

**О.М. Сидоров, PhD**  
**С.В. Кальчук, к.т.н., доц.**  
**М.А. Колодій, ст. викладач**  
*Державний університет «Житомирська політехніка»*  
**С.О. Жуков, д.т.н., проф.**  
*Криворізький національний університет*  
**В.К. Костенко, д.т.н., проф.**  
*Донецький національний технічний університет*

## **Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю**

У цьому дослідженні детально розглядався вплив агресивного середовища на кольорові характеристики природного каменю. Об'єктами дослідження стали зразки облицювальних каменів, а саме: лабрадорит Кам'янобрідський, габро Букинське, гранодіорит Покостівський, і граніт Капустинський. Експерименти з визначенням змін кольору природного каменю проводилися при температурі 20 °С у агресивних середовищах, таких як гідроксид натрію (NaOH) з концентрацією 40 г/л, сірчана кислота (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – 40 г/л, і амоній хлористий (NaCl) – 40 г/л. Загальна тривалість впливу становила 50 діб.

Перед тим, як розмістити зразки природного каменю в агресивному середовищі, їх поліровану поверхню сканували за допомогою цифрового сканера. Також вимірювалася середня величина блиску полірованої поверхні за допомогою блискоміра БФ-3. Зразки природного каменю піддавалися впливу агресивних розчинів, і кожні 240 годин проводилися повторні виміри блиску та кольору.

Перед кожним новим вимірюванням кольорових характеристик та блиску природного каменю їх ретельно промивали дистильованою водою і сушили. У випадку появи білих плям на поверхні каменю після висихання, їх уважно витирали вологою серветкою. Скановані цифрові зображення піддавалися обробці у спеціалізованих графічних програмах з метою отримання кольорових координат поверхні природного каменю. Оцінювалася середня величина колірної різниці за системою CIE Lab.

За результатами проведених досліджень встановлено, що ключові зміни у кольорі облицювальних поверхонь каменю відбуваються протягом перших 30 днів (720 годин) для порід основного складу. Цей факт вказує на обов'язковість урахування даного періоду при плануванні робіт. Під впливом агресивних розчинів на породи основного складу, протягом 720 годин, найбільше зниження показників блиску спостерігається при взаємодії з кислим розчином, а саме на 26 одиниць, тоді як найменший вплив має соловий розчин, зменшуючи блиск лише на 3,7 одиниці. У породах кислого складу соловий розчин підвищує блиск на 3,3 одиниці.

**Ключові слова:** агресивне середовище; колір; природний камінь; породоутворюючі мінерали.

**Вступ.** Вплив високих температур на різні матеріали є об'єктом численних наукових досліджень. Особливий інтерес обумовлює спостереження за змінами, що відбуваються з міцними гірськими породами під впливом агресивного середовища. Ці породи, які формуються на великих глибинах під землею або внаслідок вулканічної діяльності, мають унікальний склад та структуру, що спричиняє особливу реакцію на агресивне середовище.

Колір міцних гірських порід завжди викликає зацікавленість серед геологів та мінералогів, оскільки він може розкрити багато інформації про історію породи, її утворення та еволюцію. Під впливом агресивного середовища відбувається перерозподіл мінералів, хімічні реакції або випаровування елементів, що може спричинити зміни у кольорі породи.

Зміни у кольорі можуть свідчити про присутність конкретних мінералів, які формуються за певних умов. Наприклад, червоний колір може вказувати на гематит, зелений – на хлорит, а чорний – на магнетит. Вивчення цих змін дозволяє отримати більше інформації про умови утворення породи та її подальшу еволюцію.

Облицювальний природний камінь продовжує залишатися одним із найбільш популярних та естетичних матеріалів у галузі будівництва та архітектури протягом століть. Його неперевершена довговічність, природна краса та міцність роблять його першим вибором для створення як монументальних, так і вишуканих будівель.

Однак, при відновленні старовинних будівель чи створенні нових архітектурних шедеврів, збереження або відтворення первісного кольору каменю стає великим викликом. Під впливом часу, атмосферних явищ та інших зовнішніх факторів кольорова палітра каменю може змінюватися.

