

Державний університет «Житомирська політехніка»
Міністерства освіти і науки України
Державний університет «Житомирська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Сидоров Олександр Миколайович

УДК 622.35

ДИ С Е Р Т А Ц І Я

**КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ЛИЦЬОВОЇ ПОВЕРХНІ ПРИРОДНОГО
КАМЕНЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ**

Спеціальність 184 – Гірництво

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О. М. Сидоров

Науковий керівник Коробійчук Валентин Вацлавович, д.т.н., професор

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Сидоров О. М. Керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-хімічних методів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю **184 Гірництво.** – Державний університет «Житомирська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Житомир, 2020.

Природний камінь створює певний колорит міської забудови, додає будівлям особливого значення, допомагає виділити роль громадських будівель в міських ансамблях, підкреслює їх монументальність і довговічність. Він прекрасно поєднується з новими архітектурними формами, де його властивості оцінюються по-новому. Важливим фактором вибору природного каменю є однорідність лицьовальних виробів за кольором та відтінком. Виготовити одну партію природного каменю однорідною за кольором та відтінком іноді буває не можливо. Тому що навіть в межах одного блоку природного каменю сляби мають різний відтінок кольору. Колір природного каменю однієї торгової марки може змінюватися в межах одного кар'єру. Відомо, що з глибиною кар'єру колір природного каменю темніє, а зерна мінералів зменшуються в розмірі.

Разом з тим існує проблема вибору природного каменю при реставрації будівель, так як більшість родовищ природного каменю перестали існувати або кар'єри відпрацювали запаси даної торгової марки природного каменю. При реставрації враховують антропогенну діяльність, яка викликає забруднення повітря та є одним із основних факторів, що відповідає за руйнування археологічних та історичних кам'яних пам'яток. При корозії природний камінь змінює колір. В цьому випадку ділянкам фасаду будівель з природного каменю, які реставруються необхідно надавати подібний колір всього фасаду. В іншому випадку реставрована частина фасаду буде візуально виділятися.

Вплинути на колір природного каменю можливо фізико-хімічними методами. Наприклад помістити лицьовальний камінь в концентрований

агресивний розчин, який за складом буде наближений до атмосферного повітря того регіону де знаходиться споруда. Декоративні властивості природного каменю можна змінювати хімічними сполуками. Хімічні розчини можуть створювати захисний шар на поверхні природного каменю, змінювати колір та блиск.

Є багато інших фізико-хімічних методів, які здатні впливати на декоративні властивості природного каменю при його виготовленні. Але на жаль дані методи мало вивчені в науці.

Дослідження показали, що для зразків природного каменю найбільш доцільно використовувати одну з колориметричних систем, яка дозволяє окремо обробляти значення яскравості та кольору дискретних точок відеозображення. Це може бути стандартна колориметрична система HSV або CIELAB.

Колориметричні вимірювання можуть носити як самостійний характер так і бути складовою частиною геометричних вимірювань. Враховуючи те, що структурні елементи поверхні відрізняються один від одного і від фону за кольором або яскравістю, тому колориметричні вимірювання є складовою частиною проведення геометричних вимірювань на відеозображеннях зразків. Геометричні вимірювання структурних елементів поверхні здійснюються на основі визначення для дискретних точок відеозображення розбіжностей за яскравістю (для ахроматичних поверхонь гірських порід) або розбіжностей за кольором (для хроматичних поверхонь гірських порід).

Для виявлення впливу агресивного середовища на декоративні показники природного каменю, зразки Кам'янобрідського лабрадориту, Букинського габро, Покостівського гранодіориту, Капустинського граніту поміщали в кислі, лужні та сольові розчини на 50 діб. Були отримані значення показників кольору колориметричної системи CIELab від часу впливу агресивних розчинів.

Найбільша швидкість зміни колірної забарвлення каменю притаманна породам, основна частина яких складена з темноколірних мінералів. Такі породи, як лабрадорит та габро доцільно використовувати в тій частині

будівель, де вплив сонячної радіації, вітру та вологи мінімальний. Залежність зміни показників L , a , b колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого, лужного, сольового розчину описується лінійними функціями на відрізьку часу від 0 до 1200 год.

Швидкість зміни колірнього забарвлення в кислому середовищі у габро більша в 5 разів, ніж в лужному, та в 6,5 разів ніж в сольовому. Швидкість зміни колірнього забарвлення в кислому середовищі у лабрадориту більша в 3,5 разів більша, ніж в лужному і в 4 рази, ніж в сольовому. Швидкість зміни колірнього забарвлення в кислому середовищі у гранодіориту більша в 2,5 разів, ніж в лужному. Швидкість зміни колірнього забарвлення в кислому середовищі у граніту більша в 2,3 разів, ніж в лужному.

Залежність зміни показника блиску поверхні природного каменю від часу впливу кислого, лужного та сольового розчинів описується лінійними функціями. Найбільша зміна блиску відбувається в кислому середовищі для Кам'янобрідського лабрадориту та Букинського габро. Лужний розчин має найменший вплив на зміну показника блиску.

При проведенні досліджень було виявлено гідрофобність полірованої поверхні зразків Покостівського, Корнинського, Капустинського, Межирічинського родовищ природного каменю. Були визначені крайові кути розтікання фарби на спиртовій та водній основі та води на полірованій поверхні каменю. Встановлено величину розтікання фарби після її нанесення на камінь. З'ясовано, що розтікання залежить від кольору фарби.

Найбільше розтікання фарби спостерігається на поверхні Покостівського гранодіориту, найменше розтікання спостерігається на поверхні Лезниківського граніту.

При хімічній обробці на різних видах природного каменю блиск збільшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 0,5 до 9,2 од., при обробці засобом Leznik – від 0,7 до 7,5 од., при обробці засобом Tenax Easywet – від 0,3 до 12,7 од., при обробці засобом Kristalizer – від 0 до 3,8 од.

При хімічній обробці на різних видах природного каменю світлота

зменшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 2 до 14 %, при обробці засобом Leznik – від 0 до 12 %, при обробці засобом Tenax Easywet – від 1 до 10 %, при обробці засобом Kristalizer – від 1 до 9 %.

Експериментально досліджувалися зразки з чотирьох лабрадоритових родовищ, одного родовища габро та чотирьох родовищ гранітів. Випробування зразків природного каменю проводилося високими температурами від 200 до 900 °С. Всі представлені зразки показали зміну кольору поверхні при температурі від 300 °С і вище.

Цифрова обробка зображень зразків лабрадориту та габро показала, що окислення мінералів, що містять Fe^{2+} відбувається постійно. При температурах до 600 °С цей процес в більшості зразків лабрадориту та габро відбувається повільно. При температурі більше 600 °С окислення металів відбувається більш інтенсивно. Руді плями на поверхні зразків є результатом окислення сполук металу Fe^{2+} , в зразках з різних родовищ природного каменю вони покривають різну площу поверхні зразка природного каменю в межах 2–60 %. Залежність площі прояву рудих вкраплень на поверхні зразків лабрадориту від температури нагрівання описується ступеневими функціями.

При нагріванні всі зразки природного каменю світлішають до 62 % показника L колориметричної системи CIELab, це пов'язано з фазовим переходом мінералів. Залежність компоненти L колориметричної системи CIELab поверхні зразків лабрадориту, Покостівського гранодіориту та Межиріченського граніту від температури нагрівання описуються поліномами другого порядку. Для зразків Капустинського, Корнинського гранітів, Букинського габро ця залежність описується лінійними функціями.

Залежність швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі в зразках лабрадоритів від температури майже однакова. В середньому відбувається зниження швидкості ультразвукової хвилі на 80 % від початкових значень при нагріванні зразків до температури 900 °С. При температурі 700–900 °С в більшості зразках лабрадориту спостерігається зниження падіння швидкості ультразвукової хвилі. Це пояснюється досягненням критичного значення

кількості тріщин в досліджуваних зразках. Залежність швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в зразках лабрадоритів від температури описується поліномами другого порядку.

Залежність компонент а, b колориметричної системи CIE_{Lab} поверхні зразків природного каменю від температури нагрівання описуються поліномами другого порядку.

При нагріванні показники блиску полірованої поверхні зразків лабрадориту змінювалися по-різному. При нагріванні лабрадориту до 900 °С зразки Очеретянського лабрадориту втратили 11,21 % блиску, Невирівського – 4,03 %, Осниківського – 33,57 %, Катеринівського – 15,3 %. У лабрадоритів залежність значення блиску поверхні від температури описується лінійними функціями, а у гранітів та габро поліномами другого порядку.

Зниження міцності на стиск природного каменю залежно від температурного впливу описується лінійними функціями для гірських порід Букинського габро та Постівського гранодіориту.

Ключові слова: цифрове зображення природного каменю, агресивне середовище, високі температури, декоративність природного каменю, мінеральний склад, структура природного каменю, фізико-хімічні методи впливу, колір облицювальних виробів.

ABSTRACT

Sydorov O. M. Quality management of the natural stone face surface using physical and chemical methods. - Qualified scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty **184 Mining.** - Zhytomyr Polytechnic State University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Zhytomyr, 2020.

Natural stone creates a certain flair of urban development, gives buildings special significance, helps to highlight the role of public buildings in urban ensembles, emphasizes their monumentality and durability. It is perfectly combined with new architectural forms, where its properties are evaluated in a new way. An important factor in choosing natural stone is the uniformity of facing products in color and hue. Sometimes, it is not possible to make one batch of natural stone uniform in color and shade. Because, even within a single block of natural stone, slabs have different shades of color. The color of natural stone of the same brand can change within a single quarry. It is known that with the depth of the quarry, the color of natural stone darkens, and the grains of minerals decrease in size.

However, there is a problem with choosing natural stone for the restoration of buildings, since most natural stone deposits have ceased to exist or quarries have exhausted the reserves of this trademark of natural stone. The restoration takes into account anthropogenic activities that cause air pollution and is one of the main factors responsible for the destruction of archaeological and historical stone monuments. When corrosion occurs, natural stone changes its color. In this case, sections of the facade of buildings made of natural stone that are being restored must be given a similar color to the entire facade. Otherwise, the restored part of the facade will show up visually.

It is possible to influence the color of natural stone by physical and chemical methods, for example, to place the facing stone in a concentrated aggressive solution, which in composition will be close to the atmospheric air of the region where the structure is located. Decorative properties of natural stone can be changed by

chemical compounds. Chemical solutions can create a protective layer on the surface of natural stone, change the color and luster.

There are many other physical and chemical methods that can affect the decorative properties of natural stone in its manufacture. Unfortunately, these methods are not well studied in science.

Research has shown that for samples of natural stone, it is most appropriate to use one of the colorimetric systems, which allows processing the brightness and color values of discrete video image points separately. This can be a standard HSV or CIELAB colorimetric system.

Colorimetric measurements can be either independent or part of geometric measurements. Providing that structural elements of the surface differ from each other and from the background in color or brightness, colorimetric measurements are an integral part of performing geometric measurements on video images of samples. Geometric measurements of surface structural elements are performed based on the determination of brightness differences (for achromatic rock surfaces) or color differences (for chromatic rock surfaces) for discrete video image points.

To detect the influence of aggressive environment on the decorative characteristics of natural stone, samples of Volga Blue labradorite (Kamianobridske deposit), Galaxy Black gabbro (Bukinske deposit), Grey Ukraine granodiorite (Pokostivske deposit), Rosso Santiago granite (Kapustynske deposit) were placed in acid, alkaline and salt solutions for 50 days. The values of color indicators of the CIELab colorimetric system were obtained from the time of exposure to aggressive solutions.

The highest rate of change in the color of the stone is inherent in rocks, the main part of which is made up of dark-colored minerals. Such rocks as labradorite and gabbro should be used in the part of buildings where the influence of solar radiation, wind and moisture is minimal. The dependence of changes in the indicators L , a , b of the colorimetric CIELab system on the time of exposure to acid, alkaline, salt solution is described by linear functions over a time interval from 0 to 1200 hours.

The rate of color change in an acidic environment for gabbro is 5 times higher than in an alkaline one, and 6.5 times higher than in a saline one. The rate of color change in an acidic environment for labradorite is 3.5 times higher than in an alkaline one and 4 times higher than in a salt one. The rate of color change in an acidic environment for granodiorite is 2.5 times higher than in an alkaline one. The rate of color change in an acidic environment for granite is 2.3 times higher than in an alkaline one.

The dependence of the change in the luster index of the natural stone surface on the time of exposure to acid, alkaline and salt solutions is described by linear functions. The greatest change in the luster occurs in the acidic environment for the Volga Blue labradorite (Kamianobridske deposit) and Galaxy Black gabbro (Bukinske deposit). The alkaline solution has the smallest effect on the change in the luster index.

During the research, the hydrophobicity of the polished surface of samples of Pokostivske, Korninske, Kapustynske, Mezhirichynske deposits of natural stone was revealed. The edge angles of spreading of alcohol-based and water-based paint and water on the polished surface of the stone were determined. The amount of paint spreading after its application to the stone is established. It was found that the spreading depends on the color of the paint.

The greatest spreading of paint is observed on the surface of Grey Ukraine granodiorite (Pokostivske deposit), less spreading is observed on the surface of Maple Red granite (Leznykivske deposit).

When chemical processing on various types of natural stone, the luster increases: when processing with Gabbro+ – from 0.5 to 9.2 units, when processing with Leznik – from 0.7 to 7.5 units, when processing with Tenax Easywet – from 0.3 to 12.7 units, when processing with Kristalizer – from 0 to 3.8 units.

When chemical processing on various types of natural stone lightness decreases: when processing by means of Gabbro+ – from 2 to 14 %, when processing by means of Leznik – from 0 to 12 %, when processing by means of Tenax Easywet - from 1 to 10 %, when processing by means of Kristalizer – from 1 to 9 %.

Samples from four labradorite deposits, one gabbro deposit and four granite deposits, were studied experimentally. Natural stone samples were tested at high temperatures from 200 to 900 °C. All the samples presented showed a change in surface color at temperatures from 300 °C and above.

Digital image processing of labradorite and gabbro samples showed that the oxidation of minerals containing Fe^{2+} occurs constantly. At temperatures up to 600 °C, this process is slow in most labradorite and gabbro samples. At temperatures above 600 °C, metal oxidation is more intense. Red spots on the surface of samples are the result of oxidation of Fe^{2+} metal compounds, in samples from different natural stone deposits, they cover a different surface area of the natural stone sample within 2-60 %. The dependence of the area of red inclusions on the surface of labradorite samples on the heating temperature is described by step functions.

When heated, all samples of natural stone lighten to 62 % of the L index of the CIELab colorimetric system; this is due to the phase transition of minerals. The dependence of the L component of the CIELab colorimetric system of surface samples of labradorite, Grey Ukraine granodiorite (Pokostivske deposit) and Flower of Ukraine granite (Mezhyrichenske deposit) from temperature are described by polynomials of second order. For samples of Rosso Santiago (Kapustynske), Leopard (Korninske) granites, and Galaxy Black (Bukinske) gabbro, this dependence is described by linear functions.

