

С.І. Башинський, к.т.н., доц.
М.І. Блецко, аспірант
А.В. Панасюк, к.т.н., доц.
Ю.К. Припотень, к.т.н., доц.
Н.М. Остафійчук, ст. викладач

Державний університет «Житомирська політехніка»

Дослідження фізико-хімічних властивостей дрібнодисперсних відходів каменеобробних підприємств з метою визначення стратегії поведінки

Природний облицювальний камінь – вичерпний ресурс скінченних обсягів, який не відновлюється. З огляду на стратегію сталого розвитку та головні принципи циркулярної економіки такий ресурс має використовуватися повною мірою. Як і будь-яка переробна галузь, каменеобробна галузь генерує відходи. На сьогоднішній день в Україні не існує чітко встановлених правил поведінки з цим типом відходів. Зарубіжний досвід переробки відходів каменеобробних підприємств не підходить для українських умов через інший тип або мінеральний та хімічний склад оброблюваних порід природного каменю. Організація тимчасового зберігання потребує відведення певних площ земельних ділянок, що часто є нераціональним, та будівництва спеціальних гірничотехнічних споруд. Складування чи використання для пересипки на полігонах ТПВ викликає ряд питань, які стосуються екологічних та санітарних аспектів такого поводження.

Відходи каменеобробних підприємств можна класифікувати за розміром окремої частинки на крупні та дрібнодисперсні. Дрібнодисперсні відходи – суміш зерен зруйнованого каменю, розміром не більше за 2 мм, тобто кам'яний пил. Це продукти руйнування самого природного каменю, каменеобробного інструменту та матеріалів, що використовуються в технологічному процесі обробки, та інших речовин, що можуть потрапити до системи оборотного водопостачання підприємства. На основі відкритих даних про мінеральний та хімічний склад природного каменю визначено примірний склад відходів, який підтверджується аналізом хімічного складу відходів вітчизняних каменеобробних підприємств. Виконано дослідження органолептичних, фізико-хімічних, радіаційних властивостей, величину міграції важких металів.

На основі отриманих даних зроблено висновок, що відходи каменеобробних підприємств є відносно інертною речовиною, яка належить до класу безпечних відходів, та надано рекомендації щодо поведінки з ними.

Ключові слова: дрібнодисперсні відходи; каменеобробна галузь; натуральний камінь; пульпа.

Актуальність теми. Внаслідок сприятливої геологічної будови Житомирщина має значну кількість родовищ природного каменю у вигляді щєбню і монолітного облицювального каменю. Родовища мають неглибоке залягання, а подекуди поклади взагалі виходять на поверхню [1]. Це обумовлює високу концентрацію переробних підприємств у регіоні. Як і будь-які переробні підприємства, каменеобробні також генерують відходи. За окремими оцінками щорічний обсяг утворення відходів під час обробки природного каменю підприємствами регіону може сягати до 50 тис. м³.

Природний облицювальний камінь – вичерпний ресурс і, з огляду на принципи сталого розвитку та циркулярної економіки, використання цього ресурсу має бути ощадливим, раціональним і повним. Європейське законодавство чітко класифікує та регламентує поведінку з відходами промисловості. Україна поступово імплементує нормативні документи, які стосуються екологічної безпеки загалом та керування відходами зокрема [2]. Проте, відповідно до цих нормативних документів, єдиний варіант поведінки з таким типом відходів – це їх «тимчасове» зберігання. Це потребує вилучення та відведення земельних ділянок для розташування складів, будівництва необхідних споруд та інфраструктури для їх утримання й обслуговування.

В цілому відходи каменеобробного підприємства можна розділити на два класи: крупні – бутовий камінь та окол і дрібнодисперсні відходи каменеобробки (ДВК), які становлять собою уламки мінералів, з яких складається оброблювана порода каменю, розміром менше за 2 мм.

Крупні відходи утворюються під час сколювання частин деталей, що виготовляються з природного каменю, виявлення дефектів на поверхні деталей або ж при бракуванні всього блоку природного каменю. Завдяки своїм розмірам цей клас відходів може бути в подальшому перероблений на щєбінь. Також можливе виготовлення бруківки, якщо розміри окремих шматків природного каменю це дозволяють.

Значно гірша ситуація спостерігається з ДВК. Раціональних способів переробки чи будь-якого використання ДВК на сьогоднішній день немає або ж вони перебувають на стадії досліджень. Організація

тимчасового складування і зберігання ДВК у хвостосховищах не вирішує проблему, а навпаки викликає ряд інших. Завдяки своїм дрібним розмірам окремі частинки (менше за 0,2 мм) здатні підхоплюватися вітром, що призводить до його забруднення. Також при потраплянні у потік ґрунтових вод такі частинки закриватимуть пори ґрунту, що порушуватиме режим фільтрації ґрунту. Таким чином, навіть після майбутнього відпрацювання техногенного родовища на хвостосховищі ДВК вилучені землі залишаться деградованими [3].

