кількома авторами [16-23]. Мінералогічний аналіз встановив, що туфи з Полицького кар'єру містять приблизно 43% цеолітів та від 16% до 32%

дрібнодисперсних залізовмісних матеріалів. Структурний та термічний аналіз методом рентгеноструктурного аналізу встановив, що ці туфи містять 65% смектитів та до 28% анальциму. У Берестовецькому кар'єрі, розташованому в тому ж регіоні, було виявлено в середньому 65% смектитів. Представлені результати кількісних аналізів показали, що з точки зору петрогенного мінерального складу вулканічні туфи Рівненської області змінені та складаються з цеоліт-смектитових порід, які зазнали значних вторинних перетворень та гідротермальної мінералізації.

Проведені дослідження дозволяють цілеспрямовано та ефективно використовувати туфи. Особливо цікаві дані щодо середнього мікроелементного складу туфів [24, 25] з трьох родовищ. У таблиці 4 представлено середній вміст мікроелементів у туфах з трьох кар'єрів у Рівненській області, їх відповідність значенням Кларка та гранично допустимі концентрації (ГДК) у ґрунтах.

Вивчення результатів цих аналізів мікроелементного складу показало, що туфи не можна вважати відходами видобутку базальту, а радше цінною мінеральною сировиною, яка потребує валоризації та комплексного підходу до її переробки для видобутку корисних металів та силікатів.

Таблиця 4 – Середній склад мікроелементів в туфах по кар'єрах, 10⁴ %

Елементи	<i>P</i>	<i>Pb</i>	<i>Ba</i>	<i>Mo</i>	<i>Sn</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Zr</i>	<i>Co</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Рафалівський кар'єр														
Середнє значення	670	5	350	0,81	5	103	46	35	141	31	47	116	1240	5480
Кларки	1500	6	330	1,51	6	87	115	130	111	48	170	250	1200	8000
ГДК	-	30	-	-	-	100	110	100	-	-	110	150	1510	-
Берестовецький кар'єр														
Середнє значення	600	6	8000	1,01	2	300	40	25	200	25	30	400	610	6000
Кларки	1500	6	330	1,51	6	87	81	131	ПО	48	170	250	1200	8000
ГДК	-	30	-	-	-	100	110	100	-	-	100	150	1500	-
Ташковський кар'єр														
Елементи	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Re</i>	<i>Sr</i>	<i>Y</i>	<i>Pb</i>	<i>Th</i>	<i>Ba</i>	<i>Ge</i>	<i>As</i>	-	-

Середнє значення	150	19	71	104	32	168	23	118	3	320	2	0,1	-	-
Кларки	170	130	81	115	60	470	21	6	4	330	1,5	2	-	-
ГДК	100	100	100	110	-	-	-	30	-	-	-	2	-	-

Таблиця 5 – Вміст елементів в зразках туфа на різних кар'єрах.

Концентрація, %

Назва елементів	Рафалівський кар'єр	Берестовецький кар'єр	Кар'єр Іванова Долина
1	2	3	4
Алюміній	0,0311	10,211	3,011
Кремній	30-31	57,211	42,011
Фосфор	0,111	0	0,1511
Сірка	1,211	0,311	0
Калій	1,311	2,422	4,822
Кальцій	6,42-12,122	15	37,522
Титан	2,82-4,02	1,322	0,5222
Хром	0,222	0,0522	0,122
Марганець	0,0702	0,122	0,0722
Залізо	48-50	12,822	7,02
Нікель	0,222	0,1222	0,012
Мідь	0,42-0,72	0,1722	0,62-1,02
Цинк	0,05222	1,22222	0,0722
Стронцій	0,027-0,122	0,07222	0,072

Берестовецький кар'єр містить два типи гірських порід, що відрізняються за складом. Під базальтовим шаром знаходяться аргілітові алевриті туфи товщиною від 1 до 5 м. Глибше залягають більш зернисті псаммітові та псефітові туфи. Алевриті туфи містять в середньому 65% смектитів та гідроксидів заліза, а також мають високу концентрацію барію, ванадію, міді та цирконію (див. таблиці 4 та 5).

Туфи Ташковського родовища нещодавно стали предметом більш поглиблених геологічних та промислових досліджень. Їхні родовища, відомі як сапонітові глини, були досліджені та підготовлені до експериментальної та промислової розробки. Вони містять високий вміст сапоніту (до 80%) і тому демонструють чудові сорбційні та

катионообмінні властивості. Ці туфи характеризуються високим вмістом магнезію (MgO – до 11,6%) та мікроелементів, включаючи мідь, хром та цинк. Відсутність екологічно небезпечних елементів, таких як миш'як, ртуть та селен, є суттєвим фактором (див. таблиці 4 та 5).