Одним з методів корекції кольору каменю є його хімічна обробка. Агресивне середовище можуть активувати певні мінерали у складі породи, спричиняючи зміни у її кольорі. Однак, не всі породи однаково реагують на хімічний вплив, тому для ефективного використання цього методу потрібно мати глибокі знання геології та мінералогії.

Саме завдяки цим знанням спеціалісти можуть обирати оптимальні умови обробки для кожної конкретної породи, забезпечуючи не лише бажаний відтінок, але й зберігаючи при цьому фізичні та механічні властивості каменю. Такий підхід гарантує створення довговічних, естетичних і надійних споруд, що гідно вписуються в архітектурний контекст та історію місцевості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Декоративність природного каменю, спільно з його експлуатаційними характеристиками якості, визначає його цінність та межі раціонального використання. Однією з важливих властивостей для визначення декоративних якостей є стійкість кольору каменю, проте ця характеристика може значно коливатися. [1].

У дослідженні [2], використовуючи цифрову обробку зображень, було проаналізовано вплив високих температур на властивості каменю. Підвищення температури призводить до зменшення ваги каменю. Застосовуючи метод чорно-білої цифрової обробки зображень, було вивчено вплив вивітрювання та дії солей на камінь, і виявлено світлі області на його поверхні [3]. Інформаційно-комп'ютерні технології широко використовуються в галузі видобутку та обробки каменю. У дослідженнях [4–6] продемонстрована можливість введення зображень поверхні промислових зразків облицювального каменю в обчислювальне середовище сучасних електронних обчислювальних машин. Це відкриває можливості використання всього потенціалу обчислювальних методів цифрової обробки відеозображень для розв'язання конкретних завдань гірничої промисловості.

Традиційні методи вивчення поверхні за допомогою лабораторного мікроскопа мають свої недоліки, пов'язані з ручною працею під час вимірювань та обробки результатів. Такі дослідження та вимірювання, як правило, здійснюються шляхом спостереження за поверхнею обраних зразків природного каменю. Щоб визначити механічні властивості каменю, необхідно використовувати інформаційно-комп'ютерні технології обробки відеозображень, що дозволяє уникнути недоліків класичних методів і покращити точність та ефективність досліджень.

Крім того, багато досліджень спрямовані на вивчення впливу різноманітних атмосферних та агресивних факторів [7–8], а також на розробку методів визначення колірних координат. Однак варто зазначити, що дослідженню впливу температури на декоративні властивості натурального каменю приділяється недостатньо уваги.

**Мета.** Визначити вплив агресивного середовища на зміну кольору природного облицювального каменю.

**Викладення основного матеріалу.** У цьому дослідженні детально розглядався вплив агресивного середовища на кольорові характеристики природного каменю. Об'єктами дослідження стали зразки облицювальних каменів, а саме: лабрадорит Кам'янобрудський, габро Букинське, гранодіорит Покостівський, і граніт Капустинський. Експерименти з визначенням змін кольору природного каменю проводилися при температурі 20 °C у агресивних середовищах, таких як гідроксид натрію (NaOH) з концентрацією 40 г/л, сірчана кислота (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – 40 г/л, і амоній хлористий (NaCl) – 40 г/л. Загальна тривалість впливу становила 50 діб.

Перед тим, як розмістити зразки природного каменю в агресивному середовищі, їх поліровану поверхню сканували за допомогою цифрового сканера. Також вимірювалася середня величина блиску полірованої поверхні за допомогою блискоміра БФ-3. Зразки природного каменю піддавалися впливу агресивних розчинів, і кожні 240 годин проводилися повторні виміри блиску та кольору.

Перед кожним новим вимірюванням кольорових характеристик та блиску природного каменю їх ретельно промивали дистильованою водою і сушили. У випадку появи білих плям на поверхні каменю після висихання, їх уважно витирали вологою серветкою. Скановані цифрові зображення піддавалися обробці у спеціалізованих графічних програмах з метою отримання кольорових координат поверхні природного каменю. Оцінювалася середня величина колірної різниці за системою CIE Lab.