Пошук раціональних шляхів використання дрібнодисперсних відходів каменеобробки – це актуальне та термінове завдання, яке стоїть перед видобувною та переробною галузями, вирішення якого забезпечить повне використання природних ресурсів, сприятиме зменшенню антропогенного навантаження на довкілля, сталому розвитку регіону та України в цілому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Пошуку раціональних шляхів використання ДВК присвячено ряд публікацій як українських, так і зарубіжних науковців. Учені досліджують вплив ДВК при додаванні у силікатні матеріали (силікатні і цементні розчини), керамічні вироби, кам'яне литво і навіть у ґрунт для поліпшення його показників.

Ряд зарубіжних науковців досліджує використання ДВК як складову сумішей для виготовлення будівельних матеріалів. Так автори [4] виявили зменшення пористості на 38 % та стійкості до хлоридів на 70 % бетону, до складу якого введено ДВК з гранітоїдних порід без втрати міцності. Проте запропонована рецептура вимагає додаткового подрібнення використовуваних гранітних ДВК. Робота [5] досліджує використання гранітних ДВК при виготовленні цементних розчинів. У результаті отримано збільшення міцнісних властивостей при дещо уповільненому наборі міцності. Також спостерігалася підвищена стійкість цементних розчинів до впливу хлоридів.

Автори статті [6] досліджували зміну властивостей бетону при додаванні ДВК гранітних порід за допомогою методів сканувальної електронної мікроскопії та рентгенівської дифракції. У результаті визначено, що, з огляду на структуру бетону, його пористість, оптимальний ступінь заміни дрібного заповнювача становить 30 %.

Також ряд наукових досліджень вивчає вплив ДВК на властивості керамічних виробів. У [7] отримали керамічні заповнювачі для легких бетонів, при чому при рівному співвідношенні глина – ДВК отримали в заповнювачі пори більшого розміру, що позитивно вплинули на тепло- та звукоізоляційні властивості бетону. Автори у своїй роботі [7] виявили, що додавання ДВК до глини зменшує температуру випалу та збільшує міцність керамічних виробів.

Проте ці всі роботи об'єднує один спільний факт: у дослідженнях використовували ДВК з місцевих гранітних порід, які відрізняються за своїм хімічним та мінералогічним складом. Хоча хімічний вміст впливає на утворення зв'язків у структурі бетону. Тому слід проводити дослідження на придатність місцевих порід для використання як домішки під час виготовлення будівельних матеріалів. Також важливим фактором є розробка способу використання ДВК у стані «як є». Оскільки будь-які способи покращення властивостей ДВК підвищать собівартість кінцевого продукту.

Метою статті є аналіз хімічного та мінералогічного складу ДВК українських родовищ природного облицювального каменю та визначення важливих показників ДВК для класифікації їх як відходів. Отримані результати стануть підґрунтям для визначення подальших шляхів використання ДВК як вторинної сировини.

Викладення основного матеріалу. ДВК утворюються в результаті абразивної обробки природного каменю алмазним інструментом. Процес руйнування каменю є двостороннім, тобто під час робочих операцій відбувається часткове руйнування та зношування робочого інструмента. Тому у суміші ДВК слід очікувати наявність продуктів руйнування робочого інструменту, речовин, що застосовується для фінішних стадій обробки каменю, та інших речовин, що можуть знаходитися на території виробничих цехів або можуть потрапляти до системи технічного водопостачання підприємства через відкриті стічні лотки.

Алмазний інструмент являє собою суміш зерен природних чи синтетичних алмазів (вуглець), які розташовані у масиві зв'язної речовини. Ця зв'язна речовина може бути металевою (мідь, нікель, марганець, олово, кобальт, титан) або на основі органічних в'язучих (органічні смоли або штучні полімери).

На стадії полірування раніше застосовували порошок оксиду хрому (Cr_2O_3), але, зважаючи на шкідливість цієї речовини, на сьогодні в основній масі підприємства використовують для полірування каменю порошок на основі електрокорунду (Al_2O_3), який по суті є глиноземом.

Хімічний склад ДВК переважно визначається хімічним складом гірських порід, оброблюваних на підприємствах.

На основі відкритих даних, які надає ДП «Геоінформ», було проаналізовано та визначено мінеральний склад основних українських родовищ облицювального природного каменю, що наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Мінеральний склад гірських порід українських родовищ природного каменю