Лавова брекчія утворюється у вигляді шару різної товщини (від 0,5 до 2,0 м), який перетинає базальтовий шар біля основи виступу. Однак її селективне видобуття є складним через низьку міцність (σ = від 80 до 100 кг/мм^2) порівняно з базальтом (σ = 230 кг/мм^2). Під час ерозії виступу лавова брекчія знову подрібнюється, що дозволяє відокремити її від подрібненого базальту шляхом просіювання. Рекомендується селективне сортування лавової брекчії, оскільки вона має найвищий вміст самородної міді (до 5,0%). Крім того, порівняно з базальтом, вона містить значно більше включень. Ці включення мають переважно дендритну форму, і їх видобуток вимагає специфічного технологічного процесу. Незважаючи на багатий мінеральний склад (вміст срібла вражає), лавова брекчія вважається відходом під час видобутку базальту, а її потенційне використання залишається невивченим. Однак вона має практичний інтерес як сировина для складної переробки лавової брекчії.

3. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ, ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ, ВМІСТУ ЦІННИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ РОЗПОДІЛУ В ПОРОДАХ БАЗАЛЬТОВОГО МАСИВУ

Зростаючий інтерес до самородної міді, виявленої в базальтах Волині, призвів до поглиблених досліджень її генезису, обсягу запасів, морфології самородних утворень та їх можливого походження в лавових брекчіях, туфобрекчіях та кварцових жилах. Тривалі геологічні дослідження визначили найперспективніші ділянки для виявлення самородної міді. Геологи з Рівненської експедиції вже виявили такі ділянки, як Рафалівське родовище, що характеризується високою концентрацією самородної міді, та виходами мідьвмісних лавових брекчій на поверхню в Іванківському та Полицькому кар'єрах [1, 9, 12, 13, 26]. Аналіз показав чистоту міді в самородках від 99,7 до 99,8%. Її вміст у лавових брекчіях та туфобрекчіях встановлено на рівні від 0,4% до 4,0%.

Для оптимізації експлуатації видобутої породи виникла необхідність вивчення елементного складу всіх порід у розроблюваному родовищі. Метою цього дослідження є визначення складу базальтового масиву в межах його стратиграфічного розрізу та навколишніх порід. Результати спектрального аналізу елементного складу основних покривних порід (середнє значення з 10 зразків) представлені в таблиці 6. Спектральний аналіз було проведено на зразках гірських порід методом «розтікання» за допомогою приладу СТ-1 (префікс УСИ-10) у науково-дослідній лабораторії регіонального об'єднання «Укрпівденгеологія». [16].

Таблиця 6 – Результати аналізу вмісту порід вскриши Рафалівського базальтового кар'єру

№ п/п	Елементний склад порід	Концентрація елементів, %			
		Пісок	Крейда	Сірий туф	Червоний туф
1	2	3	4	5	6
1	Al_2O_3	0	5,011	6,711	9,0311
2	SiO_2	36,6622	0,2722	43,1211	43,8861
3	SO_3	3,0822	1,8682	2,0111	1,7751

4	K_2O	0,651	0,931	4,831	3,491
5	CaO	58,52	96,1242	3,4422	3,0422
6	TiO_2	0,2122	0	3,6422	4,38822
7	MnO	0,163	8,723	0	0
8	Fe_2O_3	0,573	0,53	36,03	34,253
9	Pb_2O	0	1,63	4,663	2,5833
10	SrO	8,963	0,1493	4,53	4,0533
11	Y_2O_3	0	8,533	1,06	2,3133
12	ZrO_2	1,8333	0	0,11633	5,2153
13	Nb_2O_5	0	0	1,3633	4,6183

Важливо зазначити, що досліджувані породи відрізняються своїм якісним складом. Враховуючи неоднорідність їхнього мінерального складу, ймовірно, що технологічні властивості породи зростають під час її збагачення або послідовного концентрування корисних компонентів, на всіх етапах дезінтеграції та виробництва рудного концентрату. Шарувата структура вибою кар'єру вимагає вибіркового підходу до вибору гірської маси під час підготовки руди. Наприклад, відділення лавової брекчії від базальту збільшує вилучення самородної міді після дроблення базальту, не погіршуючи якість базальтової маси, що використовується в будівництві та хімічному виробництві. Таким чином, під час підготовки руди необхідно проводити ретельні технологічні випробування гірської маси для планування та розробки наступних операцій у розрізі відповідно до технологічних підходів. Тому було досліджено елементний склад стратиграфічних компонентів вибою кар'єру. У таблиці 7 представлено результати аналізів складу червоного туфу, а в таблиці 8 - складу базальтів та лавової брекчії. [16, 17].

Таблиця 7 – Результати аналізу складу червоного туфа різних кар'єрів Волині

Елемент- ний склад порід	Концентрація елементів, %			
	Рафалівський кар'єр	Берестовець кий кар'єр	Кар'єр с. Янова Долина	Кар'єр біля русла ріки Цвітоха (Славута)
<i>Ba</i>	0,31-0,51	0,0711	>1,01	0,052
<i>P</i>	0,51-0,71	0,0711	0,152	0,052
<i>Cr</i>	0,0311	0,007	0,032	0,022