З графіків, наведених на рисунку 1, можна визначити, що корозія та зміна кольору поверхні природного каменю відбувалися по-різному для різних типів гірських порід. Спостереження за витримкою гірських порід у агресивному розчині вказує на зміну кольорових координат полірованої поверхні природного каменю з часом. Особливо варто зазначити, що найбільш значущі зміни кольорових координат спостерігаються у габро, де швидкість змін становить 0,0198 координат на годину при витримці зразків у агресивному розчині протягом 720 годин. Це пояснюється великим вмістом рудних мінералів в габро, які утворюють рудні плями на поверхні каменю.

На поверхні лабрадоритів теж з'являлися руді плями, швидкість зміни кольорових координат склала 0,0111 коорд-год<sup>-1</sup> при витримці зразків в агресивному розчині 960 год. Зі збільшенням часу впливу

агресивного розчину на поверхню природного каменю спостерігається збільшення швидкості зміни кольору (рис 1), це можна пояснити процесом корозії полірованої поверхні природного каменю. Виколі та каверни на полірованій поверхні збільшують площу взаємодії агресивного розчину з каменем.

Відмінності у швидкостях зміни кольорових координат між габро та лабрадоритом можна пояснити тим, що габро містить значну кількість піроксену ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}_2$ ,  $\text{Fe}_2$ ,  $\text{Mn}$ )[ $\text{Si}_2\text{O}_6$ ], а саме 25–30 %. У той час як лабрадорит містить цей мінерал у менших кількостях, менше 10 %. Піроксен, через свою структуру, стає вразливим до розшарування під час корозії.

Букинське габро проявляє значний розкид рудних мінералів (ільменіт, гематит, магнетит, пірит) по поверхні. Ці мінерали, вперше діючи агресивною рідиною, окислилися та почали розпадатися, що викликало прискорену корозію.

Інтенсивність зміни кольору у зразках габро перевищує на 1,6 рази ту, яку спостерігаємо у лабрадориті.