№ з/п	Родовище	Мікроклін	Плагіоклаз	Кварц	Біотит	Олівін	Піроксен	Амфібол	Гльменіт	Циркон / гранат
Граніт										
1	Василівське	45	15	23	5	3,5	1,5	5		
2	Дідковицьке	58	15	20	5			2		
3	Жежелівське	33	40	25	10					12,5 / 7,5
4	Капустинське	50	24	18	7					0,8
5	Корнинське	30	34	22	11				1,2	0,75
6	Лизниківське	61	18	14,5	4			2,5		
7	Лизниківське ділянка Східна	57	12	28	3					
8	Маславське	50	24	18	3,5			4,5		
9	Межиріцьке	60	20	15	5					
10	Мирнянське 2	40	20	20	5	0,9	1	10	1,3	
11	Омелянівське	65	10	20	4					
12	Токівське	35	35	25	4					
13	Човнівське	58	15	11	3	2,5	5	5,5		
14	Янцівське	22	35	35	5				0,4	
Гранодіорит										
15	Покостівське	25	43	17	10			5,5		
Габро										
16	Букинське	5,5	64		1,5		28,5			
17	Горбулівське		60		1	1,5	37,5			
18	Добринське		55			14	25		4	
19	Іршицьке		60			16	20		3	
20	Кам'янобрідське		65			7	28			
21	Північно-Слобідське		65			5	25	5		
22	Сліпчицьке		70				30			
23	Шадурське		65			4	28,5	1,5		
24	Ямпільське		54		1	10	30	0,5	3	
Лабрадорит										
25	Андріївське	1,5	80		1	2	12,5			
26	Васьковицьке		94				6			
27	Верхолузьке		92			2	6			
28	Головинське	3	93		1	1	2			
29	Кам'яна Піч		97		1		2			
30	Кам'янобрідське 1		90		1	2	4			
31	Ковалівське		98			1		1		
32	Невіривське		92		0,5	2,5	5			
33	Осниківське		80		2	10	7,7			
34	Очеретянське		92		1	1	6			
35	Слобідське		86		1,5	5,5	6,5			
Анортозит										
36	Луковецьке		90			1,5	6		2	
Максимальне значення		65	98	35	11	16	37,5	10	4	12,5
Мінімальне значення		0	10	0	0	0	0	0	0	0

Відповідно до мінерального складу природного облицювального каменю, в таблиці 2 наведено його хімічний склад.

Хімічний склад гірських порід українських родовищ природного каменю

№ з/п	Родовище	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
Граніт											
1	Василівське	13,5	70,5	1,5	0,97	2,94	0,28	0,46	0,04	3,21	5,66
2	Дідковицьке	12,3	75,2	0,9	1,00	1,41	0,16	0,32	0,02	2,90	2,40
3	Жежелівське	14,5	68,6	2,1	5,92	–	1,94	0,72	0,05	3,16	3,29
4	Капустинське	14,5	71,1	1,8	3,65	–	0,48	0,43	0,03	2,62	5,35
5	Корнинське	14,9	68,3	3,0	5,15	–	1,10	0,70	–	1,85	4,80
6	Лизниківське	12,3	74,6	0,9	3,48	–	0,41	0,18	0,03	3,16	5,11
7	Лизниківське ділянка Східна	11,6	75,3	0,8	1,70	3,17	0,32	0,27	0,03	3,99	4,71
8	Маславське	13,7	69,5	1,7	0,77	3,45	0,19	0,53	3,36	3,33	5,97
9	Межирічське	14,0	71,7	1,5	3,02	–	0,80	0,37	–	3,11	4,90
10	Мирнянське 2	13,6	66,7	4,1	4,58	–	0,41	0,43	–	3,57	5,06
11	Омелянське	14,0	76,9	1,3	1,87	–	0,33	0,24	–	5,02	5,39
12	Токівське	12,0	70,2	1,5	2,49	–	0,95	0,50	–	2,74	3,53
13	Човнівське	12,4	67,9	1,9	0,71	–	0,31	0,54	–	–	–
14	Янцівське	14,4	73,0	1,3	1,69	–	0,35	0,19	–	3,78	4,73
Гранодіорит											
15	Покостівське	14,0	63,4	3,3	6,23	–	2,75	0,82	–	–	–
Габро											
16	Букинське	13,5	56,2	6,2	1,90	–	2,65	3,05	–	3,14	2,35
17	Горбулівське	16,8	52,6	10,0	2,00	–	2,41	2,01	–	3,34	0,93
18	Добринське	13,4	50,8	6,9	2,31	–	1,79	2,57	–	3,55	2,41
19	Іршицьке	15,4	47,6	8,9	1,02	–	5,54	2,11	–	3,12	0,74
20	Кам'янобрідське	14,5	51,7	9,3	4,16	–	3,76	2,84	–	3,52	0,81
21	Північнобрідське	15,2	51,9	9,3	11,8	–	3,78	1,71	–	3,38	0,84
22	Сліпчицьке	17,6	52,3	8,8	9,09	–	4,10	0,98	–	3,18	0,66
23	Шадурське	12,6	48,4	8,8	1,43	5,58	1,94	1,01	–	–	–
24	Ямпільське	12,7	48,1	7,5	3,35	–	3,37	3,14	–	3,87	1,74
Лабрадорит											
25	Андріївське	21,9	55,3	8,8	1,64	–	1,47	0,95	–	3,82	1,23
26	Васьковицьке	22,0	56,2	7,1	5,36	–	2,49	0,65	–	3,61	1,20
27	Верхолузьке	22,5	52,9	9,5	0,84	–	1,42	1,11	–	3,87	0,84
28	Головинське	22,2	50,3	9,3	7,25	–	2,90	1,67	–	3,86	1,72
29	Кам'яна Піч	25,6	51,8	9,8	3,03	–	1,40	0,25	–	4,39	0,78
30	Кам'янобрідське 1	15,4	47,8	14,6	5,01	–	0,43	0,39	–	2,96	1,09
31	Ковалівське	31,2	51,7	9,7	0,22	–	1,34	–	–	–	–
32	Невіривське	22,6	51,9	9,0	7,88	–	2,07	1,51	–	3,37	1,08
33	Осниківське	21,8	54,7	8,9	1,06	–	1,69	0,85	–	3,81	1,41
34	Очеретянське	22,8	51,4	9,8	1,55	–	2,25	1,08	–	3,91	0,81
35	Слобідське	23,1	53,7	9,2	1,44	–	1,88	1,18	–	3,98	1,25
Анортозит											
36	Луковецьке	21,2	53,8	9,8	1,34	–	2,21	0,99	–	3,50	0,84
Максимальне значення		31,2	76,9	14,6	11,8	5,58	5,54	3,14	3,36	5,02	5,97
Мінімальне значення		11,6	47,6	0,8	0,22	0,00	0,16	0,18	0,00	1,85	0,66