<i>Pb</i>	0,00052	0,00032	0,000152	0,000012
<i>Sn</i>	0,00152	0,000152	0,000152	0,00012
<i>Ca</i>	0,00152	0,0012	0,00012	0,00012
<i>Ni</i>	0,0152-0,022	0,0032	0,00052	0,0142
<i>Zn</i>	0,013	0,0133	0,00073	0,00073
<i>Zr</i>	0,0153-0,023	0,0233	0,00053	0,0233
<i>Co</i>	0,0073	0,007	0,0063	0,00073
<i>Ti</i>	>1,03	>1,033	0,5333	0,73-1,03
<i>Cu</i>	0,0233-0,133	0,0533	>1,03	0,0533
<i>V</i>	0,015-0,0333	0,13333	0,033	0,033
<i>Ce</i>	0,0001-0,0002	0,000133	0,0001533	0,000173
<i>Mo</i>	0,00053	0,000073	0,000053	0,000153
<i>Li</i>	0,00013	0,00013	0,000013	0,000013
<i>La</i>	0,002333	0,000233	0,000233	0,000233
<i>Sr</i>	0,001-0,007	0,00074	0,0014	0,00074
<i>Mn</i>	0,054-0,14	0,144	0,0744	0,0744
<i>Fe</i>	7,044	15,044	7,044	1,044
<i>Al</i>	10,04	20,04	9,04	15,04
<i>Ag</i> – 6, г/т	10	10	30	2,0

Таблиця 8 – Результати аналізу складу елементів в базальтах

Елементний склад порід	Концентрація елементів, %		
	Базальт Рафалівського кар'єра	Лавобрекція Рафалівського кар'єра	Базальт кар'єра с. Янова Долина
<i>Ba</i>	0,071	0,052	0,052
<i>P</i>	0,11-0,21	0,152	0,122
<i>Cr</i>	0,011-0,071	0,0072	0,0032
<i>Pb</i>	0,0071	0,0052	0,000522
<i>Sn</i>	0,000151	0,00012	0,0002
<i>Ca</i>	0,001111	0,0012	0,00152
<i>Ni</i>	0,00511	0,0052	0,0072
<i>Zn</i>	0,0052	0,022	0,0152
<i>Zr</i>	0,0122	0,005-0,012	0,0152
<i>Co</i>	0,00722	0,00522	0,0032
<i>Ti</i>	0,52-0,72	0,722	>1,02
<i>Cu</i>	0,1>1,02	>>1,022	0,032
<i>V</i>	0,012-0,032	0,322	0,052
<i>Ce</i>	0,0001	0,0001	0,0002
<i>Mo</i>	0,00007	-	0,0005
<i>Li</i>	0,0001	-	-
<i>La</i>	0,00022	0,0002	0,0002
<i>Sr</i>	0,012	0,00072	0,00072
<i>Mn</i>	0,07-0,1	0,1222	0,1333
<i>Fe</i>	4,03	4,03-10,03	15,23
<i>Al</i>	10,03	3,03-10,03	3,0333
<i>Ag</i> -6, г/т	5-8	30-50	7,03-9,03

Попередні дослідження туфу (таблиця 9), проведені в Інституті геотехніки імені Н.С. Полякова Національної академії наук України у співпраці з Рівненським національним університетом водного господарства та природокористування, виявили високий вміст магніточутливих матеріалів (до 54 мас.%). Спектральний аналіз, тим часом, показав вміст заліза до 50 мас.% та титану до 4,9 мас.% [16, 18]. Результати цих досліджень, представлені в таблиці 10, чітко демонструють потенціал туфу як сировини для гірничодобувної та металургійної промисловості.

Таблиця 9 - Вміст елементів в зразках туфу на різних кар'єрах.

Концентрація в %

Назва елементів	Рафалівський кар'єр	Берестовецький кар'єр	Кар'єр Янова Долина
Алюміній	0,031	10,22	3,02
Кремній	30-32	57,22	42,02
Фосфор	0,111	0	0,153
Сірка	1,211	0,32	0
Калій	1,311	2,42	4,833
Кальцій	6,41-12,11	15	37,533
Титан	2,81-4,01	1,32	0,5333
Хром	0,2111	0,051	0,13
Марганець	0,07011	0,121	0,073
Залізо	48-50	12,81	7,03
Нікель	0,211	0,11	0,013
Мідь	0,41-0,71	0,171	0,6-1,0
Цинк	0,051	1,21	0,0733
Стронцій	0,071-0,111	0,071	0,0733

Таблиця 10 – Результати спектрального експрес-аналіза

Назва елементів	Вміст елементів в пробах туфа на Рафалівському кар'єрі по роках, %						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022
Алюміній	0	0,07	0,07	0,03	0,07	0,05	0,07
Кремній	30,916	32,1	31,6	32,0	32,5	32,0	33,0
Фосфор	0,111	0,15	0,15	0,15	0,07	0,11	0,15
Свинець	0,511	0,31	0,51	0,31	0,31	0,31	0,31
Калій	1,281	1,41	1,51	1,52	1,60	1,41	1,51
Кальцій	6,34	9,8	10,8	12,5	12,1	11,5	12,0
Титан	3,98	7,01	2,81	1,81	2,61	2,21	3,11
Хром	0,198	0,31	0,11	0,07	0,07	0,11	0,15
Марганець	0,81	0,05	0,07	0,15	0,15	0,21	0,12
Залізо	52,06	48,1	51,3	50,8	49,9	43,2	39,1
Нікель	0,217	0,07	0,05	0,09	0,05	0,06	0,04
Мідь	0,70	0,21	0,61	0,40	0,45	0,71	0,51
Цинк	0,055	0,05	0,07	0,09	0,007	0,006	0,07

Стронцій	0,106	0,06	0,07	0,07	0,007	0,007	0,07
Цирконій	0,28	0,21	0,15	0,11	0,15	0,21	0,21
Кобальт	0,02	0,01	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03

Важливим аспектом дослідження родовища є стабільність його елементного складу. Результати експрес-спектрального аналізу вказують на відносно стабільний вміст міді, заліза та титану в туфах, що виключає значні коливання методів обробки протягом тривалого періоду.