The dependence of the speed of propagation of the ultrasonic wave in labradorite samples on the temperature is almost the same. On average, the speed of the ultrasonic wave decreases by 80 % from the initial values when the samples are heated to a temperature of 900 °C. At a temperature of 700-900 °C, most labradorite samples show a decrease in the drop in the speed of the ultrasonic wave. This is due to the achievement of a critical value of the number of cracks in the studied samples. The dependence of the velocity of propagation of ultrasonic waves in labradorite samples on temperature is described by second-order polynomials.

The dependence of components a, b of the CIELab colorimetric system on the surface of natural stone samples on the heating temperature is described by second-

order polynomials.

When heated, the luster indicators of the polished surface of labradorite samples varied in different ways. When heated, labradorite up to 900 °C samples of Galactic Blue labradorite (Ocheretianske deposit) lost 11,21% of its luster, Black Ice (Nevyrivske deposit) – 4.03 %, Irina Blue (Osnykivske deposit) – 33,57 %, Galaxy Lights (Katerinivske deposit) – 15.3 %. In terms of labrodarite, the dependence of the surface luster value on temperature is described by linear functions, and in granites and gabbro – by second-order polynomials.

The decrease in compressive strength of natural stone depending on the temperature effect is described by linear functions for rocks of Galaxy Black gabbro and Grey Ukraine granodiorite.

Keywords: digital image of natural stone, aggressive environment, high temperatures, decorative nature of natural stone, mineral composition, structure of natural stone, physical and chemical methods of influence, color of facing products.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці в яких опубліковані основні наукові результати дисертації.

Статті у фахових виданнях:

1. Samedov A.M. Stressed-deformed state of mountain rocks in elastic stage and between elasticity / A.M. Samedov, V.V. Vapnichna, V.O. Shlapak, O.M. Sidorov. *Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки*. 2017. Том. 1. №2 (80). С. 181–188. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
2. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / V.V. Korobiichuk, O.M. Sidorov, R.V. Sobolevskiy, V.O. Shlapak, A.O. Kryvorushko. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2017. № I (79). С.182–190. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
3. Взаємодія фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю / І. В. Леонець, О. М. Сідоров, Д. С. Янович, С. О. Заруцький, О. М. Чала. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 1 (81). С. 261–268. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
4. The influence of moisture on the colour characteristics of natural stone / V.V. Korobiichuk, R.V. Sobolevskiy, O.M. Sydorov, V.I. Shamrai, V.O. Shlapak // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С. 247–252. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
5. Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure / V. Korobiichuk, V. Shlapak, R. Sobolevskiy, O. Sydorov, L. Shaidetska. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. № 1/12 (97). С. 14–20. (входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus).
6. Оцінка впливу високої температури на облицювальний камінь з міцних

гірських порід / В. В. Коробійчук, В. І. Шамрай, О. М. Сидоров, С.О. Заруцький. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 1 (83). С. 241–250. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).

Статті у закордонних збірниках наукових праць:

7. Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment of Ukraine by mechanical and chemical methods / V. Korobiichuk, O. Shamrai, V. Levytskyi, R. Sobolevskyi, O. Sydorov. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2018. Т. 33. №. 4. С. 15–21 (входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus).

Праці які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

8. Зміна колірних показників природного каменю при його нагріванні / В.І. Шамрай, О.М. Сидоров, О. Недогібченко. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки 15–17 травня 2019 року*. – Житомир: ЖДТУ. 2019. С. 279.

9. Changes in the physical and decorative properties of natural stone under the influence of high temperatures V. Korobiichuk, V. Shlapak, V. Mamrai, O. Sydorov. *Матеріали II-гої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики» 29-31 травня 2019 року*. – Київ: КП «імені Ігоря Сікорського». 2019. С. 66–70.

10. Термічний вплив на фізико-механічні та декоративні властивості лабрадориту / О.М. Сидоров, С.О. Заруцький, В.В. Коробійчук. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства»*. – Кривий Ріг: ВНЗ «Криворізький національний університет». 2019.

С. 11

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН КАМЕНЕДОБУВНОЇ ТА КАМЕНЕОБРОБНОЇ ГАЛУЗЕЙ, МЕТА, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
1.1. Аналіз сучасного стану каменедобувної та каменеобробної галузей.....	21
1.2. Основні чинники, що формують якість видобутої корисної копалини.....	32
1.3. Методика дослідження декоративності природного каменю, якісних і кількісних параметрів готових виробів.....	42
1.4. Вивченість питання керування якістю облицювальних виробів в літературних джерелах.....	45
Висновки до розділу 1.....	50
Розділ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЯКІСТЬ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ	51
2.1. Дослідження впливу агресивного середовища на декоративність та якість продукції з природного каменю.....	51
2.2. Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю.....	65
2.3. Дослідження впливу агресивного середовища на поліровану фактуру каменю.....	73
Висновки до розділу 2.....	76
Розділ 3. ВПЛИВ НА ДЕКОРАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ.....	77
3.1. Взаємодія фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю.....	77
3.2. Оцінка ефективності обробки поверхонь природного каменю України хімічними методами.....	83
3.2.1. Методика проведення досліджень.....	83
3.2.2. Оцінка ефективності обробки поверхонь природного облицювального	

	15
каменю хімічними методами.....	87
Висновки до розділу 3.....	95
Розділ 4. КЕРУВАННЯ ДЕКОРАТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ТЕРМІЧНИМ ВПЛИВОМ	96
4.1. Зміна фізико-механічних та декоративних властивостей природного каменю при термічному впливі.....	96
4.1.1. Методика проведення дослідження.....	96
4.1.2. Результати оцінки впливу високих температур на декоративність природного каменю	99
4.1.3. Визначення площі поверхні зразків, яку займають окислений метал під час нагрівання	101
4.1.4. Оцінка світлоти поверхні зразків під час нагрівання природного каменю	104
4.1.5. Оцінка швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в зразках під час нагрівання лабрадориту	108
4.1.6. Оцінка блиску полірованої поверхні під час нагрівання природного каменю	109
4.2. Оцінка впливу високої температури на міцність облицювального каменю	115
4.3. Практичне застосування результатів.....	119
Висновки до розділу 4.....	123
ВИСНОВКИ	125
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	127
ДОДАТОК А.....	137
ДОДАТОК Б	139
ДОДАТОК В	140
ДОДАТОК Г	141

ВСТУП

Актуальність теми. Природний камінь створює певний колорит міської забудови, додає будівлям особливого значення, допомагає виділити роль громадських будівель в міських ансамблях, підкреслює їх монументальність і довговічність. Він прекрасно поєднується з новими архітектурними формами, де його властивості оцінюються по-новому. Важливим фактором вибору природного каменю є однорідність облицювальних виробів за кольором та відтінком. Виготовити одну партію природного каменю однорідною за кольором та відтінком іноді буває неможливо. Оскільки навіть в межах одного блоку природного каменю сляби мають різний відтінок кольору. Колір природного каменю однієї торгової марки може змінюватися в межах одного кар'єру. Відомо, що з глибиною кар'єру колір природного каменю темніє, а зерна мінералів зменшуються в розмірі.

Водночас існує проблема вибору природного каменю при реставрації будівель, оскільки більшість родовищ природного каменю перестали існувати або кар'єри відпрацювали запаси даної торгової марки природного каменю. При реставрації враховують антропогенну діяльність, що викликає забруднення повітря та є одним з основних факторів, що відповідає за розпад археологічних та історичних кам'яних пам'яток. При корозії природний камінь змінює колір. В цьому випадку ділянкам фасаду будівель з природного каменю, які реставруються, необхідно надавати подібний колір всього фасаду. В іншому випадку реставрована частина фасаду буде візуально виділятися.

Вплинути на колір природного каменю можливо фізико-хімічними методами. Наприклад помістити облицювальний камінь в концентрований агресивний розчин, який за складом буде наближений до атмосферного того регіону, де знаходиться споруда. Декоративні властивості природного каменю можна змінювати хімічними сполуками. Хімічні розчини можуть створювати захисний шар на поверхні природного каменю, змінювати колір та блиск.

Є багато інших фізико-хімічних методів, які здатні впливати на декоративні властивості природного каменю при його виготовленні. Але дані методи мало вивчені в науці.

Таким чином керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-хімічних методів є актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого дозволить значною мірою підвищити економічні, екологічні та технічні показники ефективності виробничої діяльності каменеобробних підприємств.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася на кафедрі розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка» в межах науково-дослідних робіт – «Розробка технології видобування блочного декоративного каменю дисковими машинами» (№ ДР 0119U101934), в якій автор брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є керування декоративними властивостями природного каменю на основі встановлення залежностей зміни декоративних та міцнісних характеристик природного каменю від інтенсивності фізико-хімічного впливу.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі поставлені та вирішені такі завдання:

- дослідити вплив агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю;
- оцінити ефективність обробки поверхонь природного декоративного каменю України хімічними методами;
- дослідити взаємодію фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю;
- встановити характер змін фізико-механічних та декоративних властивостей природного каменю при термічному впливі.

Об'єкт дослідження – процеси керування якістю поверхні облицювальних виробів з природного каменю.

Предмет дослідження – показники декоративності поверхні природного каменю, які змінюються під впливом фізико-хімічних методів.

Методи досліджень. У даній дисертаційній роботі використано такий комплекс сучасних наукових методів досліджень: аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень з оцінки якості природного каменю; лабораторні та промислові дослідження; статистичне опрацювання результатів із використанням засобів обчислювальної техніки; комп'ютерна обробка відеозображень облицювальних виробів з природного каменю.

Наукову новизну отриманих результатів представлено науковими положеннями, в яких вперше:

- встановлено, що при впливі агресивних розчинів на породи основного складу протягом 720 год показники блиску поверхні каменю найбільше знижує кислий розчин на 26 од., найменше – сольовий розчин на 3,7 од. В породах кислого складу сольовий розчин підвищує блиск на 3,3 од.;
- встановлено, що при нагріванні всі зразки природного каменю світліють, що супроводжується зростанням до 62 % показника L кольорової системи CIELab, водночас залежність компоненти L кольорової системи CIELab поверхні зразків лабрадориту, Покостівського гранодіориту та Межиріченського граніту від температури нагрівання описуються поліномами другого порядку, для зразків Капустинського, Корнинського гранітів, Букинського габро – ця залежність описується лінійними функціями;
- отримано закономірності зниження міцності Букинського габро та Покостівського гранодіориту на стиск залежно від температури нагрівання, які описуються лінійними функціями. При температурі 900 °С Букинське габро втрачає міцність на стиск 42,5 %; а Покостівський гранодіорит – 81 %.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено методику експериментального дослідження впливу агресивного середовища на декоративність та якість продукції з природного каменю, що дозволить змінити колір поверхні свіжого природного каменю до необхідного значення;

– встановлено та оцінено взаємодію фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю, що дає уявлення про взаємодію рідини з поверхнею природного каменю. Серед досліджуваних зразків найбільший кут змочування має Межирічинський граніт;

– розроблено методику оцінки стійкості природного каменю до високих температур, що дозволить змінити колір поверхні свіжого природного каменю до необхідного значення;

– практичні результати досліджень реалізовано в технологічних процесах ВПТОВ «Гранітдрев», ТОВ «ГАБРОГОР», з сумарним очікуваним економічним ефектом 359 тис. грн. на рік та у навчальному процесі Державного університету «Житомирська політехніка».

Обґрунтованість та вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується обсягом проведених натурних спостережень, використанням методів математичної статистики та обробки результатів вимірювань, відповідністю окремим результатам досліджень інших авторів, застосуванням обґрунтованих математичних моделей, позитивним ефектом упровадження результатів досліджень.

Особистий внесок здобувача в роботах, які написані у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: [1] – участь в проведенні експериментальних досліджень; [2] – зібрав та обробив статистичні дані; [3, 4] – сформульовано мету та завдання досліджень, взято участь в обґрунтуванні методики, проведенні досліджень та аналізі одержаних результатів; [6] – участь у проведенні дослідів та аналізі одержаних результатів; [7] – проведена комп'ютерна обробка зображень; [5, 8] – ідея, виконання експериментальних досліджень та аналіз результатів; [9, 11] – проведено обрахунок даних; [10] – сформульована ідея та методика дослідження.

Основні положення дисертаційної роботи та окремі її результати обговорювалися на науково-технічних конференціях, семінарах та нарадах, а саме на: Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки (Житомир, Україна,

2019 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики» (Київ, Україна, 2019 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, Україна, 2019 р.).

Публікації. Основні положення дисертації викладені у 10 наукових працях, зокрема: 6 – статей у наукових фахових виданнях України (у т.ч. 1 – стаття, що індексуються в наукометричній базі Scopus); 1 – стаття у періодичних наукових виданнях інших держав (у т.ч. 1 – стаття, що індексуються в наукометричній базі Scopus); 3 тези на науково-практичних конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів і висновку, викладених на 126 сторінках основного тексту, містить 52 рисунка, 8 таблиць, список використаних джерел із 85 найменувань на 11 сторінках і 3 додатки на 3 сторінках.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН КАМЕНЕДОБУВНОЇ ТА КАМЕНЕОБРОБНОЇ ГАЛУЗЕЙ, МЕТА, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз сучасного стану каменедобувної та каменеобробної галузей

Еволюція цін на ринку Європи

У цілому, середня ціна на вироби з натурального каменю останнім часом знизилася через збільшену пропозицію, яка супроводжується розвитком технічного прогресу. Взаємозв'язок між споживанням і цінами став чутливішим. Також спостерігаються значні коливання цін залежно від якості каменю і змінних тенденцій на ринку. В Європі сильнішої конкуренції піддаються блоки, ніж сляби і готова продукція. Це пов'язано з вливанням великої кількості дешевшого матеріалу з Китаю, Індії і Туреччини.

Що стосується цінової конкуренції, то існують деякі кольори і типи каменю, які завжди будуть в ціні через обмежену наявність (наприклад, зелений мармур або блакитний мармур). Чорні граніти також достатньо високо цінуються через обмежену пропозицію і високу собівартість. Разом з такими поняттями як собівартість і споживання на середню ціну впливають також і обмінні курси. На додаток до якості напівфабрикатів, ціни також залежать від каналу дистрибуції, яка використовується. Кількість агентів усередині торгового каналу особливо важлива, оскільки кожний агент включає свою комісію. Також слід зазначити, що у разі великого об'єму замовлення або регулярності замовлень, в кам'яному бізнесі практикуються знижки до 5–15 %.

З рис. 1.1 видно, що за період 2009–2019 рр. найсильніші коливання цін спостерігаються на ринку Великобританії і рівень цін на багато вищий, ніж в Іспанії, Італії і Німеччині, де спостерігається рівніша тенденція цін на імпорт блоків натурального каменю. Між 2018 і 2019 рр. відбулися негативні зміни в середніх цінах на імпорт блоків в Німеччині (-22 %), в Італії (-8 %) і в Іспанії (6 %).