У роботі [8] вказується, що для виготовлення геополімерних матеріалів необхідна алюмосилікатна сировина зі співвідношенням вмісту оксиду алюмінію (Al₂O₃) до вмісту оксиду кремнію (SiO₂) не менше ніж 3. Як можна бачити з таблиці 2, за граничними значеннями ДВК відповідає цій вимозі. Однак слід звернути увагу, що дане співвідношення для лабрадоритових ДВК менше 3, не відповідає вимогам і потребує змішування з ДВК інших порід природного каменю для досягнення заданого значення. Також на співвідношення вмісту цих оксидів впливатиме частка полірувальних робіт з використанням матеріалів на основі глинозему в технологічній схемі каменеобробного підприємства.

У ряді праць було визначено хімічний склад ДВК, зразки яких були взяті з різних підприємств, що виготовляють деталі з українських порід природного облицювального каменю. Так у роботі [9] зразки ДВК були взяті з одного підприємства і їх мінеральний склад був визначений за допомогою

рентгеноспектрального аналізу: плагіоклаз, кварц, мусковіт, мікроклін, альбіт, амфібол, біотит. Цей склад відповідає середньому вмісту мінералів порід, які оброблювалися на дослідному підприємстві, – породи групи габро, гранодіорит та граніт. Хімічний склад ДВК, що досліджувалися, наведено у таблиці 3.

У дослідженнях [10] було використано ДВК з підприємства, що активно використовує у виробництві сировину з родовищ граніту. Отриманий рентгенофлуоресцентним аналізом хімічний склад ДВК наведено в таблиці 3. У роботі [11] використовувалися ДВК з підприємства, схожого за кількісними показниками номенклатури сировини як і у роботі [9]. Хімічний склад ДВК, отриманий рентгенофлуоресцентним аналізом, наведено в таблиці 3. Також у цій таблиці наведено граничні значення вмісту основних оксидів, що отримані узагальненням даних таблиці 2.

Таблиця 3

Хімічний склад ДВК підприємств України

№ з/п	Речовина	ДВК1 ¹⁾	ДВК2 ²⁾	ДВК3 ³⁾	Граничні значення ⁴⁾	
					min	max
1	Al ₂ O ₃	13,86	15,17	16,56	11,60	31,2
2	SiO ₂	59,59	65,80	55,26	47,60	76,9
3	CaO	5,82	3,55	7,36	0,80	14,6
4	Fe ₂ O ₃	10,45	4,35	9,66	0,22	11,8
5	FeO	-	-	-	0,00	5,58
6	MgO	2,36	1,56	3,44	0,16	5,54
7	TiO ₂	2,14	0,58	0,90	0,18	3,14
8	MnO	-	0,06	-	0,00	3,36
9	Na ₂ O	3,86	3,44	3,52	1,85	5,02
10	K ₂ O	1,92	4,25	2,40	0,66	5,97

Примітки: ¹⁾ хімічний склад ДВК, отриманий в ході досліджень [9]; ²⁾ хімічний склад ДВК, отриманий в ході досліджень [10]; ³⁾ Хімічний склад ДВК, отриманий в ході досліджень [11]; ⁴⁾ Граничні значення вмісту окремих компонентів, визначені за таблицею 2

Таким чином, лабораторні дослідження підтверджують той факт, що склад ДВК визначається лише складом порід, що оброблюються. Слід звернути увагу, що у [9] та [10] зроблено розширений хімічний аналіз на вміст сполук та окремих елементів. За результатами цих досліджень можна стверджувати про наявність у складі ДВК слідів цинку та міді, які є компонентами металевій зв'язки камененобробного інструменту. Проте концентрація цих елементів на порядки менша, аніж допускається санітарними нормами. Також у обох випадках немає Ст₂O₃, що свідчить про перехід камененобробними підприємствами на більш екологічно чисті матеріали обробки каменю. Решта потенційно забруднюючих речовин знаходиться у концентраціях значно менших, ніж допустимі значення.