Більшість компонентів туфу є промислово придатними для використання, і відповідно до вимог комплексного використання сировини, метод обробки повинен бути розроблений таким чином, щоб забезпечити розділення туфу на достатню кількість мономінеральних концентратів. Навіть для основних компонентів (самородної міді, заліза та титану), які становлять промисловий інтерес, переробка туфів з породного відвалу є економічно ефективною, екологічно безпечною та соціально прийнятною, враховуючи перспективи розвитку регіону, де вони знаходяться.

Варто зазначити, що з найперших етапів дослідження складу туфів, під час розробки методів підготовки та збагачення руди, виділялися певні характеристики, такі як наявність включень самородної міді, які можна виявити навіть неозброєним оком у зразках, у вигляді точок або тонких плівок. Під час дроблення, подрібнення та просіювання ці плівки зменшуються до частинок розміром менше 50 мікрон, що ускладнює їх вилучення шляхом розділення. Залізо та інші металеві сполуки представлені більшими частинками, що відокремлюються від загальної маси за допомогою магнітної сепарації. Однак спостерігаються численні зрощення, що походять від силікатної складової туфу, що складається переважно з кремнію та кальцію, які відокремлюються під час багаторазового дроблення або термічно у вигляді шлаку під час плавки.

Таким чином, вивчення елементного складу порід у виходах базальту виявило різний ступінь мінералізації та мінерального складу. Особливий інтерес представляють включення високоякісної самородної міді. Присутність цієї міді промислових сортів разом з товстими шарами туфу є потенційним джерелом дорогоцінних металів та сполук. Багатофакторний склад базальтових родовищ

вимагає складної обробки. Було проведено серію експериментальних та теоретичних досліджень [15, 17-19] щодо впливу розміру зерен базальту на вміст самородної міді під час видобутку. Ці попередні дослідження, проте, вказують на значні відмінності на етапі підготовки руди між базальтом, лавовою брекчією та туфом.

Зв'язок між виходом міді та розміром зерен базальту [29, 30] був встановлений за допомогою регресій. Був визначений розподіл частинок туфу за розмірами після гідроерозії та механічного дроблення [27, 28], а магнітна сприйнятливість трьох компонентів базальту (базальт, туф та лавова брекчія) була виміряна під час підготовки руди. Ці результати демонструють розвиток технологій обробки базальту за допомогою складного процесу.

4. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ БАЗАЛЬТОВОЇ СИРОВИНИ

В останні роки дослідники кількох організацій провели масштабні дослідження та промислову розробку базальтових родовищ у Рівненсько-Волинській області, пов'язані з виявленням цінної сировини. Структура пасткових угідь базальтових родовищ, різноманітність форм зруденіння та мінеральний склад породи навіть на сучасному етапі вивчення підкреслюють необхідність комплексного підходу до розробки цих родовищ. Це стосується як технологій видобутку та переробки, так і використання готової продукції. Наприклад, багатошарова структура базальтового шару, який містить чистий базальт, туфи різноманітного мінерального складу, лавові брекчії, багаті на самородну мідь, та мінералізовані шари, що містять дорогоцінні метали в промислових кількостях, ставить під сумнів доцільність видобутку базальту виключно для виробництва заповнювачів та облицювальної плитки.

Унікальною особливістю досліджуваного родовища (Рафалівський базальтовий кар'єр) є те, що туф зберігається у відвалі не окремо, а разом з лавовою брекчією. Це пояснюється тим, що лавова брекчія проникає в базальтовий масив послідовними шарами, причому туф утворює підшар цього масиву. Під час вибухових робіт на схилі кар'єру туф і лавова брекчія змішуються. Під час завантаження засипки ці матеріали відділяються від базальту, утворюючи гірський масив з туфо-брекчії. Оскільки туф і лавова брекчія практично непридатні для продажу, їх разом транспортують на сміттєзвалище. Тривала експлуатація кар'єру призвела до створення штучного родовища вартістю кілька мільйонів доларів. Питання розділення цих двох порід під час переробки руди ще не вирішено. Тому розробка такої технології вимагає подальших досліджень, які враховують фізичні та механічні властивості цих двох безплідних порід, а також високий вміст у них корисних металів.