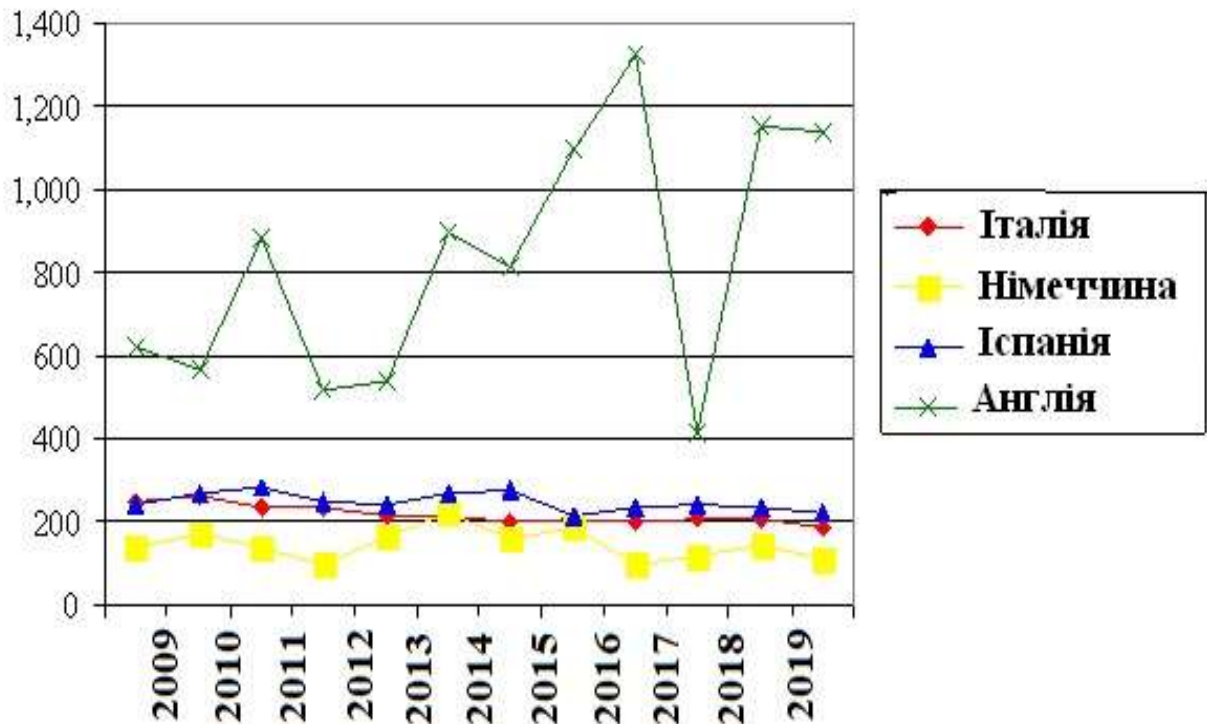


Рис. 1.1. Середні ціни на імпорт блоків з натурального каменя в Європі (2001–2011), €/тонну

Тенденції розвитку світового ринку декоративного каменя

Ринок декоративного каменя країн Близького і Далекого Сходу, США, Китаю, Індії, Бразилії, ПАР нині характеризується швидкими темпами зростання. Але незважаючи на це, країни Західної Європи були і надалі залишаються лідерами на цьому ринку: з майже 60 млн. т. світового видобутку декоративного каменя тут добувається більше 25 млн. т. (табл. 1.1.).

Світовий видобуток декоративного каменя у 2016 році

№ з/п	Країна	Загалом, тис. т.	Плити товщиною 2 см, тис. м ²	Загалом, %
1	Китай	10250	111 875	17,2
2	Італія	8500	92 780	14,2
3	Іспанія	5800	63 850	9,8
4	Індія	5 200	56 760	8,7
5	Португалія	2500	27290	4,2
6	Бразилія	2250	24 560	3,8
7	Туреччина	1 750	19 100	2,9
8	США	1 750	19 100	2,9
9	Греція	1 700	18 550	2,8
10	Південна Корея	1 400	15 280	2,3
11	ПАР	1 350	14730	2,3
12	Франція	1 200	13 100	2,0
13	Бельгія	850	9280	1,4
14	Німеччина	750	8 185	1,3
15	Мексика	700	7 640	1,2
16	Саудівська Аравія	700	7640	1,2
17	Фінляндія	600	6550	1,0
18	Філіппіни	550	6 000	0,9
19	Канада	550	6000	0,9
20	Польща	500	5 450	0,8
21	Росія	500	5 450	0,8
22	Інші	10250	111 850	17,3
	Всього	59650	651 000	100,0

За останні десять років споживання природного каменя в країнах ЄС зросло на 20%, хоча при цьому зменшились обсяги видобутку блоків та виробництва продукції з них. Нині для Західної Європи все важче тримати конкуренцію з такими «молодими» каменедобувними та каменеобробними країнами світу, як Китай, Індія, Бразилія, ПАР.

Країни Західної Європи, крім США та Японії, є одними з найбільших експортерів продукції з декоративного каменя з Індії: у 2017 році до Німеччини експортувалось 25 тис. т. готових виробів з граніту, головним чином надмогильних пам'ятників. Наприклад, у 2017 році всього з Індії до Європи було експортовано більше 500 тис. т. сировинних блоків граніту.

У 2018 році майже 60 % світового попиту на декоративний камінь припадало на ринок Західної Європи, а нині ця частка не сягає вже і 50 %. Видобуток природного каменя у світі протягом останніх 10 років збільшився на 30 %, а у Західній Європі, незважаючи на швидкий ріст ринку Франції та Іспанії, лише на 7 %. Але Західна Європа залишається на першому місці за обсягами імпорту природного каменя у світі. Тут обробляється до 40 % всього декоративного каменя: тільки в Італії та Німеччині обробляється вдвічі більше, ніж у Китаї.

Лідером на ринку декоративного каменя Європи й у всьому світі є Італія. У 2015 році з цієї країни було експортовано 5 млн. т. сировинних блоків та виробів з декоративного каменя на суму 2 млрд. EURO, що на 6 % більше, ніж в попередньому році. А експорт блоків та продукції з Італії у 2015 році тільки до США збільшився у вартісному еквіваленті на 20 %, а у товарному – на 37 %. Але у 2008 році у порівнянні з 2015 роком спостерігалось зменшення загальносвітового експорту декоративного каменя з Італії майже на 7 %, хоча при цьому до східноєвропейських країн він збільшився на 8,6 % в кількісному значенні та на 9,7 % у грошовому. Однією з причин було те, що Німеччина втратила позицію головного імпортера італійського каменя, яке займала ще у 2015 році. У результаті цього стався спад виробництва у каменедобувному регіоні Венето, що на півночі Італії. Цей регіон є економічно залежним від

країн Центральної Європи, на відміну від регіону Карари, промисловість якого працює переважно на "великий" світовий ринок. Але незважаючи на це, зростає імпорт природного каменя до Італії: в минулому році було імпортовано 2,6 млн. т. блоків і продукції на суму 600 млн. EURO.

Іспанія нині займає друге місце на ринку Західної Європи за видобутком і переробкою декоративного каменя. Внутрішньоіспанський ринок до такого ступеню поглинає всю продукцію, що імпорт перевищує експорт. Камінь використовується в основному в сфері будівництва. Останнім часом в Іспанії підвищується інтерес до нетрадиційних видів каменю – пісковіку, неполірованого вапняку, кварциту і базальту. Області використання такого каменя різноманітні – від мостіння вулиць до зовнішнього облицювання приміщень і споруд. Каменеобробна галузь Іспанії протягом 2007 року мала річний обіг 2,9 млрд. EURO, експорт збільшився на 9% порівняно з попереднім роком і досяг 703 млн. EURO. Природний камінь в Іспанії видобувається на 695 кар'єрах і обробляється на 1431 підприємстві із загальною кількістю 19000 працівників. Крім того, ще існує близько 3000 невеликих фірм, які займаються виготовленням надмогильних пам'ятників та ритуальних споруд. По видам продукції експортні поставки Іспанії розподіляються наступним чином: покрівельні плити з сланцю – 46 %, готові вироби з мармуру – 24 %, необроблений мармур – 3 %, необроблений граніт – 12 %, готові вироби з граніту – 15 %. В країні ЄС Іспанія експортує 69 % продукції, США і Канаду – 15 %, Японію – 6 %. З країн ЄС найважливішими іспанськими імпортерами є Франція, Німеччина, Італія, Великобританія і Бельгія.

Найбільш характерними прикладами використання іспанських гранітів можуть служити: національний банк в Лос-Анджелесі (США) при спорудженні якого використано 3500 м² плит з граніту марки Gris Perla; приміщення споруд в Клівленді (США), було використано 5000 м² плит з граніту марки Rosa Roggino; приміщення міського управління в Токіо (Японія) – 6000 м² плит з граніту марки Gris Perla, та інші.

Ринок декоративного каменя Франції, на відміну від італійського та

німецького, лише нещодавно привернув увагу фахівців. Загальний обсяг виробництва каменю у Франції оцінюється в 1 млрд. доларів США. В цій галузі зайнято близько 10 тисяч робочих. Граніт становить 50 % і використовується переважно при виготовленні ритуальних виробів, в меншій мірі будівництві і міській архітектурі. Близько 90 % мармуру, який видобувається у Франції, використовується в будівництві. В останні роки активізувалась робота по переорієнтації виробництва на випуск модульних виробів. Франція експортує 25 % своєї продукції, особливо у великій кількості мармуровані вапняки. Обсяги споживання природного каменю у Франції більші, ніж обсяги її виробництва, а тому імпорт перевищує експорт. Не маючи потужного потенціалу, Франція має давні традиції використання каменю. І хоча сучасні архітектурні концепції формуються не тут, в Франції створюються різні прикраси і скульптури, які є чудовими творами мистецтва. Варто врахувати те, що граніт у цій країні раніше традиційно використовувався виключно для виготовлення надмогильних пам'ятників та мощення вулиць і майданів.

Туреччина є однією з країн з найбільшими запасами декоративного каменя у світі: за підрахунками фахівців, тут знаходиться біля 40 % світових запасів мармуру. Суттєвого прогресу в каменевидобуванні і каменеоброблюванні досягла Туреччина, в якій експорт необроблених блоків зріс за останні роки на 35 %, а експорт оброблених матеріалів зріс на 72 %. Незважаючи на економічну кризу, каменедобувна та каменеобробна галузь Туреччини досягла значних успіхів у розширенні своєї частки на міжнародному ринку і посідає сьогоднісьоме місце у світі. Ключовим фактором успіхів кам'яної промисловості цієї країни, окрім величезних запасів, є широка гама забарвлення декоративного каменя, яка може задовольнити будь-який попит. Експорт декоративного каменя з Туреччини порівняно з 1980 роком збільшився у 5 разів. Переважну його частину складають готові вироби з мармуру та травертину. Понад третину експорту припадає на США, 10 % – на Ізраїль, решта – на Саудівську Аравію, Китай, Іспанію, Італію, Німеччину, Гонконг. За темпами росту конкуренцію Туреччині можуть скласти лише Норвегія і Індія,

які експортують тільки граніт. Туреччина ж експортує тільки мрамур і можливості її як експортера мрамору далеко не вичерпані. Загальні обсяги прибутку кам'яної промисловості Туреччини за останні роки збільшилися на 30 % і сягнули рівня 970 млн. EURO, що значно перевищує відповідні показники у світі.

Найбільшим споживачем продукції з декоративного каменя в Європі та й у всьому світі є Греція. Тут на душу населення припадає його близько 1,5 м², згідно із статистичними даними "Stonereport", у перерахунку продукції на плити товщиною 2 см. Друге місце посідає Швейцарія – 1,45 м², далі Саудівська Аравія – 1,39 м², Бельгія – 1,17 м², Італія – 1,01 м², США – 0,2 м². У Німеччині на одного жителя припадає всього 0,55 м² природного каменя, у Голландії, Фінляндії та Франції цей показник не перевищує 0,5 м², що вказує ще на великі потенціали для майбутнього споживання декоративного каменя у самому центрі Європи.

Швейцарія так само, як і Греція, має високий рівень споживання природного каменя на душу населення. Загалом у минулому році у перерахунку на плити товщиною 2 см тут було спожито біля 10,6 млн. м² декоративного каменя. Майже 80 % від цих обсягів складає експортований природний камінь. Швейцарія з населенням 7,3 млн. людей входить до переліку 15 найбільших споживачів природного каменя. Швейцарія є третім у світі за величиною експортним ринком для італійського мрамору та граніту після США і Німеччини. Сюди, крім того, експортується природний камінь із Франції, Бельгії, Іспанії, Португалії, Греції, Бразилії, Китаю, Індії у вигляді готових виробів, напівфабрикатів (слябів) і сировинних блоків. У каменеобробній і каменедобувній промисловості Швейцарії працює приблизно 5000 людей на 500 підприємствах. Тут видобуваються гнейси (Verde Andeer, Maggia, Cresciano, Calanca, Iragna) і пісковики (Rorschacher, Bellinger) на 80 кар'єрах, продукція з яких у невеликих обсягах експортується до сусідніх країн, переважно до Німеччини, а блоки – до Італії. Однак більшість видобутого каменя використовується в межах країни.

Відносно низький рівень розвитку каменедобувної і каменеобробної галузі в Німеччині робить цю країну одним з найбільших споживачів напівфабрикатів і готових виробів з природного каменя у світі – обсяги імпорту досягли 2,5 млн. т. Внутрішнє виробництво складало лише 45 % від спожитого каменя. Більше 40 % загального річного обсягу споживання становили готові вироби для приватного будівництва. Крім того, декоративний камінь широко використовується для будівництва великомасштабних проектів і представницьких споруд. Головним експортером готової продукції з природного каменя до Німеччини є Італія.

В останні роки в країнах Далекого Сходу інтенсивно розвивається каменевидобувна промисловість і все ширше використовується камінь, причому перевага віддається граніту. Так імпорт гранітних блоків в Південну Корею становив 120 тис. т., що підтверджує стан обробного сектору Південної Кореї. Експорт Корейських кам'яних виробів знизився, внутрішнє споживання кам'яної продукції постійно зростає. Поставки кам'яної продукції в Корею з Італії в досягли більше 50 тис. т. Питомі ж витрати залишаються практично попередніми, що свідчить про недостатньо оперативну швидкість отримання прибутку італійськими експортерами. Збільшення італійського експорту в Південну Корею є досить вагомим, особливо якщо враховувати загальну тенденцію зниження експорту.

Геологічні умови формування родовищ каменя чорного кольору, придатних для видобування блоків, в світі зустрічаються досить рідко. Найбільші родовища такого каменя є в Південній Африці та в Україні. Південна Африка є неперевершеним світовим лідером світового ринку по габро. ПАР поставляє 80 % чорного каменя, який імпортує Італія. Щорічно в ПАР видобувають близько 700 тис. т. чорного каменя, який не тільки широко використовується на місцевому ринку, але і експортується майже у всі основні каменеоброблювальні країни (переважно в Італію, Японію, Тайвань, США, Німеччину і Францію). Камінь насиченого чорного кольору видобувають також в Південній Америці (Бразилія і Уругвай) і в Індії, яка великі партії цього

каменю експортує в Японію. Однак реальною альтернативою джерела цієї різноманітності каменю для Європейського ринку є Зімбабве. В цій країні видобувають матеріал менш цінний, обсяги його видобування менші (60 % від рівня ПАР), однак його вартість майже на 50% нижча, ніж в Південній Африці. Обсяги продажу чорного каменю залежать від політики виробників ПАР, які впевнено втримують монополію.