Для проведення досліджень та визначення ступеня небезпеки ДВК було відібрано 10 проб загальною масою 8,902 кг. Проби відбиралися на 10 підприємствах, що є членами Асоціації підприємств по видобуванню та обробці природного каменю «Камінь України» та розташовані у м. Коростишів та його околицях.

Усі підприємства є схожими за технологічною схемою обробки природного каменю. Як сировинна база усі підприємства використовують родовища природного облицювального каменю Житомирської області. Сировина у вигляді блоків природного каменю завозиться на підприємства автомобільним транспортом. Готова продукція вантажиться та транспортується також автомобільним транспортом. Як підйомні механізми використовуються автомобільні крани, електричні крани на пневмоколісному ході та стаціонарні електричні крани козлового або мостового типів. Як міжцеховий транспорт використовуються навантажувачі з двигунами внутрішнього згорання.

При обробці каменю застосовується алмазний абразивний інструмент на металевій або органічній зв'язці. Протягом останніх років підприємства відмовилися від використання на фінішній стадії полірування каменю оксиду хрому і замість нього використовують оксид алюмінію.

Під час алмазно-абразивної обробки природного каменю утворюються продукти руйнування у вигляді дрібнодисперсних уламків зерен мінералів – складників природного каменю. Для винесення ДВК із зони різання використовується вода. Система водопостачання технологічної води на усіх підприємствах замкнена, оборотна із зовнішнім поповненням. Вода, забруднена ДВК, збирається від кожного верстата і по відкритих бетонних лотках, влаштованих у підлозі цехів, самотоком транспортується у відстійники. У відстійниках вода освітлюється за рахунок осідання ДВК і насосами подається по трубопроводу до верстатів. Відстійники розташовуються ззовні виробничих цехів на території підприємств. Як правило, відстійники накриті або огорожені з метою обмеження доступу працівників з міркувань безпеки.

Проби відбиралися на кожному підприємстві з першого відстійника у трьох різних точках, розташованих вздовж течії води. Відбір проводився за допомогою відрізка труби, внутрішнім діаметром 50 мм, яка занурювалася вертикально в масив відкладів відстійника.

Також від кожного підприємства було отримано відносні кількісні показники об'ємів обробленої сировини по родовищах природного облицювального каменю (табл. 4). Також були надані радіаційні сертифікати по кожному родовищу, в яких підтверджено, що рівень радіаційної активності природного каменю знаходиться в допустимих межах, а сама сировина придатна для виготовлення будівельних матеріалів.

Таблиця 4

Маса відібраних проб та номенклатура сировини по кожному підприємству

Підприємство	Структура сировинної бази підприємства, %								Маса проби, кг
	Габро		Граніт						
	Шадурське	Букинське	Покостівське	Токівське	Лизники	Капустянське	Дідковичі	Човнова	
Підприємство 1	80	15	5	-	-	-	-	-	1,271
Підприємство 2	-	-	50	20	13	17	-	-	0,723
Підприємство 3	80	20	-	-	-	-	-	-	1,031
Підприємство 4	70	-	-	-	-	-	20	10	0,349
Підприємство 5	70	-	20	-	-	10	-	-	0,845
Підприємство 6	50	20	20	10	-	-	-	-	1,003
Підприємство 7	40	10	10	-	10	10	20	-	0,929
Підприємство 8	70	-	10	-	15	5	-	-	1,041
Підприємство 9	55	10	15	15	-	-	-	5	0,845
Підприємство 10	70	30	-	-	-	-	-	-	0,865
Разом	60,1	11,6	12,6	4,2	3,9	4,0	2,9	0,9	8,902

Оскільки ДВК утворюються в результаті руйнування природного каменю, то вміст основних речовин у їх суміші залежить переважно від мінералогічного та хімічного складу гірських порід, що обробляються, та їх частки в складі сировинної бази окремого підприємства. Тому при відборі проб на кожному підприємстві було взято інформацію про відсоток оброблених порід з моменту останнього очищення відстійників. Очікуваний мінералогічний та хімічний склад отримано в перерахунку на усереднену та відібрану пробу і наведено в додатку до цього акта.

Після відбору проби просушувалися за температури 105 °С до постійної маси. Потім проби були об'єднані в одну генеральну пробу, з якої методами усереднення було відібрано дві лабораторні проби масою 1,103 та 1,071 кг. Першу пробу було використано для ситового аналізу, результати якого наведено на рисунку 1 у вигляді кумулятивної кривої гранулометричного складу.