Таким чином, ця робота стосується не лише комплексної переробки базальтів, але й техногенних відходів їх видобутку, таких як туфи та лавові брекчії, джерела дорогоцінних металів, та залишкової силікатної фракції, яка має

промислове застосування. Крім того, наявність самородної міді в усіх трьох компонентах видобутої породи дозволяє використовувати менш складну технологію виробництва, ніж та, що використовується, наприклад, для видобутку сульфіду міді. У цьому випадку видобуток без реагентів є доцільним.

Ідея комплексного видобутку та переробки базальтової сировини неодноразово пропонувалась фахівцями різних організацій [21, 22]. Однак на сьогоднішній день конкретного досвіду в цій галузі не накопичено. Деяку рекламну інформацію можна знайти за кордоном, але вона не є детально описаною поелементно або за технологічними процесами.

Спектральний та хімічний аналіз зразків базальтового родовища, проведений співробітниками Інституту мінералогії та мінералогії Національної академії наук України та Рівненського національного університету водного господарства та природокористування, продемонстрував доцільність створення лабораторної виробничої лінії для підготовки руд з трьох видів сировини, необхідних для видобутку самородної міді, титаномagnetиту та цінної силікатної фракції. Ця лінія була розроблена та випробувана в Інституті мінералогії та мінералогії Національної академії наук України [23]. Вона також дозволяє роздільно, безвідходно переробляти три компоненти родовища (базальт, туф та лавову брекчію). Таким чином, стає можливою оптимальна експлуатація родовища, підвищення рентабельності та покращення захисту навколишнього середовища, тоді як наразі базальт вибірково видобувається для виробництва щебеню, а туф та лавову брекчію зберігають на звалищах. Позитивний досвід, отриманий у лабораторії з переробки базальтової сировини, дозволив нам сформулювати пропозицію щодо будівництва дослідницько-виробничого майданчика безпосередньо на місці видобутку [23]. Цей об'єкт має на меті розробити повноцінну безвідходну технологію переробки базальтової сировини та отримати готову продукцію для продажу з метою покриття витрат на створення об'єкта. На основі технології, розробленої в невеликих масштабах на об'єкті, можливо провести техніко-економічне обґрунтування будівництва великомасштабного підприємства.

Для розробки комплексної технології переробки базальтової лавової брекчії та туфу, а також для подальшого вивчення їх складу, з трьох розглянутих базальтових кар'єрів було обрано Рафалівський кар'єр. Він має значні запаси корисних компонентів, багатих на мідь, залізо та титан, а також відносно розвинену інфраструктуру для видобутку та переробки сировини. Крім того, за багато років видобутку базальту накопичилися мільйони техногенних туфів та лавових брекчій, які можна інтегрувати в процес розробки. Таким чином, запропонована технологія передбачає поступове створення компанії з повноцінною технологією переробки базальтової сировини з нульовим виробництвом, з метою отримання самородної міді, титаномagnetиту та продуктів з решти силікатної фракції (наприклад, базальтової вати для тепло- та звукоізоляції, туфу для сільського господарства, зокрема тваринництва, та очищення води).

Тому, з розвитком виробництва, доцільно розглянути видобуток дорогоцінних та рідкісних металів, таких як срібло, концентрація якого в базальтовій породі становить промисловий інтерес [29, 20].

Таким чином, повна переробка та удосконалення базальтової сировини є технічно здійсненою. Процес вимагає передпромислових випробувань, валідації, аналізу його характеристик, вибору обладнання та розробки рекомендацій щодо його промислового освоєння.

5. ВИДОБУВНІ РОБОТИ

Спосіб проведення видобувних робіт

Залежно від мети видобутку сировини, для виробництва того чи іншого виду готової продукції в кар'єрах реалізуються різні методи роботи.

При безпосередньому використанні родовища корисних копалин для виробництва бутового каменю і щебеню, а також як сировини для петрології базальт видобувається після попереднього розкладання буропідривноїми роботами. На виробках, де розташовані готові до видобутку запаси базальту, ударними бурами СБУ-100Г бурять три, чотири або п'ять рядів свердловин діаметром 105 мм на глибину, що перевищує один метр висоти вибою (тобто серія з 40-50 свердловин). Ці свердловини заряджені вибухівкою та підірвані електричною системою уповільнення з використанням піротехнічних сповільнювачів КСДШ, електродетонаторів миттєвої дії та уповільненої дії та системи неелектричного ініціювання «Імпульс». Вибухові роботи проводить субпідприємна компанія Рівненський відділ BVR (British Village Regulator) державного підприємства «Західдорвибухпром».

Видобуток базальту ведеться за циклічною технологічною схемою, з використанням одноручних екскаваторів Е-2503 і Е-2505 (об'єм ковша 2,5 м³) і самоскидів БелАЗ-540 і БелАЗ-548.

Стовпчасті базальти розробляються методом клинового буріння. Сучасна технологія видобутку блоків Рафалівського родовища базується на стовпчастій роздільності базальтів, які мають призматичну або квазіпризматичну конфігурацію в поперечному перерізі. Базальти розрізняють за кількістю граней:

- чотиригранний;
- п'ятикутні, іноді з парними паралельними гранями;
- семикутна з неправильними гранями.