В Південній Кореї поступово накопичується досвід ділової активності. В цій країні мають місце елементи соціальної напруженості, обумовленої низькою зарплатою і самою великою тривалістю робочого дня. З іншої сторони, саме ці умови дають змогу будівельному сектору Південної Кореї конкурувати на своїй території з зарубіжними будівельними фірмами, особливо з країн Близького Сходу.

Цікавою є цінова політика на світовому ринку декоративного каменя. Для визначення середньостатистичної вартості виробів з італійського мармуру та граніту фахівці обрахували загальну вагу всього експортованого з країни каменя і розділили її на загальний прибуток від його експорту. У результаті отримали середню ціну, яка сформувалася для ринку Північної Америки – 682 EURO за тонну виробів з мармуру та 832 EURO за тонну виробів з граніту. Порівняно з попереднім роком у середньому прибутки італійських експортерів збільшились більш ніж на 4 % для мармуру та 2,5 % для граніту. Однак такі показники досягнуто не у всіх регіонах світу. У країнах Океанії, Далекого Сходу та Африки середня ціна була 385 EURO за тонну мармуру та 476 EURO за тонну граніту, а в країнах ЄС – 679 EURO за тонну мармуру та 795 EURO за тонну граніту.

У зв'язку із збільшенням в найближчі 10 років кількості членів країн ЄС, фахівці прогнозують збільшення ринку декоративного каменя Європи. Експорт західноєвропейських компаній до країн Східної Європи становить понад 154 тис. т. плит та слябів, що на 4 % більше, ніж в попередньому році. Найбільшими споживачами продукції є Польща (більше 35 тис. т.), Угорщина, Хорватія та Словенія. Також спостерігається збільшення експорту

високоякісних виробів з декоративного каменя для оздоблення престижних будівель і споруд країн СНД.

Експерти вважають, що виробництво та використання виробів з декоративного каменя буде посідати чинне місце в економічному відродженні багатьох країнах Східної Європи, яке вже починається нині. Прогнози фахівців на майбутнє десятиліття передбачають, що світове споживання природного каменя буде збільшуватись у середньому до 7 % на рік. А в майбутньому за рахунок розширення ринку країн Азії та Східної Європи, воно зросте вдвічі – від 600 млн. м² до 1,2 млрд. м².

В загальному обсязі перевезень каменю в світі перевезення гранітних блоків і аналогічних граніту високоміцних порід та виробів з них становить більше 50 %. Країни, які видобувають гранітні блоки, розрізняються різним рівнем каменеобробки, географічним положенням, економічним розвитком. Ці фактори в значній мірі визначають ринковий потенціал того чи іншого типу граніту. Наприклад, у вартості блоків бразильського граніту, які завозяться в Європу, на долю витрат на морський транспорт приходиться до 30 %. Для індійського граніту середньої вартості ця стаття складає близько 40 %, а для дешевих різновидів каменю – до 50 %. Разом з тим у вартості граніту, який завозиться з Іспанії в італійські порти Каррари, витрати на морський транспорт не перевищують 15 %. В експорті блоків важливе значення мають запаси родовища, блочність масиву, однорідність породи, яка видобувається, декоративність. Враховується також можливість скорочення термінів видобування. Ціни на камінь постійно змінюються в залежності від ситуації, яка складається на світовому ринку. До числа найбільш поширених матеріалів, які приходиться транспортувати на досить значні відстані, належить так званий кольоровий граніт Venetian. Цей камінь видобувають в основному в Бразилії і Індії, де він становить близько 80 % національного виробництва. Він являє собою високометаморфізовані породи (мігматити), характерні для глибинних частин континентальної кори, які виходять в зонах розломів орогенних систем. Головним споживачем блоків з граніту марки Brazilian Veined є Італія (близько

300 тис. т. на рік), потім за ними слідує Іспанія і Франція. Індійський камінь поставляється в основному в Італію і Німеччину.

Для однорідних гранітів ціна, а відповідно і доцільність транспортування на великі відстані суттєво залежать від кольору. Найбільш типовим матеріалом є червоний граніт, який видобувається переважно в Скандинавії, традиційному центрі виробництва, а також Індії (15 % національного виробництва). Граніт, який експортується з Індії, знаходить широке використання в Японії, яка рахується найкращим ринком для класичних матеріалів. Скандинавія (в основному Фінляндія і в меншій мірі Швеція) поставляє червоний граніт в Європейські країни, головним чином в Італію і Німеччину. Не дивлячись, що єдина думка про генезис червоного граніту відсутня, родовища цього каменю можуть бути виявлені на широких територіях. В даний же час видобуванням червоного граніту більше займаються ті країни, які наближені до каменеоброблювальних центрів. Тільки при відносно низькій вартості видобування каменю (як, наприклад, в Індії) такий камінь може бути конкурентоздатним на світовому ринку.

Україна теж має великі мінерально-сировинні ресурси природного каменю і особливо високоміцного. Великим попитом користуються червоні граніти Капустинського, Ново-Данилівського, Омел'янівського, Лезниківського та інших родовищ, граніти палевого відтінку Дідковського, Межиріченського, Корнинського та інших родовищ, сірі граніти Покостівського, Кудашевського, Богуславського, Янцівського та інших родовищ.

Україна має, щоправда в обмеженій кількості, запаси мармурової сировини і досить великі поклади м'якого каменю. Експортні поставки Україна здійснює в обмеженій кількості із-за низької якості блоків і виробів, високої ціни, а по причині великої економічної кризи Україна імпортує вироби з каменю в незначних обсягах.

Великі потенційні можливості розвитку каменевидабування і каменеобробки має Росія, яка має надзвичайно великі мінерально-сировинні ресурси природного каменю. Великі поклади міцного природного каменю

сконцентровані в Санкт-Петербурзькій області, в Карелії, на Уралі, каменю середньої міцності в Карелії, на Уралі, в Сибіру, на Кавказі, географія м'якого каменя ще більш широка. В цілому Росія випускає близько 3 млн. м² різної продукції з каменю, але потреби свої в цій продукції не задовольняє, а тому значну частину кам'яної продукції імпортує. Експортні поставки сировини і продукції з каменю в Росії незначні по причині низької якості блоків, які видобувають в кар'єрах, та кам'яної продукції, яка багато в чому не відповідає вимогам Європейських та інших стандартів. В Росії працюють такі великі заводи як Московський каменеобробний комбінат, Кондопожський каменеобробний завод, виробниче об'єднання «Саянмрамор», Каменеобробний завод «Кузнечное» та ін.

1.2. Основні чинники, що формують якість видобутої корисної копалини

Техніко-економічне поняття "якість продукції", на відміну від філософського поняття "якість", охоплює тільки ті властивості продукції, які пов'язані з можливістю задоволення продукцією певних суспільних або особистих потреб відповідно до її призначення.

Якість продукції залежить від якості виробів і матеріалів [1], з яких вона складається. Якщо продукція складається з виробів каменевидабування, то до властивостей, що визначають якість продукції, відносяться властивості окремих виробів, а також такі властивості сукупності виробів, як однорідність, взаємозамінність та ін.

Якість видобутої корисної копалини формується під сукупною дією великої кількості чинників, які можна об'єднати в групи:

- природні чинники;
- економічні чинники;
- технологічні чинники.

У табл. 1.2 наведені ці групи і найважливіші їх складові, що впливають на зміну якості видобутої корисної копалини. Між багатьма чинниками існують прямі взаємозв'язки і взаємозалежності.

Основні чинники, що формують якість видобутої корисної копалини

Група чинників	Основні чинники
Природні	<p>Природна якість корисної копалини (декоративність, текстура, колір);</p> <p>умови залягання корисної копалини;</p> <p>мінливість показників якості корисної копалини в межах кар'єрного поля і окремих покладів;</p> <p>візуальні відмінності корисної копалини різної якості;</p> <p>наявність в корисній копалині шкідливих домішок;</p> <p>природна тріщинуватість;</p> <p>фізико-технічні властивості корисної копалини</p>

<p>Технологічні (включаючи технічні і організаційні)</p>	<p>Експлуатаційні межі покладів; послідовність і порядок відпрацювання покладів; спосіб розкриття і підготовки покладів; рівень концентрації гірничих робіт; система розробки і її параметри; технологія видобування корисної копалини; робочі параметри видобувного устаткування; кількість діючих вибоїв; режимні параметри; наявність процесів дроблення і грохочення; додаткові операції підготовки видобутої корисної копалини;</p>
<p>Економічні</p>	<p>Ціни на кінцеву продукцію і корисну копалину; рідкісність корисної копалини; собівартість переробки корисної копалини; вимоги кондицій; форма стимулювання за якість видобутої корисної копалини</p>

Кожний з наведених чинників може бути віднесений до керованих (зокрема обмежено керованих) і некерованих (в їх числі кон'юнктурних). До керованих відносяться чинники [2], на які в тій чи іншій мірі можна вплинути з метою зміни абсолютного значення якості копалин або ступеню її стабільності відносно існуючого рівня. Відповідно некеровані чинники не піддаються яким-небудь керованим діям. При цьому під кон'юнктурними розуміються чинники,

пов'язані з мінливістю потреби в даному виді сировини, з коливанням цін, а також з іншими економічними змінами випадкового (для виробника і споживача) характеру.

Більшість чинників, таких, як якість копалини в надрах, міцнісні властивості гірничих порід в окремих тілах, умови залягання корисної копалини і її тріщинуватість, наявність в покладах або вміщуючих породах шкідливих домішок і багато іншого, відносяться до числа некерованих.

Основні керовані чинники [2] – це технологічні, що включають техніку і організацію гірничого виробництва. Управляти процесом формування якості гірничої маси можна, наприклад, за рахунок введення невибухової технології видобування блочного каменю, що збільшить блочність видобутої продукції.

Економічні чинники визначають в цілому ефективність розробки родовища, доцільність ухвалення того або іншого технічного, технологічного і організаційного рішення. Але, у свою чергу, економічні показники видобування і переробки багато в чому залежать від природних і технологічних чинників та від кон'юнктури ринку. Тому економічні чинники при управлінні якістю продукції гірничого виробництва можуть бути як визначальними (критерійними), так і вторинними (оцінювальними).

Сумісну дію всіх груп чинників на якість видобутої корисної копалини слід розглядати як динамічну систему, що виражає загальний механізм формування якості продукції гірничого підприємства. На рис. 1.3 показана схема взаємодії всіх груп чинників.

Значною мірою визначаючими рівень якості продукції гірничого підприємства є природні і економічні умови, що диктують головні технічні і технологічні рішення. З другого боку, технологія гірничих робіт істотно впливає на досягнуті економічні результати. У принципі технологія гірничого виробництва впливає і на природні умови, долаючи або пом'якшуючи їх негативні дії на якість продукції (наприклад, впливаючи на масив гірської породи шляхом її руйнування або зміцнення та інше).

Разом з тим слід мати на увазі, що на практиці, окрім природних, технологічних і економічних чинників на рівень якості продукції гірничого

підприємства можуть вирішальний вплив здійснювати й інші причини. Так, нерідко в гірничодобувній промисловості доводиться видобувати корисні копалини з якістю нижче економічно доцільної. Зазвичай це вимушені роботи за відсутності кращих родовищ в умовах дефіциту даного виду мінеральної сировини, або в період доробки родовищ, або через соціальні причини (необхідність забезпечити занятість населення в даному регіоні).



Рис. 1.2. Механізм взаємодії чинників, які впливають на формування якості добутої корисної копалини

Оцінювання рівня якості продукції є підставою для вироблення необхідних керівних рішень в системі управління якістю продукції.

У загальному випадку оцінювання рівня якості складається з наступних

етапів:

- вибір номенклатури показників якості і обґрунтування її необхідності і достатності;
- вибір або розроблювання методів визначення значень показників якості;
- вибір базових значень показників і вихідних даних для визначення фактичних значень показників якості оцінюваної продукції;
- визначення фактичних значень показників якості і їх зіставлення з базовими;
- порівняльний аналіз варіантів можливих рішень і знаходження найкращого;
- обґрунтування рекомендацій для прийняття керівного рішення.

Зміст кожного з перерахованих етапів і обсяг робіт на кожному з них істотним чином залежать від мети оцінювання якості продукції.

Метою оцінювання обумовлюється: які показники якості слід вибирати для розгляду, якими методами і з якою точністю визначати їхні значення, які засоби для цього потрібно, як обробити і в якій формі представити результати оцінювання, які варіанти можливих рішень слід порівнювати між собою і на які питання відповісти при обґрунтуванні рекомендацій.

Каменеобробному підприємству при обробці блоків природного каменю необхідно забезпечити не тільки точні розміри готової продукції але й однаковість колірної гами виробів. Відомо, що природний камінь може змінювати свої кольорові характеристики, як в межах родовища природного каменю, так і в межах одного блоку природного каменю. Це явище суттєво впливає на якість кінцевого замовлення каменеобробного підприємства. В одній партії готових виробів з природного каменю можуть зустрічатися плитки різних відтінків. Щоб забезпечити однорідність гами кольору в межах однієї партії каменеобробні підприємства часто закупають сировину з запасом, що в свою чергу впливає на рентабельність виробництва.

В багатьох випадках відбуваються проблеми при замовленні природного

каменю під час реставраційних робіт. Багато будівельників скажуть, що природний камінь мало, чим відрізняється від будь-якого штучного матеріалу (бетон, цегла, кераміка, різні види сучасного штучного каменю тощо). Але тільки штучні матеріали можна виготовити в будь-якій кількості, і вони будуть ідентичними за своїми властивостями, а природний камінь в кожному своєму зразку унікальний і неповторний. Однакового природного каменю не буває. Розробка технологій реставрації природного каменю без урахування в повному обсязі даних про особливості його будови, складу, фізико-механічних властивостей, особливостей його руйнування (вивітрювання) в природних умовах і в умовах сучасних міст і навіть подальша сумлінна реалізація цих реставраційних проектів може принести серйозний і непоправної шкоди пам'ятнику.

Відсутність знань про старі каменоломні та тип каменю, який видобувався на них, їх географічного розташування і транспортної доступності. У зв'язку з цим важливо розглянути ситуацію, коли видобуток природного каменю на кар'єрі припинений. Зазвичай в цих випадках відразу проводиться підбір та пошук схожого природного каменю з інших сучасних діючих родовищ за сучасними торговим каталогам. Навіть в межах існуючого кар'єру важко підібрати аналогічний камінь, який видобували 10-15 років тому.

Для рівномірності кольору однієї партії каменеобробного підприємства або для забезпечення необхідної текстури та кольору при реставраційних роботах, ми можемо використати фізико-хімічні методи (рис. 1.3).

Фізико-технічні способи [3] характеризуються використанням у якості обробного робочого органу різних енергетичних потоків і полів, які виробляються генераторами та направляються на оброблюваний об'єкт. Властивості цих потоків і полів такі, що в самому матеріалі розвиваються руйнівні напруження або змінюються фізико-хімічні властивості.