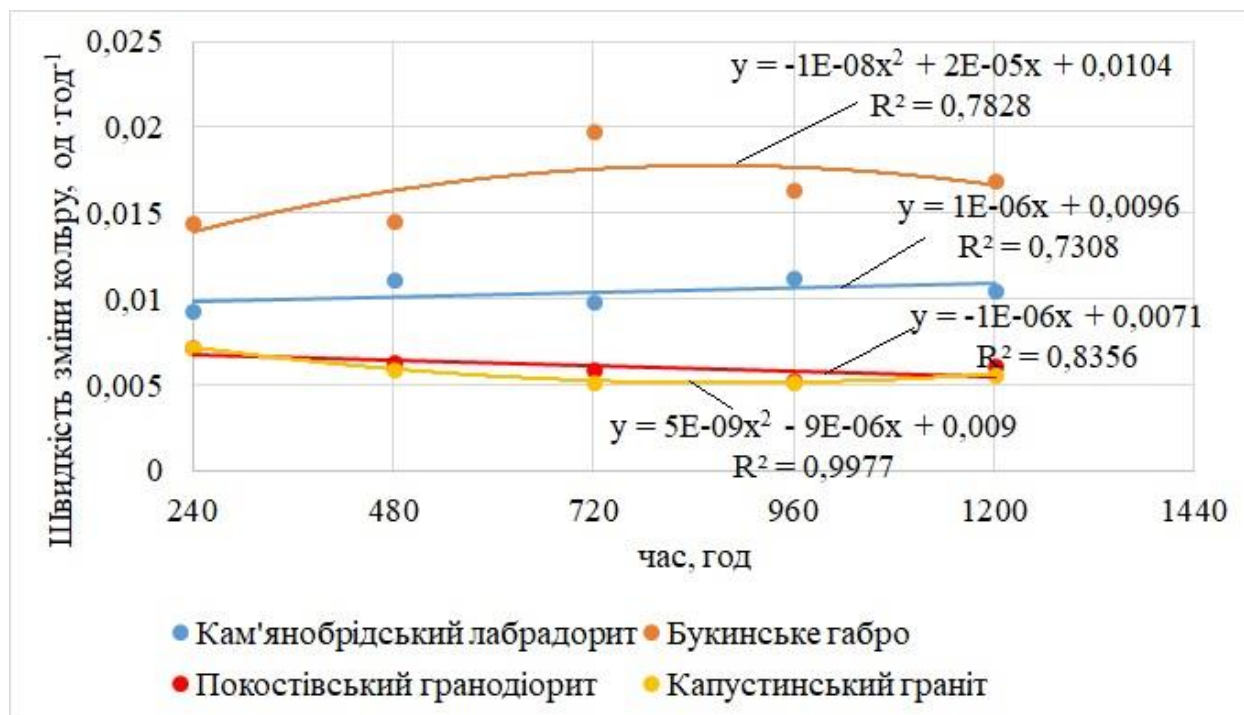


Рис. 1. Залежності змін кольорного забарвлення полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї кислого середовища

Під час візуального огляду лабрадориту та габро виявлені зміни кольору на поверхні дослідних зразків:

- у зразках габро чорний колір перетворився на сірий;
- у зразках лабрадориту в областях спайок плагіоклазів з'явилися білі плями, а плагіоклази з домішками хлориту і рудними прожилками також стали білішими.

Кислі гірські породи мало зазнали змін у кольорі під впливом агресивного розчину, і швидкість зміни кольору гранітів понизилася. Проте, витримка зразків каменю в кислому розчині протягом більше ніж 960 годин призвела до прискореної зміни кольору. Аналіз графіку показує, що граніти виявилися більш стійкими до кислого розчину, ніж габро та лабрадорити.

Капустинський граніт виявився більш стійким до корозії кислого розчину, ніж гранодіорит, і це може бути пов'язано з їхнім мінеральним складом [9, 10]. Гранодіорит, який містить проміжне значення кварцу між гранітами і діоритами, може бути однією з причин, а також недостатньо полірована поверхня (коефіцієнт відбиття становить 69,4).

При візуальному огляді Покостівського гранодіориту виявлені зміни у вигляді світло-сірого забарвлення та матовості поверхні. Виявлено відсутність виколів, а сам колір граніту став менш насиченим.

Результати вивчення та аналізу графіків для порід, які були витримані в лужному розчині, вказують на такі висновки. Під впливом лужного розчину швидкості зміни кольору для обох груп порід (основних і кислих) спочатку знижувалися з часом впливу (рис. 2). Вплив лужного агресивного середовища був більш помітний для лабрадориту та габро. Швидкість зміни кольору для лабрадориту та габро збільшувалася протягом перших 480 годин, а потім почала зменшуватися.