Переважають шестикутні форми. Отже, зі 100 колон 70 шестикутних. Висота стовпів коливається від 3 до 22 м. Розвиток похилих і горизонтальних тріщин роздроблює стовпи на великі ділянки, довжина яких коливається від

0,5 до 1,5 м і 3-4 м. У поперечному перерізі максимальна ширина стовпів досягає 0,6-1,2 м, переважно 0,8-1,0 м.

Виходячи з накопиченого досвіду, для виготовлення блоків використовують базальтові стовпи з прямим виходом (вертикальним, косим) на відміну від стовпів з радіально-радіальним виходом або слабо орієнтованими.

Спосіб відділення блоків від масиву клиновим бурінням використовує високу здатність відокремлення окремих стовпів по горизонтальних площинах і включає наступні операції:

Буріння підстави стовпа, призначеного для заливки, при відсутності горизонтальної тріщини в породі. Свердління проводиться ручним дрилем ПР-20. Отвори свердлять до половини ширини стовпа на відстані 15-20 см один від одного. У ці отвори, уздовж наміченої лінії розколу, вставляються леза. Потім робітник рівномірно вдаряє по цій лінії молотком до появи тріщини.

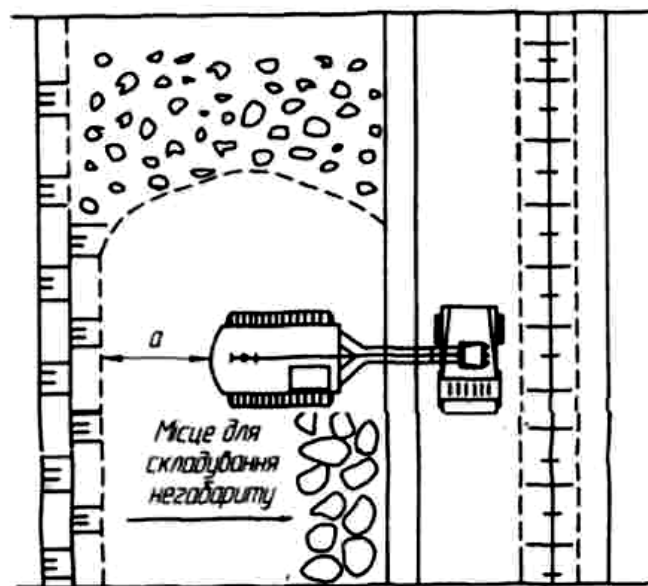
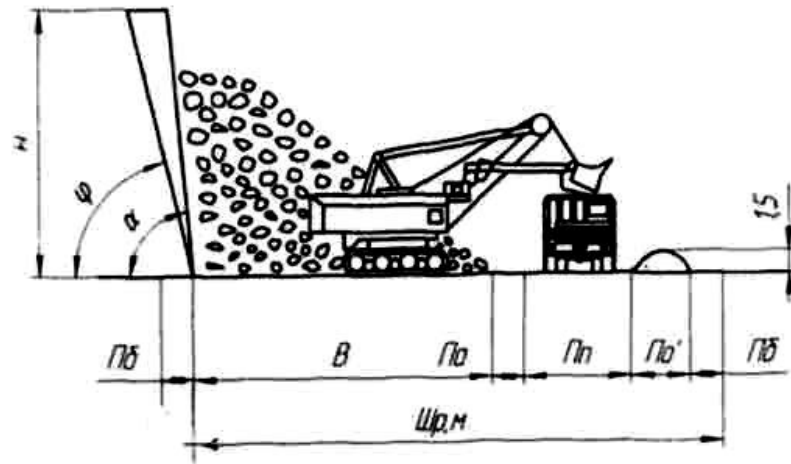
У вертикальній площині стовпа висвердлюють отвір, розмічають його відрив від маси. Таке буріння глибиною від 15 до 20 см виконується за допомогою машини СБУ-100.

У просвердлений отвір вставляється металевий стрижень, потім до нього кріпиться трос.

Стовп витягується з масиву бульдозером і перетягується тросом, потім проводиться засипка на пухку основу з щебеню.

Після візуального огляду обвалену колону розділяють на цінні блоки, виходячи з її природної тріщинуватості. Розщеплення можна проводити також методом Бурокліна, з лунками глибиною 15-20 см.

Паспорт видобувного вибою



Висновки

1. Аналіз мінералогічного складу волинських базальтів показав, що, окрім базальтів, їхні трапові формації містять туфи, туфіти, туфоконгломерати, лавові брекчії та габродолерити. Ці формації містять самородну мідь у різних формах включень та мінералізації, а також інші корисні компоненти, що мають промисловий інтерес. Однак географічний розподіл цих мінералів недостатньо вивчений, щоб дозволити розробку промислової технології видобутку.

2. Особливий інтерес представляє наявність самородної міді, яка в Україні не експлуатується. Однак останні геологічні дослідження визначили найперспективніші райони її присутності, природні форми кристалізації та морфологічні типи. На Волині до них належать родовища Жиричі, Рафалівське та Мідське.