За видами впливу і особливостями процесу фізико-технічні способи обробки можна розділити:

- 1) на *динамічні*, які характеризуються високоударним динамічним впливом робочого енергетичного потоку на механічні властивості

оброблюваного середовища, що призводять до втрати її цілісності (гідравлічний, гідроабразивний, абразивно-динамічний, ультразвуковий, електрогідродинамічний способи);

2) *термічні*, які характеризуються збудженням і розвитком у часі термічних процесів у тілі оброблюваного об'єкта під дією енергетичних полів і потоків, що мають властивості, необхідні для ініціювання цих процесів (термічний, електротермічний, променевий, лазерний, плазмовий способи);

3) *термодинамічні*, базуються на ударному збудженні в середовищі складного комплексу механічних і термічних явищ і фазових переходів, поєднаних з евакуацією продуктів руйнування від зони обробки під термогазодинамічним впливом швидкісного (звукового і надзвукового) газового потоку.

На відміну від механічних, усі фізико-технічні способи обробки каменю характеризуються відсутністю застосування сили і тиску (прижимного зусилля інструменту) на оброблюваний матеріал, що зумовлено відсутністю механічного робочого органу.



Рис. 1.3. Методи керування кольором природного каменю

Класифікація фізико-технічних способів обробки природного каменю на базі аналізу фізичних процесів та методів руйнування породи з врахуванням останніх науково-технічних досягнень в каменеобробній галузі представлена на рис. 1.4.

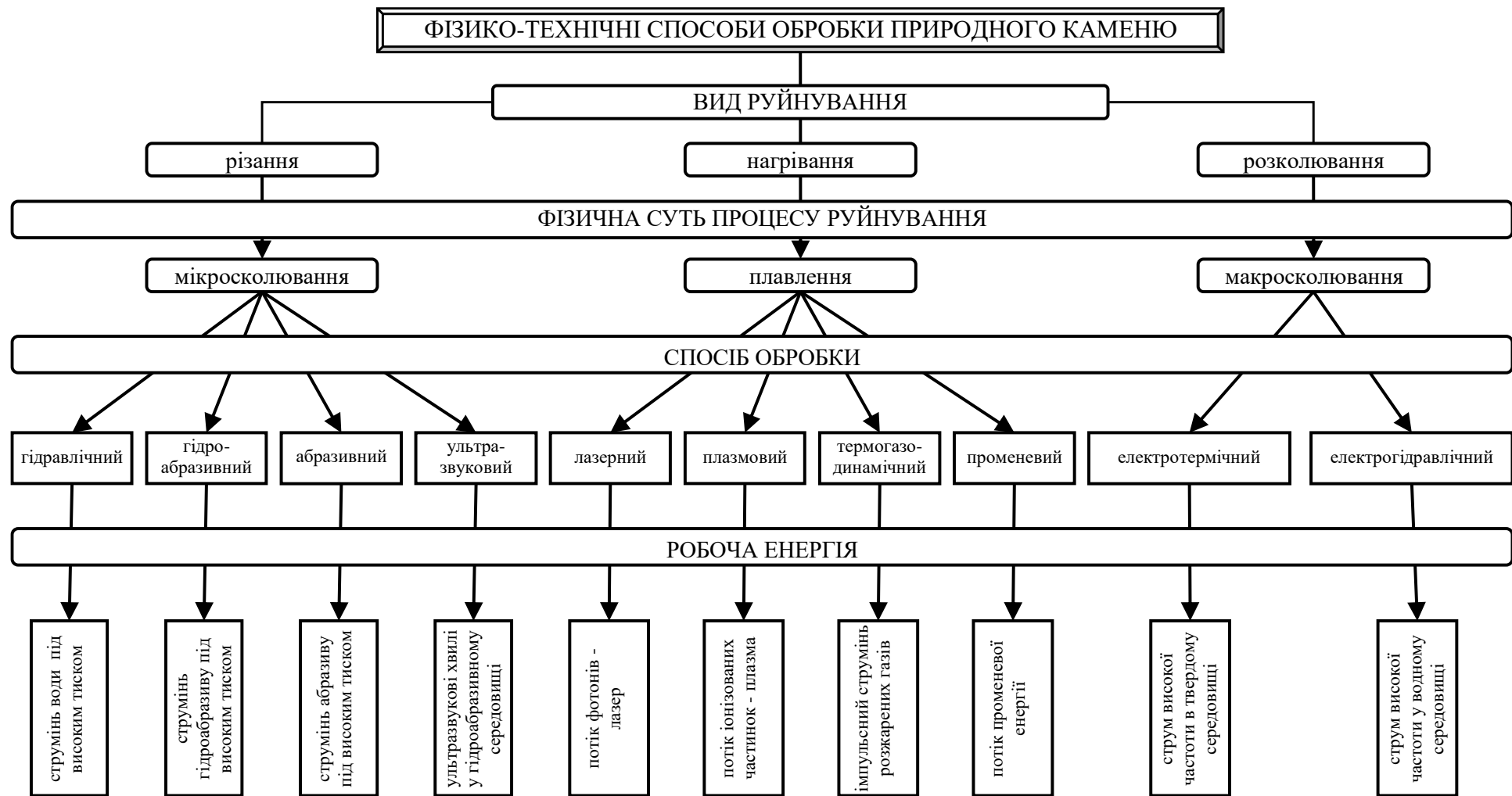


Рис. 1.4. Класифікація фізико-технічних способів обробки каменю за фізичною суттю процесу руйнування

Руйнування відбувається завдяки створенню мікроконтактних зусиль (ударів) [3] або внаслідок миттєвого прикладення великої кількості енергії в зоні руйнування породи, що досягається потоками і струменями різного роду речовинами. В якості таких речовин (енергії, поля) використовують наступні: світловий потік фотонів (лазер), потік іонізованих частинок (плазма), струмінь води з абразивом і без нього під високим тиском, струмінь абразиву під високим тиском, потік ультразвукових хвиль, струмінь розжарених газів або теплової енергії, потік електричного струму та комбінації вище перерахованих потоків.

1.3. Методика дослідження декоративності природного каменю, якісних і кількісних параметрів готових виробів

Зовнішній вигляд поверхні облицювального каменю має важливе значення при його застосуванні для оздоблення різноманітних споруд та визначає його якість як промислового виробу.

Контроль і відбракування виробів з облицювального каменю виконується на етапі його обробки. Такий контроль потребує визначення ряду показників якості. Для виробів з облицювального каменю використовуються естетичні показники якості їх поверхні [4]:

- вигляд лицьової поверхні;
- колір лицьової поверхні;
- відхилення показників зовнішнього вигляду (наявність пузирів, каверн, тріщин тощо).

Зовнішній вигляд природного каменю залежить від його кристалічної структури, хімічного складу, процесу утворення. Тому між показниками якості зовнішньої поверхні та фізичними і технічними характеристиками каменю повинні існувати сильні автокореляційні залежності [5, 9]. Це вказує на принципову можливість оцінки механічних характеристик каменю на основі вимірювання показників якості зовнішньої поверхні.

Для комплексного дослідження зразків природного каменю були використані сучасні інформаційно-комп'ютерні методи.

Колориметричні вимірювання за допомогою інформаційно-комп'ютерних технологій включають визначення в одній з стандартних колориметричних систем, показників кольору для окремих дискретних точок цифрового відеозображення, для структурних елементів поверхні об'єкта або для певних зон, виділених на поверхні об'єкта. Дослідження [10, 11] показали, що для зразків природного каменю найбільш доцільно використовувати одну з колориметричних схем, яка дозволяє окремо обробляти значення яскравості та кольору дискретних точок відеозображення. Це може бути стандартна колориметрична система HSV або CIELAB.

Колориметричні вимірювання можуть носити як самостійний характер так і бути складовою частиною геометричних вимірювань. Враховуючи те, що структурні елементи поверхні відрізняються один від одного і від фону за кольором або яскравістю, тому колориметричні вимірювання є складовою частиною проведення геометричних вимірювань на відеозображеннях зразків. Геометричні вимірювання структурних елементів поверхні здійснюються на основі визначення для дискретних точок відеозображення розбіжностей за яскравістю (для ахроматичних поверхонь гірських порід) або розбіжностей за кольором (для хроматичних поверхонь гірських порід).

Ці виміри дають можливість визначити:

- поперечні розміри об'єктів;
- периметр об'єкту;
- площу об'єкту та об'єктів загалом;
- показники форми;
- орієнтацію елементів в просторі;
- взаємне розташування для структурних елементів поверхні.

Використання інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації для кількісної оцінки якісних показників поверхні природного каменю дає можливість:

- 1) підвищити ефективність вимірювання;

- 2) знизити працемісткість вимірювальних операцій;
- 3) автоматизованої обробки результатів вимірювань;
- 4) отримати об'єктивні дані та максимально усунути суб'єктивну складову похибки вимірювань.

Для вирішення задачі аналізу зовнішнього виду поверхні необхідно сформувати цифрове відеозображення поверхні облицювального каменю і виконати його обробку засобами сучасної обчислювальної техніки. В найбільш загальному вигляді послідовність дій зображена на рис. 1.5.

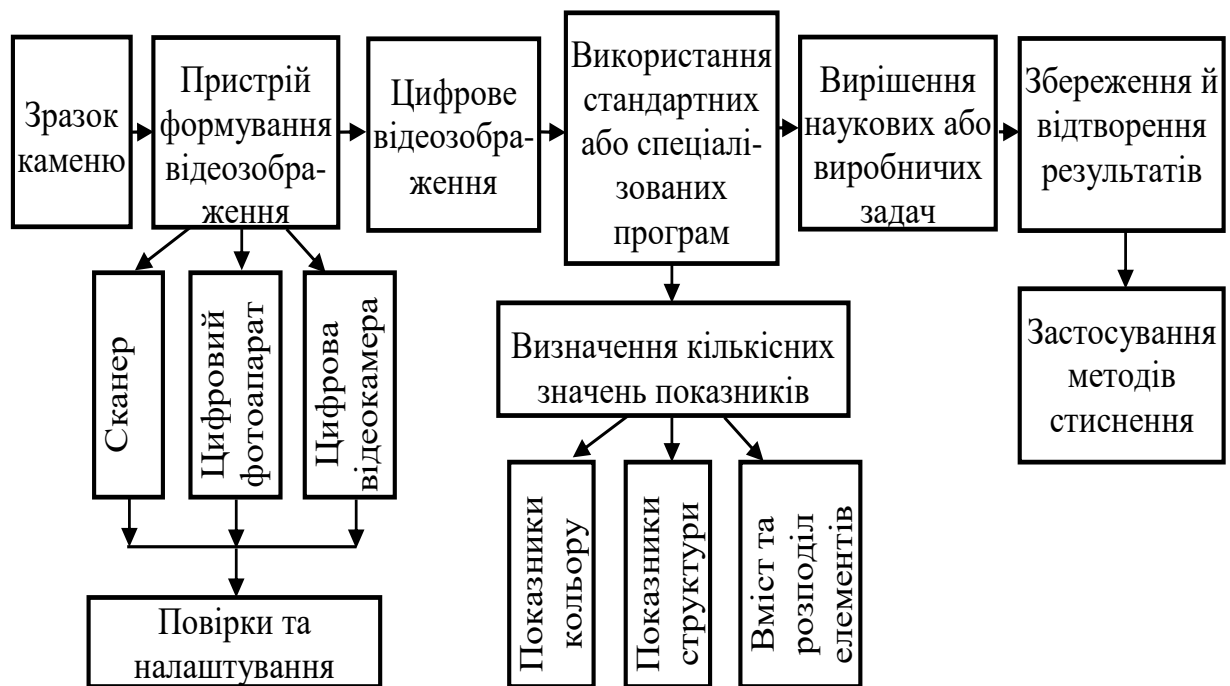


Рис. 1.5. Схема визначення чисельних показників якісних характеристик поверхні облицювального каменю

Проведення вимірювань базується на таких принципах:

1. Відбір необхідних зразків природного каменю, для вирішення наукових або виробничих задач.

2. Використання стандартних або спеціалізованих (при необхідності) апаратних засобів формування цифрових відеозображень. Дані засоби є досить складними технічними виробами та задовольняють основні

метрологічні вимоги що до здійснення вимірювань.

3. Повірки та налаштування устаткування.

4. Пошук і вибір потрібних параметрів алгоритмів цифрової обробки відеозображень, виходячи з особливостей задачі дослідження зразків гірських порід.

5. Використання стандартних або спеціалізованих програм та алгоритмів обробки вимірювальної відеоінформації і визначення на цій основі числових характеристик якісних параметрів у відповідності до задач дослідження.

6. Застосування методів стиснення відеозображень. Це дає можливість здійснювати введення в комп'ютер великого обсягу відеоінформації та її компактне зберігання, а при необхідності і швидке відтворення.

Методи обробки цифрових відеозображень широко втілені в різних розповсюджених графічних програмах, типу Adobe Photoshop або тощо. Однак їх використання незручне, а в більшості випадків і неможливе, бо більшість з них призначена не для отримання вимірювальної інформації, а для вирішення протилежної задачі – перетворення та корегування відеозображення, що в умовах дослідження недопустиме. Крім того й інтерфейс даних програм незручний для проведення досліджень.

У ході досліджень використовувались розроблені алгоритми на основі програмного забезпечення системи Matlab та пакету програм Image Processing Toolbox, а також було розроблено власне програмне забезпечення для вирішення різнопланових задач дослідження.

1.4. Вивченість питання керування якістю облицювальних виробів в літературних джерелах

Дослідженню текстурно-колористичних ознак облицювальних порід присвячена робота О.Л. Гелети [4], О.В. Горобчишина [5]. Вивченням і точним встановленням кольору мінералів і порід займався А.О. Криворучко [6-8], який запропонував визначати колір та його насиченість і яскравість за допомогою конкретних кількісних показників при використанні сучасних

комп'ютерних технологій.

Дослідження корозійної стійкості природного каменю в різний час займались Малин В.І., Дамье-Вульфсон В.І. [14, 15], Вікторов О.М. [16], Ковельман І.О. [17]. Коробійчук В.В., Жуков С.О., Астахов В.І. [23] визначили особливості впливу технологічних факторів при термічній та механічній переробці граніту і лабрадориту на якість облицювальних матеріалів і глибину ушкоджень мінерального середовища.

В публікації [24] розроблено та досліджено текстурно-фрактальний метод оцінки якості поверхонь виробів з декоративного каменю. Наведено відповідні методики контролю якості цих зразків, надано кількісні характеристики отриманих результатів. Більшість досліджень було пов'язано з загальними аспектами корозійної стійкості декоративного каменю. В вищерозглянутих дослідженнях відсутні відомості про вплив агресивного кислотного, лужного, сольового середовища на декоративність облицювального каменю.

Сичев Ю.І., Берлін Ю.Я. [18], Орлов А.М. [19], Бакка М.Т. [20] вивчали основні поняття та положення процесу шліфування, класифікації процесів обробки природного каменю, а також опису інструментів та полірувально-шліфувальних верстатів.

В роботі [25] досліджена можливість призначення раціональних технологічних параметрів шліфування природних каменів із застосуванням модернізованих токарних верстатів різних моделей та використання різноманітного алмазно-абразивного інструменту залежно від хімічного складу таких каменів.

Сідорко В.І., Курілович В.Д. [22] Сформулювали вимоги до робочого шару і конструкції інструмента для лоціння плоских поверхонь виробів з природного та синтетичного каменю.