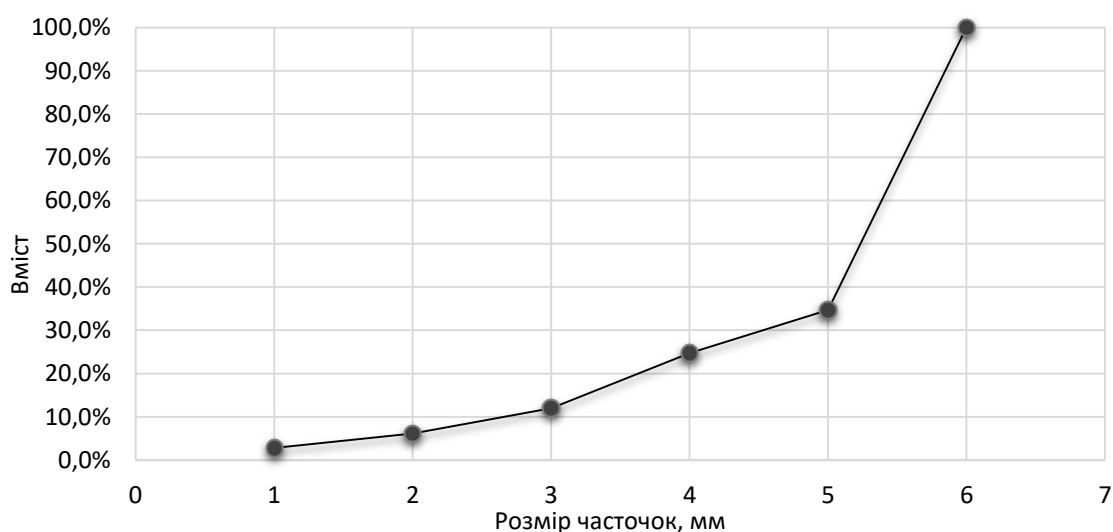


Рис. 1. Кумулятивна крива гранулометричного складу ДВК.

Друга проба, масою 1,071 кг, була передана в «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України» для подальших

досліджень. Науковий центр провів дослідження органолептичних, фізико-хімічних показників, виконав санітарно-хімічні та радіологічні дослідження.

За результатами органолептичних та фізико-хімічних досліджень встановлено, що ДВК предявляють собою сухий дрібний пилоподібний порошок з дрібними грудочками, які легко розтираються, сірого кольору. Запах самих ДВК оцінено за п'ятибальною шкалою (Райт Р.Х., 1966) в один бал – ледве помітний. Визначення концентрації водневих іонів проводили у водній витяжці зразка відходів, яку отримали з 10 г порошку ДВК і 100 мл дистильованої води (концентрація 1:10) при постійному перемішуванні впродовж доби. У результаті була отримана колоїдна рідина без кольору. Водневий показник витяжки рН = 7,3. Запах водної витяжки оцінено в 1 бал [12]. Таким чином, за органолептичними показниками ДВК не мають факторів, які б становили небезпеку для довкілля чи здоров'я людини.

Одним з потенційно небезпечних факторів ДВК може бути виділення небезпечних хімічних речовин. З огляду на це було проведено дослідження рівня міграції важких металів із ДВК у водну витяжку або навколишнє середовище. Вміст металів у водній витяжці визначався методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою відповідно до [13]. Результати наведено в таблиці 5.

Таблиця 5
Результати атомно-емісійної спектроскопії зі зв'язаною плазмою водної витяжки ДВК

№ з/п	Показник	Фактичне значення, мг/дм ³	Гранично допустима концентрація ¹⁾ , мг/дм ³
1	Кадмій	< 0,0008	0,01
2	Свинець	< 0,008	0,10
3	Ртуть	< 0,0016	0,005
4	Миш'як	< 0,005	0,10

Примітка: ¹⁾ відповідно до Наказу Мінрегіонбуду № 316 від 01.12.2007 р. «Про затвердження Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення»

Рівень міграції ртуті з ДВК у водне середовище не перевищує встановлені санітарні норми, а кадмій, свинець та миш'як – виявлено в кількостях менших, ніж чутливість приладу, що свідчить про знаходження їх у зв'язному вигляді і навіть лужне середовище не впливає на рівень їх міграції.

Також ДВК досліджували на вміст радіонуклідів відповідно до МВВ 07-119-2011. Отримані результати наведено в таблиці 6.

Таблиця 6
Радіологічні показники ДВК

Питома активність природних радіонуклідів, Бк/кг ± % невизначеності			Ефективна питома активність природних радіонуклідів, Бк/кг ± % невизначеності
Калій-40	Радій-226	Торій-232	Аеф
724 ± 73,8	< 11,0 ± 4,4	< 18,0 ± 7,2	96,1 ± 12,2

Ефективна питома активність природних радіонуклідів не перевищує показника 370 Бк/кг і відповідає вимогам НРБУ-97 «Норми радіаційної безпеки України».

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження ДВК підтверджують зроблене припущення, що хімічний склад ДВК переважно визначається складом гірських порід, які є сировиною каменобробного підприємства. В основному ДВК містять кварц та глинозем, тому можуть застосовуватись при коригуванні фізико-механічних властивостей ґрунтів.

По радіоактивності ДВК можуть застосовуватись у будь-якій сфері будівництва за наявності затвердженої в установленому порядку нормативної документації. Самі ж ДВК класифікуються як безпечні відходи [2].