Відвали Рафалівського базальтового кар'єру містять туфи, лавові брекчії та базальтові хвости. Ці три компоненти багаті на мікроелементи. Кар'єр наразі працює на повну потужність (280 000–300 000 тон на рік), а відвали породних пород продовжують зростати. Вторинна переробка відвалів породних пород та рекультивація земель розширять сировинну базу та значною мірою вирішують екологічні проблеми регіону.

Рафалівський базальтовий кар'єр у Рівненській області може слугувати моделлю для подальших досліджень та розробок обладнання та технологій комплексної переробки відходів видобутку базальту, сировинна база якого особливо добре підходить для вирішення порушених питань.

3. Видобуток базальту переважно здійснюється відкритими кар'єрами для виробництва щебеню та облицювальних плит. Однак наявність у межах базальтового шару шаруватої структури порід різного мінералогічного складу, що містять, крім самородної міді в різних включеннях, дорогоцінні метали, що становлять промисловий інтерес, та вміщувальних порід, які є цінною хімічною сировиною, передбачає комплексне освоєння досліджуваних родовищ, як з точки зору методів видобутку, так і використання видобутої сировини.

4. Будова трапових базальтових родовищ, різноманітність форм зруденіння та мінеральний склад породи навіть на сучасному рівні вивчення свідчать про необхідність комплексного підходу до розробки родовищ, причому це стосується як технологій видобутку та переробки, так і використання кінцевого продукту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Надутый В.П. Результаты предварительных исследований медьсодержащих базальтов Волыни на технологичность переработки / В.П. Надутый, Т.Ю. Гринюк // Матер. VI Промышленной конф. "Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях" : п. Славское-Киев, 2006. – С. 156-157.
2. Malanchuk E.Z. The results of studies of the distribution of native copper in rock mass Volhynia (Ukraine). Has participated successfully in the 1st International Academic Congress «Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Ocean Countries» Held in Tokyo, Japan, 25 october 2014.
3. Прокопюк О.М. Ресурсосберегающая технология добычи тяжелых металлов из базальта / Прокопюк О.М., Маланчук Є.З. // Тези доп. на міжнар. наук. конф. «Высокоэффективные и ресурсосберегающие методы переработки природного и искусственного сырья, новые химические технологии». – Росія, Томськ, 2013. – С. 41-42.
4. Прокопюк О.М. Перспективи розвитку гірництва в Рівненсько-Волинському регіоні України / Прокопюк О.М., Мланчук Е.З., Боблях С.Р., Рачковський В.П. // Тези доп. IX міжнар. промисл. конф. "Ефективність реалізації наукового, ресурсного та промислового потенціалу в сучасних умовах", с. Славське, Карпати. – 2009. – С. 364-365.
5. Справочник по петрографии Украины (магматические и метаморфические породы) / [под ред. чл.-корр. АН УССР И.С. Усенко]. – К.: Наук думка, 1975. – 579 с.
6. Мельничук В.Г. Порівняльна характеристика Волинського та Мічманського міднорудних районів / В.Г. Мельничук // Матер. III наук.-виробн. наради геологів-зйомщиків України "Сучасний стан і задачі розвитку районних геологічних досліджень". – Львів, 2005. – С. 183-187.
7. Пересадько М.П. Самородне зруденіння у трапах Волині / М.П. Пересадько, Я.О. Косовський // Матер. III наук.-виробн. наради геологів-зйомщиків України "Сучасний стан і задачі розвитку районних геологічних досліджень". – Львів, 2005. – С. 205-206.

8. Булат А.Ф. Перспективы комплексной переработки базальтового сырья Волини / А.Ф. Булат, В.П. Надутый, З.Р. Маланчук // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 85. – С. 3-7.

9. Закономірності розміщення самородної міді в базальтовій лавобрекчії / В.П. Надутый, З.Р. Маланчук, Т.Ю. Гринюк, С.Є. Стець // Вісник НУВГП : Зб. наук. праць. – Рівне, 2005. – Вип. 4(30). – С. 210-220.

10. Типи самородномідної мінералізації в трапах Волині та оцінка їх перспективності / В.Г. Мельничук, Я.О. Косовський, В.Л. Приходько, В.В. Матеюк // В кн.: "Геологічна наука та освіта в Україні на межі тисячоліть: стан, проблеми, перспективи" // Матер, наук. конф. – Львів: ЛНУ, 2000. – С. 117-122.

11. Маланчук З.Р. Научные основы скважинной гидротехнологии / З.Р. Маланчук. – Ровно: РГТУ, 2002. – 367 с.

12. Маланчук З.Р. Метод скважинной гидродобычи железных ископаемых из трещиноватых подстилающих пород / З.Р. Маланчук. / Вестник УГУВХП. Сб. науч. тр. – Ровно: УГУВХП, 2003. – Вып. № 6(19). – С. 307-317.

13. Черней Э.И. Принципы Концепции комплексного промышленного освоения недр Ровенской области / Э.И. Черней, Р.М. Постоловский, З.Р. Маланчук // Вестник РГТУ: Сб. науч. тр. – Ровно: РГТУ, 2000. – Вып. № 2. – С. 107-113.