В роботі [25] на основі кластерної і фізико-статистичної моделей утворення часток шламу оброблюваного матеріалу описані закономірності утворення мікрорельєфу полірованої поверхні. Встановлено, що продуктивність полірування неметалічних матеріалів знижується при

збільшенні їх енергії зв'язку, а шорсткість полірованої поверхні залежить від відношення частот власних коливань молекулярних фрагментів на поверхні інструменту і оброблюваної деталі. Назаров Ю.Ф. [26] проаналізував відомі методи контролю шорсткості поверхні металів і сплавів із залученням обчислювальної техніки. Швець С.В., Яненко М.Б. [27] отримали математичну залежність, яка дозволяє отримати значення параметрів шорсткості та створили програму для розрахунку шорсткості поверхні. В даних працях мало було приділено уваги питанням попередження браку та контролю якості виробів, методів оцінки якості поверхні.

Филатов Ю. Д. та Сидорко В. И. [21] Описали методика виміру коефіцієнтів відображення і розсіяння лазерного випромінювання полірованими поверхнями. Дослідили зв'язок між інтенсивністю світла і шорсткістю полірованої поверхні. Показали можливість визначення колориметричних характеристик неметалічних матеріалів по коефіцієнтах розсіяння і відображення світла. В даних публікаціях відсутні дані про поліпшення кольорових характеристик природного каменю.

Вивченням естетичного вигляду каменю, впливу фарби на поверхню каменю займалось багато вчених [29–34], але досі залишаються маловивченими українські родовища природного каменю.

В роботі [35–37] було вивчено вплив хімічної та механічної обробки природного облицювального каменю на його світлість та блиск на прикладі Покостівського гранодіориту. Також, в цих роботах вирішено питання керування світлістю природного каменю, оскільки при облицюванні споруд природним каменем можуть спостерігатися відмінності у кольоровому тоні різних плиток, що спричинене мінералогічним та хімічним складом каменю. Цю проблему вирішено як при обробці каменю, шляхом використання різних методів хімічної та механічної обробки, так і при його видобуванні (за допомогою розділення ділянок родовища за структурними показниками), оскільки необроблений Покостівський гранодіорит не можливо класифікувати за світлістю візуально [36]. Окрім цього, на світлість та блиск впливають й чинники навколишнього середовища, які були розглянуті в

роботі [37].

Механічні способи обробки природного каменю цілком достатньо досліджені. Так, за допомогою мікроскопії та спектрального аналізу в працях [38, 39] досліджено формування мікро-структури породоутворюючих мінералів. В залежності від мікротвердості гранітоїд них порід, було експериментально досліджені процеси абразивної обробки [40]. В залежності від шорсткості поверхні каменю, було вивчено зміну блиску його поверхні [41].

Щодо досліджень, пов'язаних з хімічною обробкою, було вивчено вплив різних кольорових пігментів на блиск та колірні показники карбонатних порід (мармур, вапняк) [42, 43]. Крім того, у роботі [44] вивчено вплив просочувальних засобів на пористість мармуру, а також їх глибину просочування [45].

Аналіз літературних джерел показує, що більшість досліджень пов'язані з механічною обробкою. Також більшість експериментів проведені на маломіцних карбонатних породах, що містить один породоутворюючий мінерал. Тому, варто дослідити ефективність хімічної обробки для високоміцних гірських порід.

В роботі [46] було досліджено вплив високої температури на фізико-механічні властивості турецьких вапняків та мармурів, але не було вивчено вплив температури на швидкість поширення ультразвукової хвилі в природному камені. Це розширило б можливості діагностування міцності природного каменю неруйнівним способом. Мікропорушення в природному камені, які виникли внаслідок нагрівання, знижують швидкість поширення ультразвукової хвилі. Так, в роботі [47], було встановлено, що для вапняку залежність розповсюдження ультразвукової хвилі від температури нагрівання описується поліномами третього порядку. При цьому швидкість поширення ультразвукової хвилі випробувалося на кубічних зразках з розмірами ребр 3 і 5 см. Це дає привід вважати, що вимірювання швидкості поширення ультразвукової хвилі мали похибку, оскільки для перетворювача (передавач і приймач) з частотою 54 кГц бази 5 см не достатньо.

З експериментального дослідження фізико-механічних властивостей піщаника та граніту під впливом високих температур [48] видно, що міцність на стиск, швидкість поздовжніх хвиль та модуль пружності є різними макропоказниками фізико-механічних властивостей породи, які не повністю узгоджуються зі зміною температури. Разом з тим, в даній публікації не розглядався вплив петрографічних характеристик на зміну фізико-механічних властивостей гірських порід під впливом високих температур.

Відмінність залежностей поширення ультразвукової хвилі в зразках природного каменю від нагрівання можна пояснити відмінністю мінерального складу, структурою та текстурою каменю. Залишається досі не вивчена залежність поширення ультразвукової хвилі в зразках лабрадориту від нагрівання.

Основним фактором, який впливає на будівельні матеріали під час пожежі, є теплота, яку випромінює полум'я. Це, в свою чергу, призводить до зміни декоративних властивостей природного каменю. В більшості гранітів [8] спостерігається збільшення значення компоненти L (зображення зразків каменю світліє) колориметричної системи CIE Lab. Але деякі зразки гранітів мають тенденцію до зменшення значення компоненти L. Колір вимірювався спектрофотометром MINOLTA CR-200 з освітлювачем D65, пучком дифузного ксенонового світла діаметром 8 мм. Даний метод вимірювання може давати похибки при визначенні кольору через складність визначення репрезентативного значення кольору в гетерогенному матеріалі, в якому розмір зерна може перевищувати діаметр пристрою.

В дослідженні [49] підтверджуються збільшення значення компоненти L (зображення зразків каменю світліє) колориметричної системи CIE Lab в мармурах під впливом високої температури. Колір оцінювали з використанням колориметра Hunter CIELAB, який має вимірювальну діафрагму 8 мм, що знижує точність вимірювання. Дані дослідження залишаються невивченими для лабрадоритів.

Крім того, при нагріванні каменю спостерігається зміна кольору, а в деяких породах проявляються руді плями. Плями виникають за рахунок

окиснення заліза, яке міститься в мінералах гірської породи. У великій кількості окиснене залізо з'являється на поверхні зразків з габро [48] та вапняку [47]. В меншій мірі окиснене залізо з'являється на поверхні зразків граніту [49]. Разом з тим, відсутні відомості про кількісний підрахунок площі плям окисненого заліза на поверхні зразків каменю. А також залишилися невирішеними питання, які пов'язані зі зміною кольору лабрадориту під час нагрівання.

Все це дає підстави стверджувати, що є доцільним проведення дослідження, яке присвячене вивченню поведінки природного каменю під дією високих температур. Що допоможе вирішити задачу з прогнозування змін декоративних властивостей та фізико-механічних характеристик природного каменю при нагріванні.

Висновки до розділу 1

1. Ринок декоративного каменя країн Близького і Далекого Сходу, США, Китаю, Індії, Бразилії, ПАР нині характеризується швидкими темпами зростання. Але незважаючи на це, країни Західної Європи були і надалі залишаються лідерами на цьому ринку.

2. Відмінність залежностей поширення ультразвукової хвилі в зразках природного каменю від нагрівання можна пояснити відмінністю мінерального складу, структурою та текстурою каменю. Залишається досі не вивчена залежність поширення ультразвукової хвилі в зразках лабрадориту від нагрівання.

3. Керувати кольором природного каменю можливо фізико-технічними способами та хімічними реагентами, але залишається досі маловивчений вплив хімічних реагентів на декоративність українських родовищ природного каменю.

4. Відсутні відомості про кількісний підрахунок площі плям окисненого заліза на поверхні зразків каменю. А також залишилися невирішеними питання, які пов'язані зі зміною кольору природного каменю під час нагрівання.

Розділ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЯКІСТЬ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

2.1. Дослідження впливу агресивного середовища на декоративність та якість продукції з природного каменю

Зі спостережень за фасадами будівель видно, що різні породи природного каменю мають різний життєвий строк. Одні гірські породи зберігають свій колір та гарну геометричну форму сторіччями, інші – декілька десятків років.

Число факторів, що обумовлюють корозію, достатньо велике. Сюди можна віднести дію вологи, температури, вплив агресивних газів атмосфери, механічне руйнування, вплив біогенних факторів. Враховуючи, що атмосфера і води з кожним роком стають все агресивнішими за рахунок надходження до них оксидів сірки, азоту, вуглецю та інших інгредієнтів, то й кам'яні вироби піддаються в окремих випадках значній корозії. Тому в даній роботі буде вивчено вплив окремо кислого, лужного і сольового середовищ на художньо-естетичний вигляд облицювальних декоративних каменів [15].

Так як тривалість процесів, що протікають в природі, не можливо порівняти з тривалістю людського життя, то для даного експерименту потрібно інтенсифікувати процеси дії агресивного середовища на камінь.

Даним дослідженням слід визначити, які облицювальні породи більш або менш піддаються корозії, як корозія впливає на естетичний вигляд лицьової поверхні каменю, і дати рекомендації щодо умов їхнього використання.

Для дослідження зміни декоративних показників облицювального каменю був поставлений експеримент в лабораторних умовах.

В якості об'єктів дослідження виступили зразки облицювальних каменів: лабрадорит Кам'янобрідський, габро Букинське, гранодіорит

Покостівський, граніт Капустинський. Мінералогічний склад даних порід наведений у табл. 2.1.

Досліди з визначення зміни кольору природного каменю проводились при температурі 20 °С в агресивних середовищах: гідроксид натрію (NaOH) з концентрацією 40 г/л, сірчана кислота (H₂SO₄) – 40 г/л, амоній хлористий (NaCl) – 40 г/л. Загальна тривалість впливу складала 50 діб.

Таблиця 2.1

Мінералогічний склад порід

Гірська порода (назва родовища)	Плагіоклаз, %	Польовий шпат, %	Кварц, %	Піроксен, %	Біогит, %	Рудні мінерали, %	Інші, %
Лабрадорит (Кам'янобрідське)	64–97	-	-	< 10		0–3	3–5
Габро (Букінське)	57–72	2–9	< 5	25–32	< 3	1–2	-
Гранодіорит (Покостівське)	35–55	15–30	10–25	-	5–15	-	< 1
Граніт (Капустинське)	24	50	18	-	7	-	1

Перед тим як помістити зразки природного каменю в агресивне середовище, полірована поверхня природного каменю була сканована на цифровому сканері. Також було отримане середнє значення блиску полірованої поверхні за допомогою блискоміру БФ-3. Зразки природного каменю поміщалися в агресивні розчини та через кожні 240 год проводилися повторні виміри блиску та кольору.

Перед тим як зробити чергові вимірювання кольорових характеристик та блиску природного каменю його ретельно промивали дистильованою водою та сушили. При появлені білих плям на поверхні каменю після висихання їх ретельно витирали вологою серветкою.

Скановані цифрові зображення оброблялися в спеціальних графічних програмах з метою отримання кольорових координат поверхні природного каменю.

Середнє значення колірної різниці в системі CIELab визначається за формулою:

$$\Delta_k = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}, \text{ од} \quad (2.1)$$

де ΔL , Δa , Δb – середні значення відстаней відповідно між значеннями світлоти, червоно-зелених та жовто-синіх компонент в кольорі, од.

Блиск поверхні природного каменю вимірювався в п'яти точках, показники блиску усереднювали.

Зміна коефіцієнта дзеркального відображення обчислювалась:

$$\Delta_B = |B_n - B_o|, \text{ одиниці шкали блискоміру} \quad (2.2)$$

де B_n – середнє арифметичне значення блиску поверхні каменю після впливу агресивного середовища, од;

B_o – початкове середнє арифметичне значення блиску поверхні каменю, що

досліджується, од.

В процесі проведення дослідження визначалися:

- швидкість зміни колірною забарвлення поверхні каменю;
- швидкість зміни блиску полірованої фактури каменю;

побудувати залежності:

- зміни колірною забарвлення поверхні декоративного каменю полірованої фактури від тривалості впливу агресивного розчину;
- зміни коефіцієнта полірованої фактури декоративного каменю від тривалості дії агресивного розчину;
- залежність світлоти в кольорі від коефіцієнта дзеркального відображення.

Швидкість зміни колірною забарвлення визначалась із співвідношення:

$$v_k = \frac{\Delta_k}{t}, \text{ од} \cdot \text{год}^{-1} \quad (2.3)$$

де t – тривалість дії агресивного середовища, год.

Швидкість зміни коефіцієнта дзеркального відображення полірованої фактури визначалась із співвідношення:

$$v_k = \frac{|B_n - B_0|}{n} = \frac{\Delta_B}{n}, \text{ од} \cdot \text{год}^{-1} \quad (2.4)$$

Отримані дані показників складових кольору в колірній системі оцінювання Lab і коефіцієнта дзеркального відображення (B) полірованої фактури порід, що витримувались в кислому, лужному та сольовому розчині наведені на рис. 2.1-2.13.