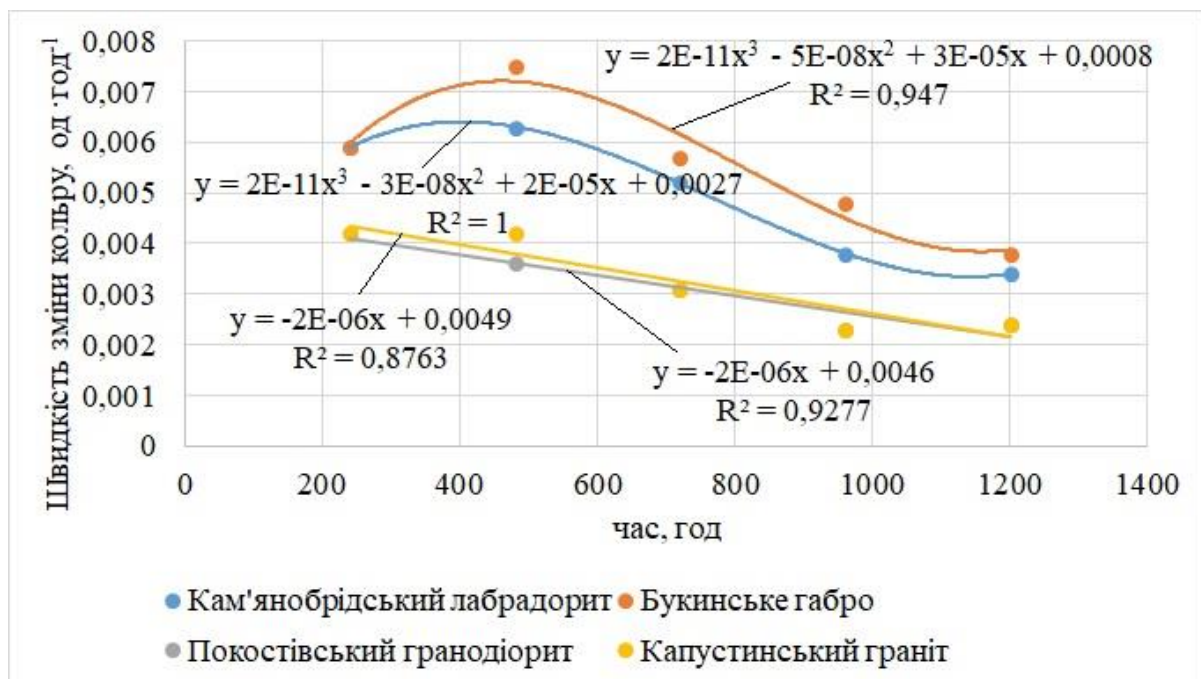


Рис. 2. Залежності швидкостей зміни кольорного забарвлення полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї лужного середовища

Під час візуального огляду було виявлено появу бурих плям на поверхні лабрадориту і габро, а також невелике потемніння граніту і гранодіориту.

У сольовому розчині швидкості втрати кольору в породах основного складу знижувалися, що свідчило про майже відсутність змін у кольорі (рис. 3). У лабрадориту після 960 годин спостерігалось зростання швидкості зміни кольору на 12 %, що було відзначено появою бурих плям на місцях рудного включення.

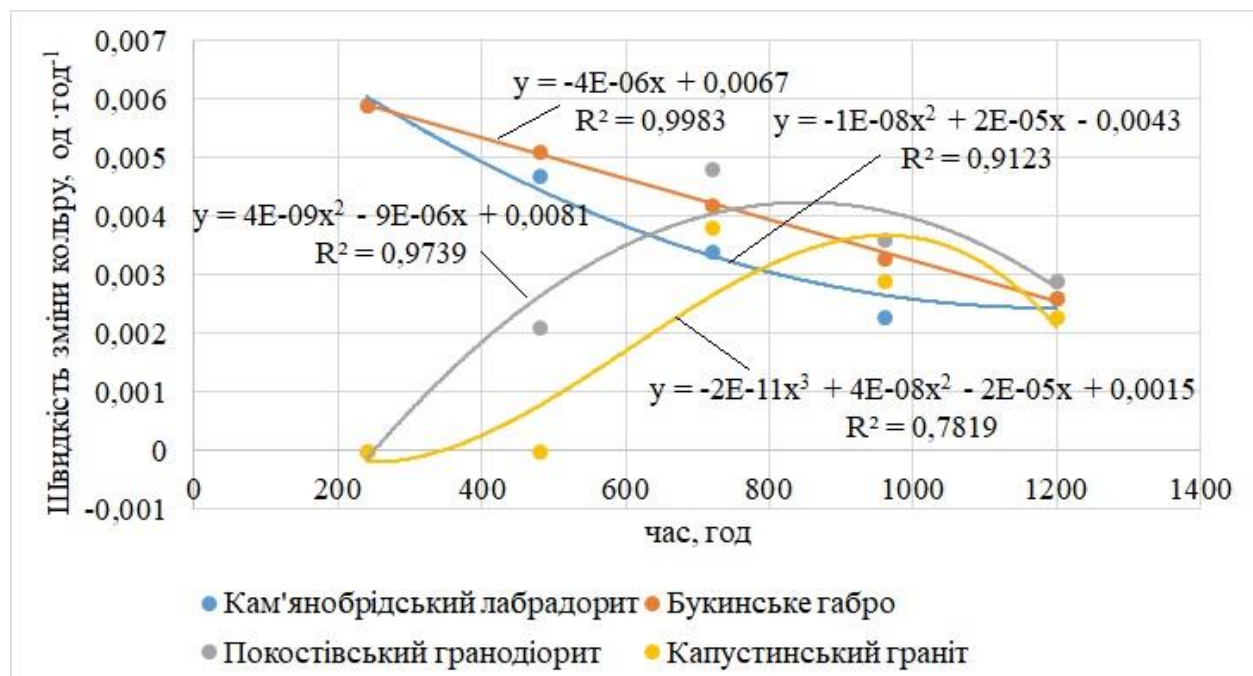


Рис. 3. Залежності зміни кольорного забарвлення полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї сольового середовища