14. Матеюк В.В. Досвід вивчення базальтових потоків у трапах Волині при геологічній зйомці та пошуках родовищ самородної міді / В.В. Матеюк, В.Г. Мельничук / В кн.: Регіональні геологічні дослідження в Україні і питання створення "Держгеолкарти-2000". – Київ: Геоінформ, 2001. – С. 168-170.

15. Мельничук В.Г. Міденосні лавобрекчії в трапах Волині та механізм їх утворення / В.Г. Мельничук, В.В. Матеюк, Я.О. Косовський, М.В. Федорчук // В кн.: Геологічна наука та освіта в Україні на межі тисячоліть: стан, проблеми, перспективи" // Матер, наук. конф. – Львів: ЛНУ, 2000. – С. 115-116.

16. Корецький М.К. Перспективи видобутку міді та супутніх матеріалів в Рівненсько-Волинському регіоні України / М.К. Корецький, Є.З. Маланчук // Вісник НУВГП : Зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – Вип. 1(61). – С. 3-11.
17. Маланчук З.Р. Особливості складу та будови цеоліт-сметитових туфів у кар'єрах Рівненсько-Волинського регіону / З.Р. Маланчук, В.П. Рачковський, С.Є. Стець, С.Р. Боблях // УІЦ "Наука. Техніка. Технологія". – Київ, 2006. – С. 109-110.
18. Боблях С.Р. Область використання цеоліт-сметитових туфів у народному господарстві / С.Р. Боблях // УІЦ "Наука. Техніка. Технологія". – Київ, 2006. – С. 22-23.
19. Надутый В.П. Обоснование необходимости комплексной переработки цеолит-сметитовых туфов Волыни / В.П. Надутый, З.Р. Маланчук, О.Н. Прокопюк // Матер. Міжнар. конф. "Форум гірників-2010" / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ: Геологія, 2010. – С. 50-55.
20. Надутый В.П. Исследование влияния влаги на прочностные характеристики туфа подземной добычи / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, О.Н. Прокопюк // Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 90. – С.174-179.
21. Надутый В.П. Результаты исследований разупрочнения туфа в отвалах базальтовых карьеров / В.П. Надутый, О.Н. Прокопюк, П.В. Левченко // Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 89. – С.120-126.
22. Стець С.Є. Класифікація родовищ туфів за фізико-хімічними властивостями та мінералогічним складом / С.Є. Стець // Матер. VI ежегодной промышленность. конф.: Спасское. УІЦ "Наука. Техника. Технология". – Киев, 2006. – С. 191-196.
23. Маланчук З.Р. Основні фізико-хімічні та технологічні властивості туфів Рівненщини / З.Р. Маланчук, Т.Ю. Гринюк, Р.В. Жомирук, С.Є. Стець, В.П. Рач-ковський // Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / Інститут

геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 59. – С.106-114.

24. Маланчук Е.З. Исследование обогатимости вмещающих пород базальтового месторождения методом отсадки / Е.З. Маланчук, Т.Ю. Гринюк // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. Конф. молодых ученых / ИГТМ НАН Украины. – Днепрпетровск, 2012. – Вып. 101. – С. 192-195.

25. Надутый В.П. Результаты экспериментальных исследований закономерностей распределения грансостава по классам крупности при дроблении и измельчении туфа / В.П. Надутый, О.Н. Прокопюк, Т.Ю. Гринюк // Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 91. – С.73-77.

26. Надутый В.П. Разработка математической модели разрушения туфа при дроблении и измельчении с учетом разупрочнения / В.П. Надутый, А.М. Эрперт, О.Н. Прокопюк // Metallургическая и горнорудная промышленность. – № 2. – Днепрпетровск. – 2011. – С. 84-85.

27. Надутый В.П. Исследование магнитной восприимчивости цеолит-сметит-овых туфов / В.П. Надутый, О.Н. Прокопюк, В.И. Дудник // Збагачення корисних копалин : Наук-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 44(85). – С. 103-108.

28. Четверик М.С. Формирование комплексов при технологии предобогащения руды в карьерах / М.С. Четверик, Е.В. Бокий, А.А. Икол // Metallургическая и горнорудная промышленность. – № 3. – 2007. – С. 21-23.

29. Четверик М.С. Технология предобогащения руды в карьерах как перспективное направление добычи бедных руд / М.С. Четверик, Е.В. Бокий // Матер. Міжнар. конф. "Форум гірників" / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 246-253.

30. Четверик М.С. Производственная мощность и технологические комплексы при доработке карьеров, использования их выработанных пространств / М.С. Четверик, О.А. Медведева, Е.А. Ворон / "Горный информационно-технологический бюллетень". XII. – М., 2006. – С. 209-214.

31. Квасниця І.В. Природні мідні кристали України / І.В. Квасниця // Геолог України. – № 1. – 2005. – С. 55-64.
32. Маланчук З.Р. Гідровидобуток корисних копалин : навчальний посібник / З.Р. Маланчук, С.Р. Боблях, Є.З. Маланчук. – Рівне : НУВГП, 2009. – 280 с.
33. Рудик А.В. Проектування пристроїв автоматизації : Навчальний посібник / А.В. Рудик, Я.В. Данченков, Є.З. Маланчук // НУВГП – Рівне : НУВГП, 2014. – 194 с.