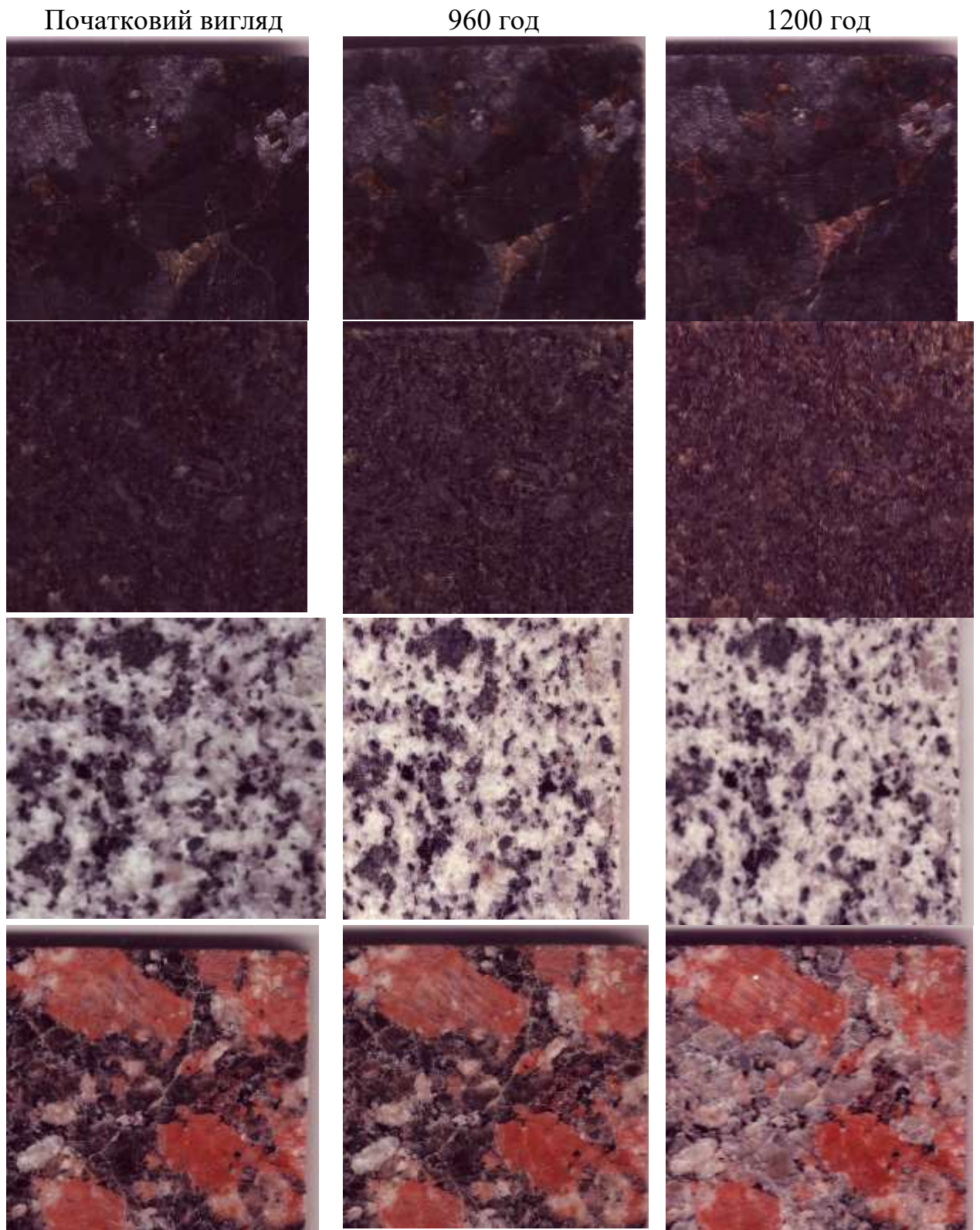


Рис. 2.1. Вигляд зразків каменю після впливу агресивного середовища

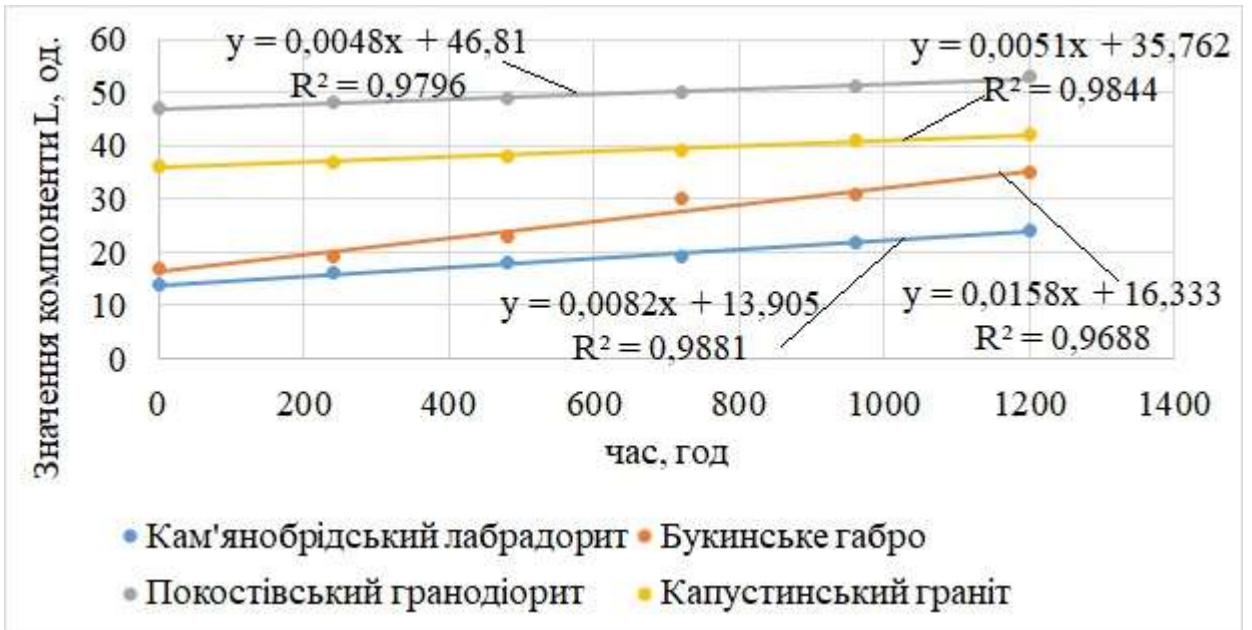


Рис. 2.2. Залежність зміни показника L колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого розчину

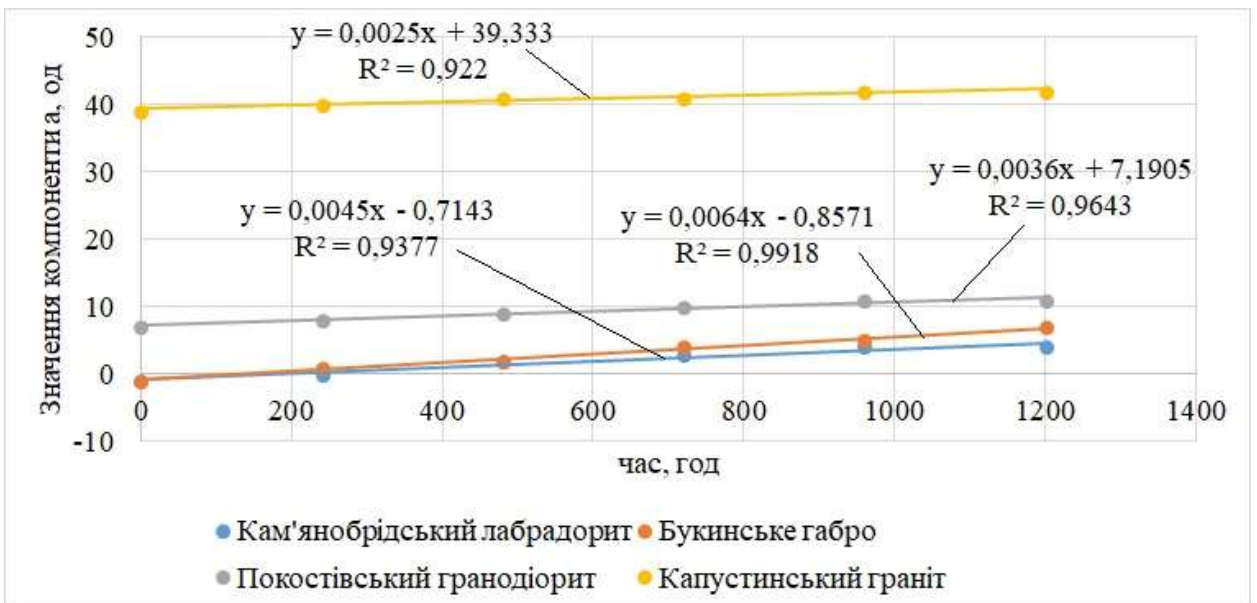


Рис. 2.3. Залежність зміни показника a колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого розчину

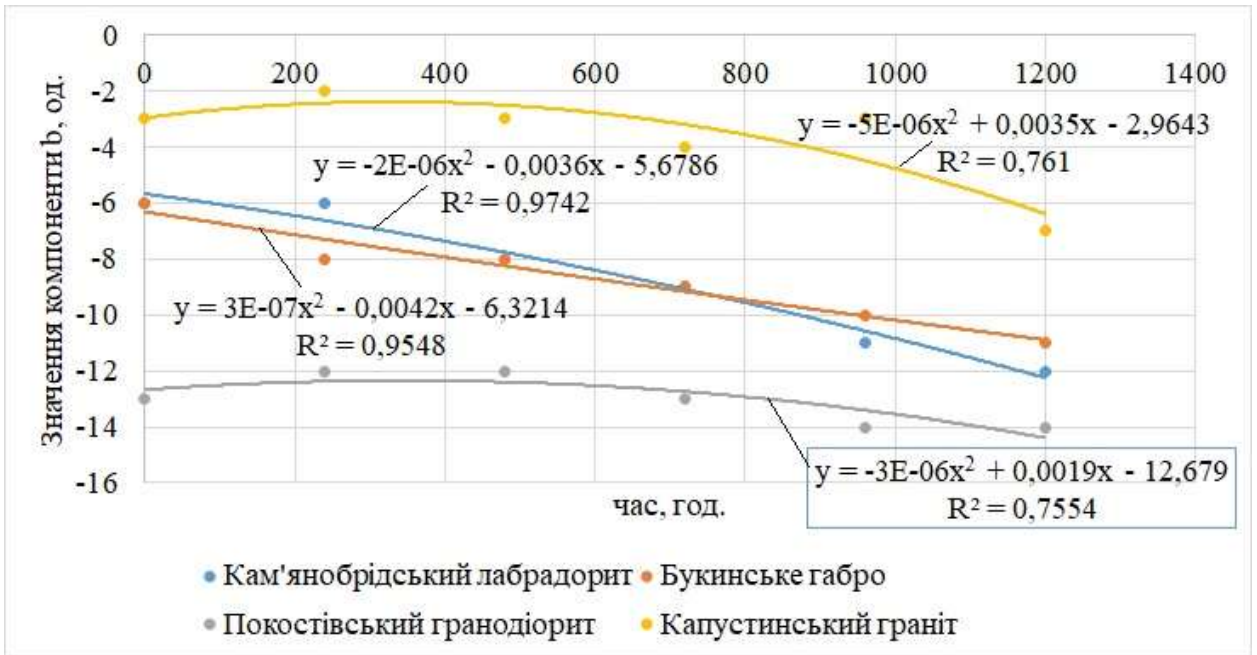


Рис. 2.4. Залежність зміни показника b колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого розчину

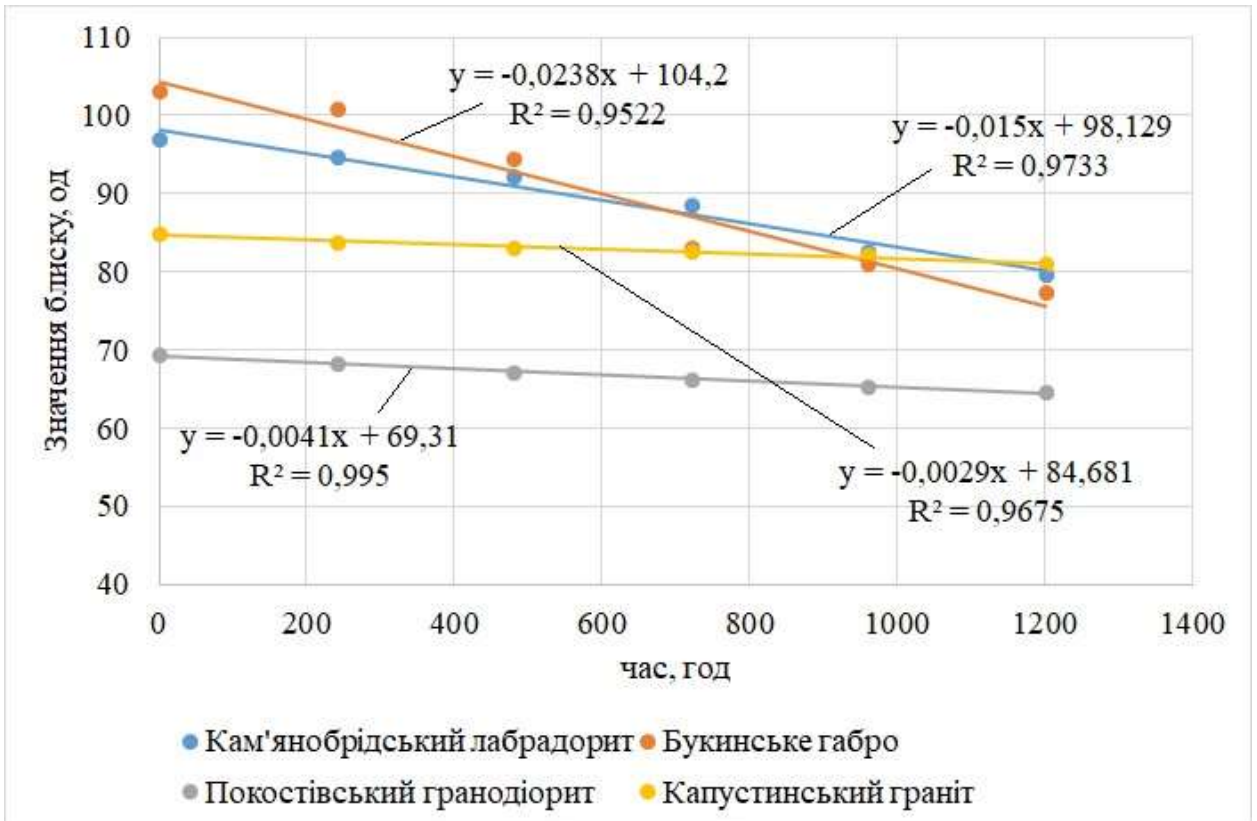


Рис. 2.5. Залежність зміни показника блиску від часу впливу кислого розчину

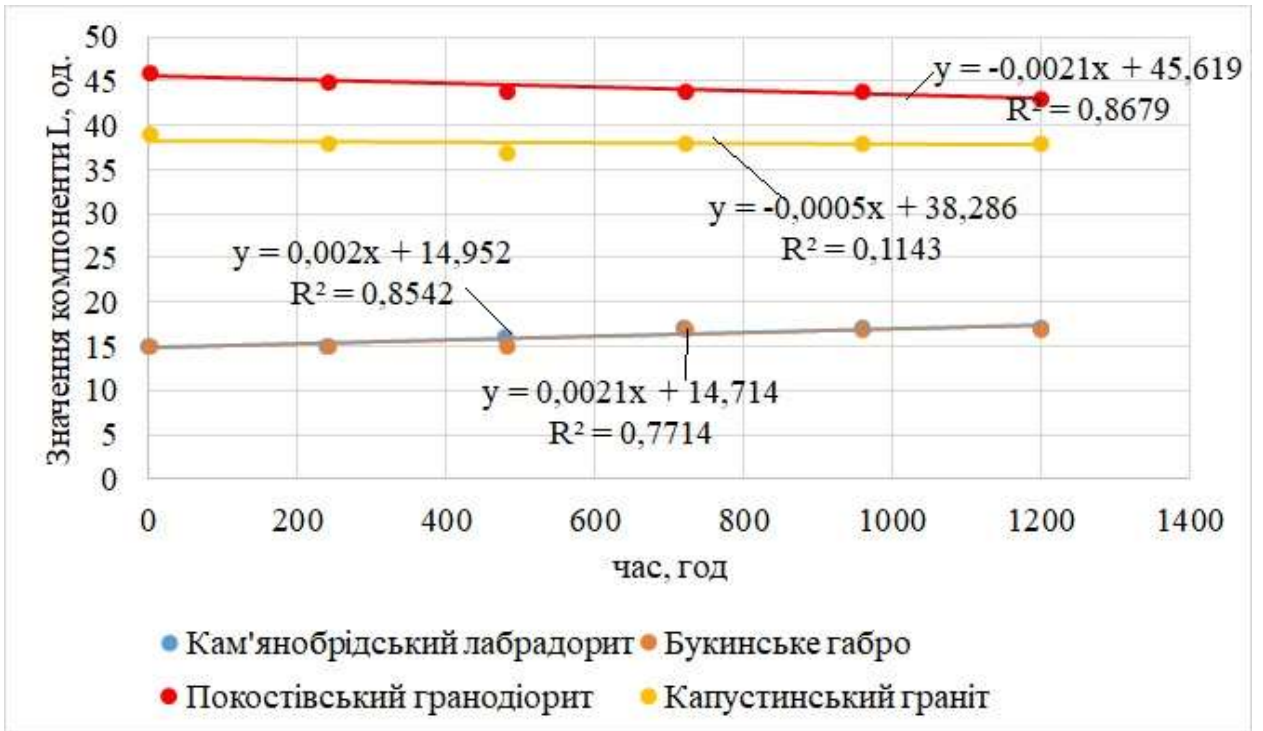


Рис. 2.6. Залежність зміни показника L колориметричної системи CIELab від часу впливу лужного розчину