Гранодіорит і граніт спочатку не виявляли жодної швидкості зміни кольору, але пізніше ця швидкість трошки зросла, вказуючи на початок змін у кольорі. В результаті візуального огляду було виявлено появу бурих плям на поверхні лабрадориту і габро; гранодіорит і граніт трохи здавалися пожовклі. У лужному

середовищі спостерігається цікавий характер кривих для гранодіориту і граніту, а габро в сольовому середовищі. Важко пояснити цю нестабільність, імовірно, через процеси на складному мінерало-хімічному рівні.

#### Висновки.

1. За результатами проведених досліджень встановлено, що ключові зміни у кольорі облицювальних поверхонь каменю відбуваються протягом перших 30 днів (720 годин) для порід основного складу. Цей факт вказує на обов'язковість урахування даного періоду при плануванні робіт.

2. Під впливом агресивних розчинів на породи основного складу, протягом 720 годин, найбільше зниження показників блиску спостерігається при взаємодії з кислим розчином, а саме на 26 одиниць, тоді як найменший вплив має сольовий розчин, зменшуючи блиск лише на 3,7 одиниці. У породах кислого складу сольовий розчин підвищує блиск на 3,3 одиниці.

3. Виявлено, що найвища швидкість зміни колірною забарвлення каменю є характерною для порід, в основному складених з темних мінералів. Породи, такі як лабрадорит та габро, рекомендується застосовувати в сферах будівництва, де вплив сонячної радіації, вітру та вологи є мінімальним. Залежність зміни параметрів L, a в колориметричній системі CIE Lab від часу взаємодії з кислим, лужним та сольовим розчинами може бути описана лінійними функціями.

4. Швидкість зміни колірною відтінку в кислому середовищі перевищує в 5 разів швидкість у лужному та в 6,5 разів – у сольовому для габро. Для лабрадориту аналогічні відношення становлять відповідно 3,5 та 4 рази. У випадку гранодіориту швидкість зміни колірною відтінку в кислому середовищі перевищує в 2,5 рази швидкість у лужному, а для граніту – в 2,3 рази.

#### References:

1. Korobiichuk, I., Shamrai, V., Korobiychuk, V., Nowicki, M. & Szewczyk, R. (2015), «The study of the influence of natural stone surfaces polishing by different methods on the hues of lightness», *11th International Conference «Mechatronic systems and materials»*, pp. 105–106.
2. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Levyskyi V., Sobolevskyi R. & Sydorov O. (2018), «Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment from the Ukraine by mechanical and chemical methods», *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin and the authors*, No. 33 (4), pp. 15–22, doi: 10.1177/rgn.2018.4.2.
3. Korobiichuk, I., Korobiychuk, V., Nowicki, M., Shamrai, V., Skyba, G. & Szewczyk R. (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction & Building Materials*, No. 114, pp. 241–247.
4. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Iziyova, O., Tolkach, O., & Sobolevskyi, R. (2016), «Definition of hue of different types of Pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4(5(82)), pp. 52–57, [Online], available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.74849>
5. Dawei, W., Xianhua, C., Markus, O., Helge, S., & Bernhard, S. (2014), «Study of micro-texture and skid resistance change of granite slabs during the polishing with the Aachen Polishing Machine», *Wear*, No. 318(1-2), pp. 1–11, [Online], available at: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2014.06.005>
6. Hideo, A., Hidetoshi, T., Seong-Woo, K., Natsuko, A., Koji, K., Tsutomu, Y., & Toshiro, D. (2014), «Evaluation of sub-surface damage in GaN substrate induced by mechanical polishing with diamond abrasives», *Applied Surface Science*, No. (292), pp. 531–536, [Online], available at: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.12.005>
7. Yavuz, H., Ozkahraman, T., & Demirdag, S. (2011), «Polishing experiments on surface quality of building stone tiles», *Construction and Building Materials*, No. 25 (4), pp. 1707–1711, [Online], available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.10.016>
8. Gupta, U., Singh, V.K., Kumar, V., & Khajuria, Y. (2015), «Experimental and theoretical spectroscopic studies of calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>)», *Materials Focus*, No. 4 (2), pp. 164–169, [Online], available at: <https://doi.org/10.1166/mat.2015.1233>
9. Korobiichuk, V.V., Zhukov, S.O. & Astakhov, V.I. (2011), «Vplyv tekhnolohichnykh chynnykiv na yakist lytsiuvalnoho kameniu», *Visnyk KTU*, No. 28. pp. 108–111.
10. Derevianko, O.V. & Podchashynskyi, Yu.O. (2008), «Kontrol yakosti poverkhni oblytsiuvalnoho pryrodnoho kameniu na osnovi fraktalnoi obrobky videoinformatsii», *Vostochno-Evropskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy*, No. 5/2 (35), pp. 38–44.