Відповідно до цього, виявляється можливим розміщення ДВК на полігонах ТПВ, якщо їх вологість не перевищує 85 %, тимчасове складування у хвостосховищах чи на відвалах скельних порід, під час виготовлення нових будівельних матеріалів.

Одним із найбільш раціональних способів використання ДВК є застосування їх у будівельній галузі. Оскільки ця галузь постійно потребує матеріалів, що робить потенційно можливим повну переробку відходів. Для визначення перспективних напрямів застосування ДВК у будівництві слід провести дослідження фізико-механічних властивостей. І оскільки ДВК утворюються та накопичуються у водному середовищі, то і дослідження варто проводити для різних станів вологості.

Список використаної літератури:

1. Дослідження стану і розвитку виробництва будівельних матеріалів із природного будівельного каменю / *M.I. Сокур, В.С. Білецький, Д.П. Божик, Ю.В. Шевчук* // Збагачення корисних копалин. – Кривий Ріг : Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – 2017. – Вип. 68 (109). – С. 3–12.
2. Про небезпечні відходи : Директива Ради Європейського співтовариства № 91/689/ЄЕС від 12.12.1991.
3. Сучасний стан та перспективи використання відходів каменевидобування і каменеобробки в силікатних галузях (огляд) / *Л.Л. Брагіна, С.О. Рябінін, О.Ю. Федоренко та ін.* // Наукові дослідження з вогнетривів та технічної кераміки : зб. наук. пр. – 2020. – № 120. – С. 196–210.
4. Granitic quarry sludge waste in mortar: Effect on strength and durability / *T.Ramos, F.M. Matos, B.Schmidt and other* // *Construction and Building Materials*. – 2013. – Vol. 47. – P. 1001–1009. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.098.
5. Effect of granite dust on mechanical and some durability properties of manufactured sand concrete / *H.Li, F.Huang, G.Cheng and other* // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 109. – P. 41–46. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.034.
6. Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste / *S.Singh, S.Khan, R.Khandelwal and other* // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – Vol. 119. – P. 86–98. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.008.
7. Granite Waste as a Raw Material in Ceramic Body Formulations / *P.Nordala, M.Hasmaliza, T.Hirajima, R.Othman* // *In Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 858. – P. 88–95. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.858.88.
8. Effect of iron oxide (Fe₂O₃) on the properties of fly ash based geopolymer / *W.W.A. Zailani, M.M.A. Abdullah, M.F. Arshad and other* // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 877, № 1. – P. 12–17.
9. Performance of self-compacting mortars with granite sludge as aggregate / *A.Lozano-Lunar, I.Dubchenko, S.Bashynskyi and other* // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 251. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118998.
10. Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge From Granite / *J.M. Terrones-Saeta, J.Suárez-Macías, F.A. Corpas-Iglesias and other* // *Minerals*. – 2020. – Vol. 10 (7). – P. 621.
11. Beyhan S. Evaluation of natural stone treatment enterprises wastage / *S.Beyhan, S.Bashinsky, I.Dubchenko* // *ISME2017 – International Symposium on Mining and Environment*. – Bodrum. – 2017. – P. 46–51.
12. ДСТУ EN 1420-1:2004 Якість води. Визначення впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Проведення оцінювання води в трубопровідних системах на запах і присмак. Ч. 1. Метод випробовування (EN 1420-1:1999, IDT). Чинний від 01.10.2005. Вид. офіц. – Київ, 2004.
13. ДСТУ EN ISO 11885:2019 Якість води. Визначення вибраних елементів методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивнозв'язаною плазмою (ICP-OES). Чинний від 01.10.2020. Вид. офіц. – Київ, 2019.

References:

1. Sokur, M.I., Biletskyi, V.S., Bozhyk, D.P. and Shevchuk, Yu.V. (2017), «Doslidzhennia stanu i rozvytku vyrobnytstva budivelnykh materialiv iz pryrodnoho budivelnoho kameniu», *Zbahachennia korysnykh kopalyn, Derzhavnyi vyshchyi navchalnyi zaklad «Natsionalnyi hirnychiy universytet»*, Kryvyi Rih, Issue 68 (109), pp. 3–12.
2. Rada Yevropeiskoho Spivtovarystva (1991), *Pro nebezpechni vidkhody*, Dyrektyva No. 91/689/YeES vid 12.12.
3. Brahina, L.L., Riabinin, S.O., Fedorenko, O.Iu. et al. (2020), «Suchasnyi stan ta perspektyvy vykorystannia vidkhodiv kameneydobuvannia i kamenyobrobky v sylikatnykh haluziakh (ohliad)», *Naukovi doslidzhennia z vohnetryviv ta tekhnichnoi keramiky*, zb. nauk. pr., No. 120, pp. 196–210.
4. Ramos, T., Matos, F.M., Schmidt, B. et al. (2013), «Granitic quarry sludge waste in mortar: Effect on strength and durability», *Construction and Building Materials*, Vol. 47, pp. 1001–1009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.098.
5. Li, H., Huang, F., Cheng, G. et al. (2016), «Effect of granite dust on mechanical and some durability properties of manufactured sand concrete», *Construction and Building Materials*, Vol. 109, pp. 41–46, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.034.
6. Singh, S., Khan, S., Khandelwal, R. et al. (2016), «Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste», *Journal of Cleaner Production*, Vol. 119, pp. 86–98, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.008.
7. Nordala, P., Hasmaliza, M., Hirajima, T. and Othman, R. (2013), «Granite Waste as a Raw Material in Ceramic Body Formulations», *In Advanced Materials Research*, Vol. 858, pp. 88–95, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.858.88.
8. Zailani, W.W.A., Abdullah, M.M.A., Arshad, M.F. et al. (2020), «Effect of iron oxide (Fe₂O₃) on the properties of fly ash based geopolymer», *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 877, No. 1, pp. 12–17.
9. Lozano-Lunar, A., Dubchenko, I., Bashynskyi, S. et al. (2020), «Performance of self-compacting mortars with granite sludge as aggregate», *Construction and Building Materials*, Vol. 251, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118998.
10. Terrones-Saeta, J.M., Suárez-Macías, J., Corpas-Iglesias, F.A. et al. (2020), «Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge From Granite», *Minerals*, Vol. 10 (7), pp. 621.
11. Beyhan, S., Bashinsky, S. and Dubchenko, I. (2017), «Evaluation of natural stone treatment enterprises wastage», *ISME2017 – International Symposium on Mining and Environment*, Bodrum. pp. 46–51.
12. *DSTU EN 1420-1:2004 Yakist vody. Vyznachennia vplyvu orhanichnykh rehovyn na yakist vody, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu. Provedennia otsiniuvannia vody v truboprovodnykh systemakh na zapakh i prysmak. Part 1. Metod vyprovovuvannia (EN 1420-1:1999, IDT)* (2004), Chynnyi vid 01.10.2005, Vyd. ofits., Kyiv.
13. *DSTU EN ISO 11885:2019 Yakist vody. Vyznachennia vybranykh elementiv metodom optychnoi emisiinoi spektrometrii z induktyvnozv'язanoi u plazmoi (ICP-OES)* (2019), Chynnyi vid 01.10.2020. Vyd. ofits., Kyiv.

Башинський Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. М.Т. Бакка Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-2945-7683>.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- будівельні матеріали;
- еко-технології.

E-mail: kgt_bsi@ztu.edu.ua.

Блецько Михайло Іванович – аспірант кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. М.Т. Бакка Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0009-6538-6374>.

Наукові інтереси:

- будівництво;
- будівельні матеріали.

E-mail: asp_bmi@student.ztu.edu.ua.

Панасюк Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0001-7468-2022>.

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- видобування та обробка природного каменю;
- геоінформаційна система.

E-mail: panasyukav79@gmail.com.

Припотень Юлія Костянтинівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. М.Т. Бакка Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0003-2671-8240>.

Наукові інтереси:

- будівництво;
- опалення та вентиляція;
- будівельні матеріали.

E-mail: krrkr_pyuk@ztu.edu.ua.

Остафійчук Неля Миколаївна – старший викладач кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. М.Т. Бакка Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-7238-706X>.

Наукові інтереси:

- геологія родовища, будівельних матеріалів;
- гірництво.

E-mail: kgt_onm@ztu.edu.ua.

Bashynskiy S.I., Bletsko M.I., Panasiuk A.V., Prypoten Yu.K., Ostafiichuk N.M.

Research of physicochemical properties of the fine-dispersed stone waste of the stone processing enterprises for determining the behavior strategy

Natural facing stone is a limited and non-renewable fossil resource. This resource should be used to the fullest extent in order to the strategy of sustainable development and the main principles of the circular economy. Like any processing industry, the stone processing industry generates waste. There are no clearly established rules for dealing with this type of waste in Ukraine to nowadays. The foreign experience of using waste from the stone processing enterprises is not suitable for Ukraine due to a different type or mineral and chemical composition of the natural stone. The organization of temporary storage requires the allocation of certain lands, which is often irrational, and the construction of special mining and technical facilities. Storage or use for re-filling at solid waste landfills raises some questions related to the ecological and sanitary aspects of such treatment.

Waste from stone processing enterprises can be classified according to the size of individual particles into broken stone and fine particles. Fine-dispersed waste is a mixture of crushed stone grains with a size less than 2 mm, i.e. stone dust. These are products of the destruction of the natural stone, tools and materials used in the technological process of cutting and polishing and other substances that can get into the circulating water supply system of the enterprise. An approximate composition of waste is determined using open data of the mineral and chemical composition of natural stone, which is confirmed by the analysis of the waste chemical composition described in Ukrainian scientific researching. Organoleptic, physicochemical, radiation properties, migration rate of heavy metals were studied.

Based on the obtained data, it has been concluded that the waste from stone processing enterprises is relatively inert material, which is classified as safe waste, and recommendations have been provided regarding their handling.

Keywords: fine-dispersed waste; stone processing industry; natural stone; pulp.

Стаття надійшла до редакції 04.05.2023.