**Сидоров** Олександр Миколайович – доктор філософії, інженер.

Наукові інтереси:

- фізико-механічні властивості природного декоративного каменю;
- переробка відходів гірничого виробництва.

**Кальчук** Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-3179-2787>.

Наукові інтереси:

- фізико-механічні властивості природного декоративного каменю;
- моделювання процесів гірничого виробництва.

**Колодій** Марина Анатоліївна – старший викладач кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка».  
<https://orcid.org/0000-0001-5133-552X>.

Наукові інтереси:

- фізико-механічні властивості природного декоративного каменю;
- гідравліка.

**Жуков** Сергій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри відкритих гірничих робіт Криворізького національного університету.

Наукові інтереси:

- видобування блочного природного каменю;
- відкриті гірничі роботи.

**Костенко Віктор Климентович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри природоохоронної діяльності Донецького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

<https://orcid.org/0000-0001-8439-6564>.

- екологічні наслідки гірничих робіт;
- утилізація відходів.

**Sydorov O.M., Kalchuk S.V., Kolodii M.A., Zhukov S.O., Kostenko V.K.**

#### **Study of the impact of aggressive environment on the color discoloration of stone surfaces**

In this study, the impact of aggressive environments on the color characteristics of natural stone was thoroughly investigated. The research focused on samples of facing stones, namely: Kamyanobridsky labradorite, Bukynske gabbro, Pokostivsky granodiorite, and Kapustinsky granite. Experiments to determine the color changes of natural stone were conducted at a temperature of 20 °C in aggressive environments such as sodium hydroxide (NaOH) with a concentration of 40 g/L, sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – 40 g/L, and ammonium chloride (NaCl) – 40 g/L. The overall exposure duration was 50 days.

Before placing the natural stone samples in an aggressive environment, their polished surface was scanned using a digital scanner. The average gloss value of the polished surface was also measured using a gloss meter BF-3. The natural stone samples were exposed to aggressive solutions, and measurements of gloss and color were taken every 240 hours.

Prior to each new measurement of color characteristics and gloss of natural stone, they were thoroughly rinsed with distilled water and dried. In case of the appearance of white spots on the stone surface after drying, they were carefully wiped with a damp cloth. Scanned digital images were processed in specialized graphic programs to obtain color coordinates of the natural stone surface. The average value of color difference in the CIELab system was evaluated.

As a result of the conducted research, it was determined that key changes in the color of stone facing surfaces occur within the first 30 days (720 hours) for rocks of the primary composition. This indicates the necessity of considering this period in project planning. Under the influence of aggressive solutions on rocks of the primary composition, during 720 hours, the most significant reduction in gloss indicators was observed when interacting with an acidic solution, specifically by 26 units, while the least impact was from the saline solution, reducing gloss by only 3.7 units. In rocks of acidic composition, the saline solution increased gloss by 3.3 units.

**Keywords:** aggressive environment; color; natural stone; rock-forming minerals.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2023.