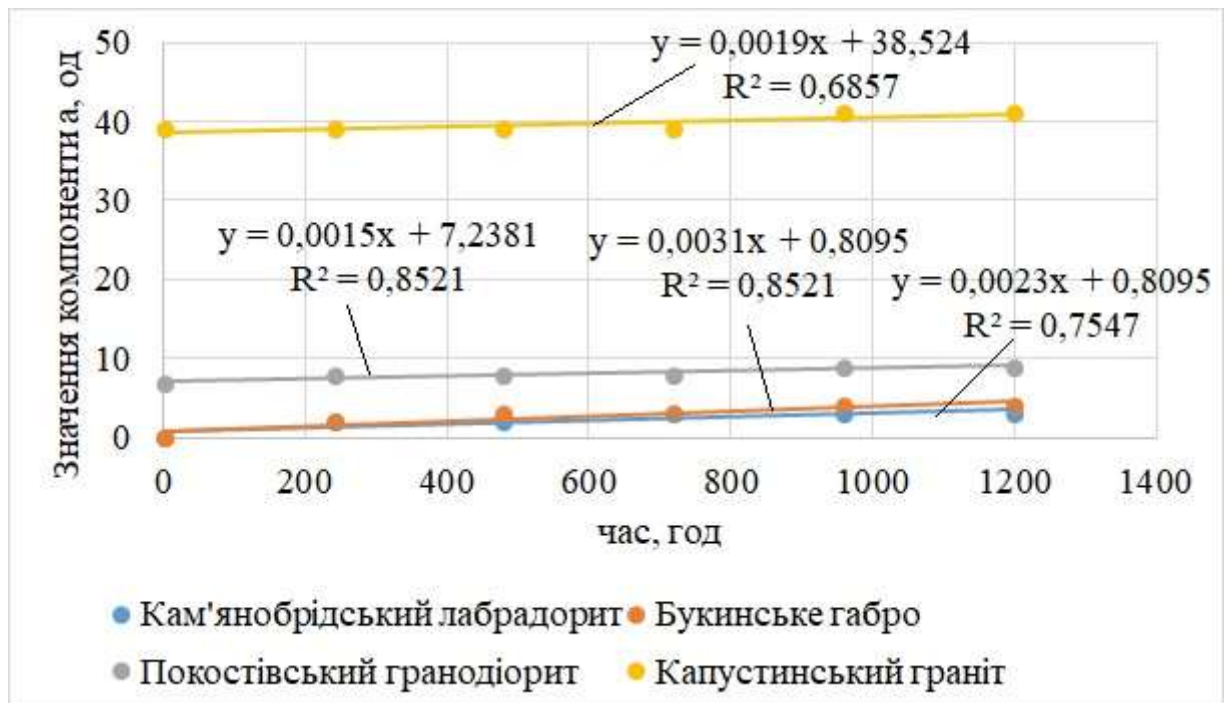


Рис. 2.7. Залежність зміни показника a колориметричної системи CIELab від часу впливу лужного розчину

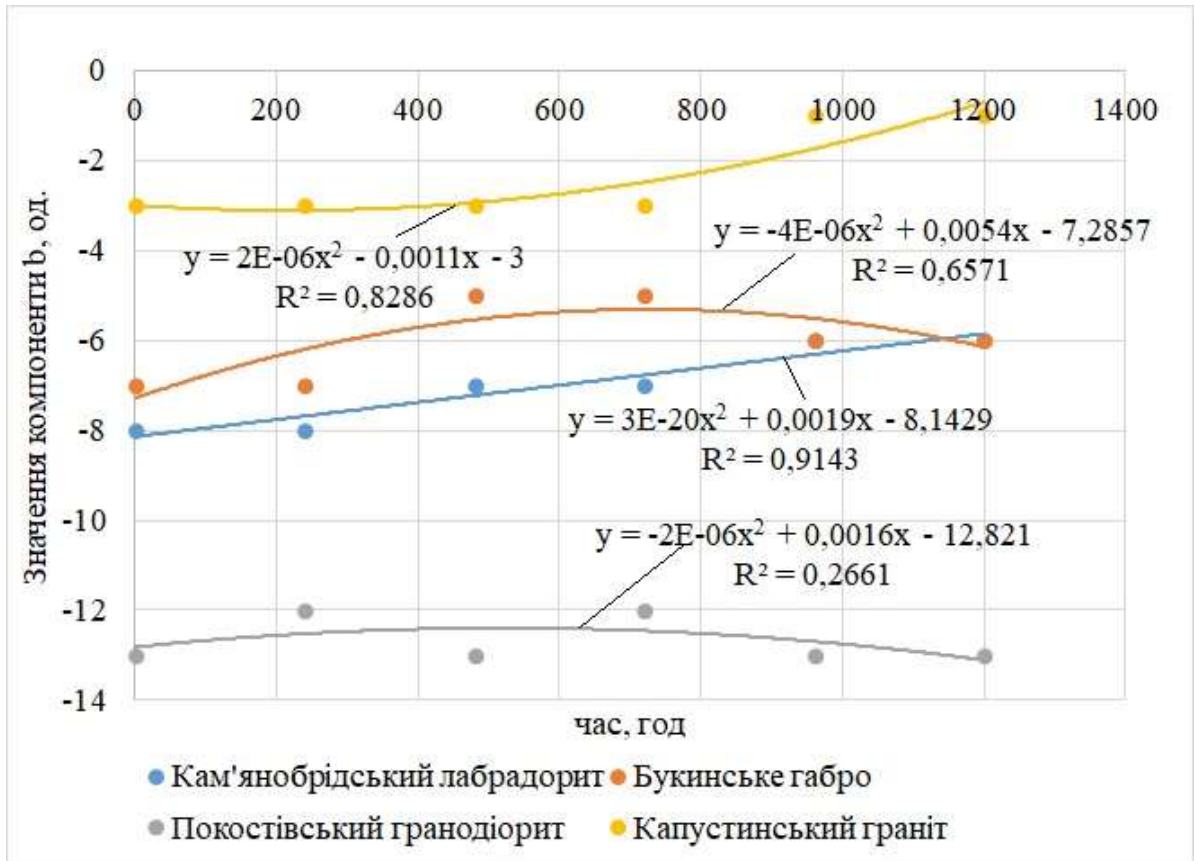


Рис. 2.8. Залежність зміни показника b колориметричної системи CIELab від часу впливу лужного розчину

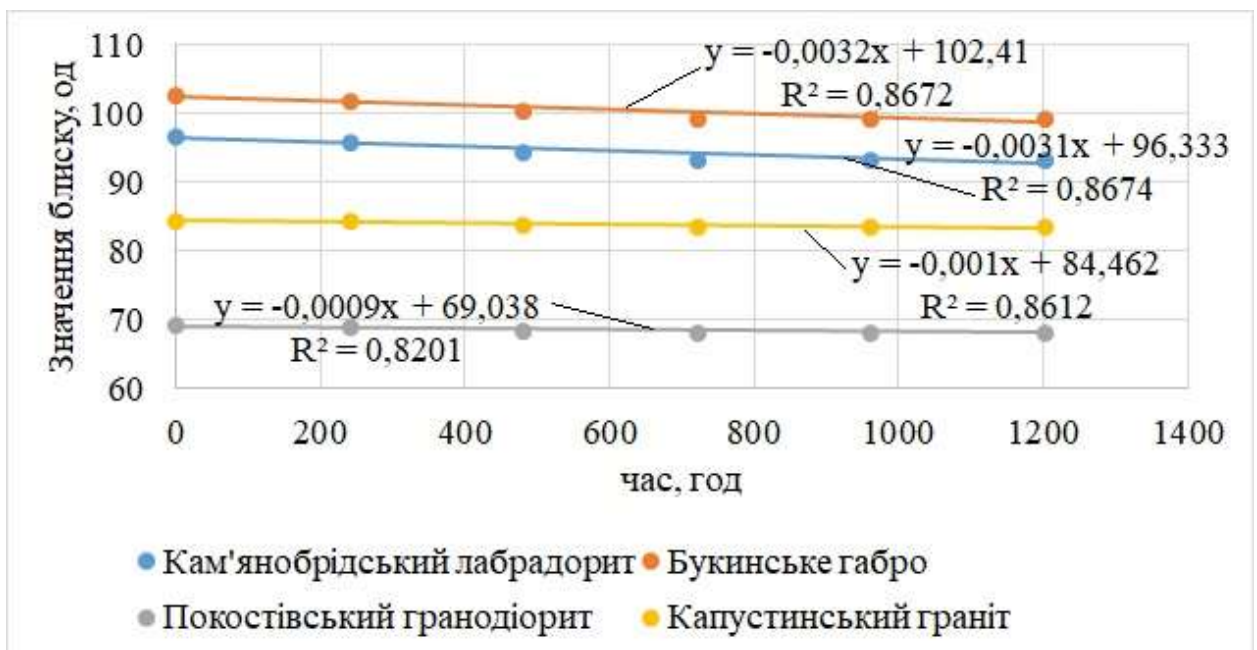


Рис. 2.9. Залежність зміни показника блиску від часу впливу лужного розчину

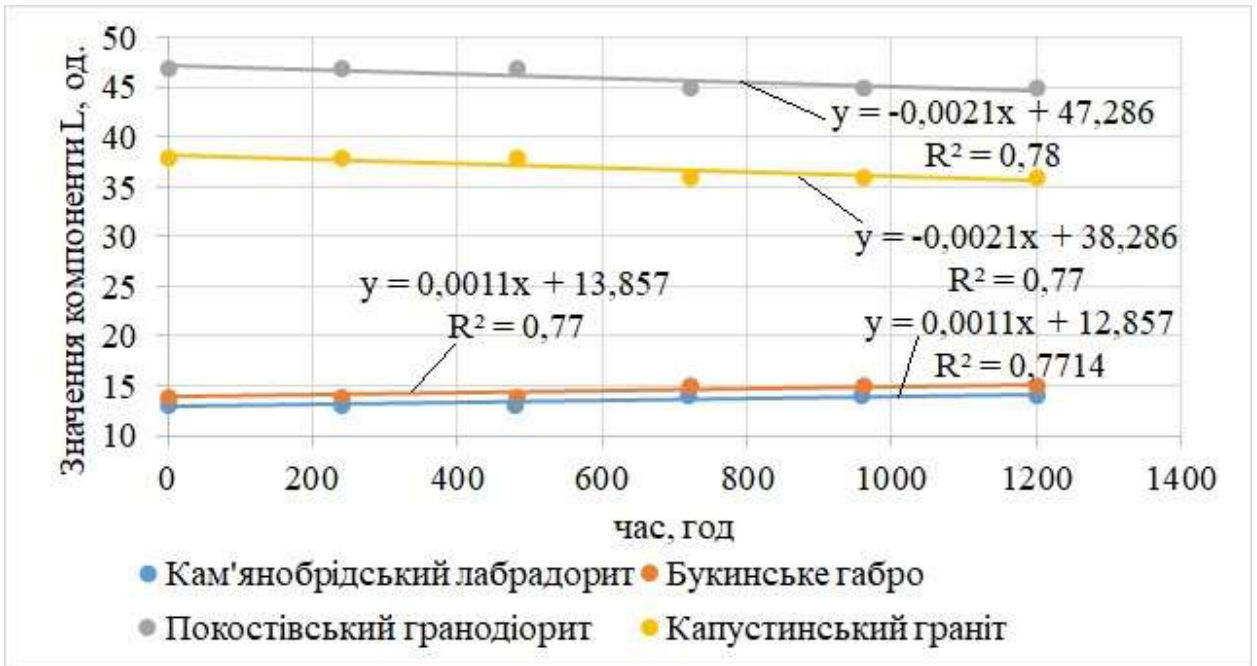


Рис. 2.10. Залежність зміни показника L колориметричної системи CIELab від часу впливу сольового розчину

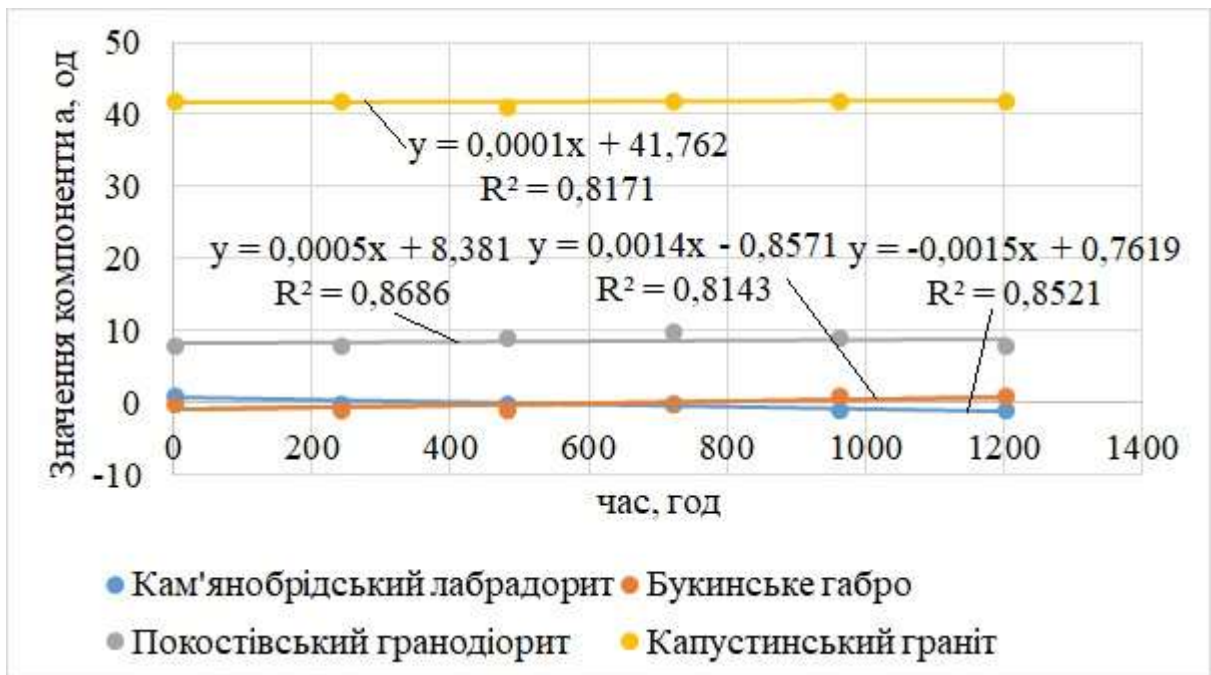


Рис. 2.11. Залежність зміни показника a колориметричної системи CIELab від часу впливу сольового розчину

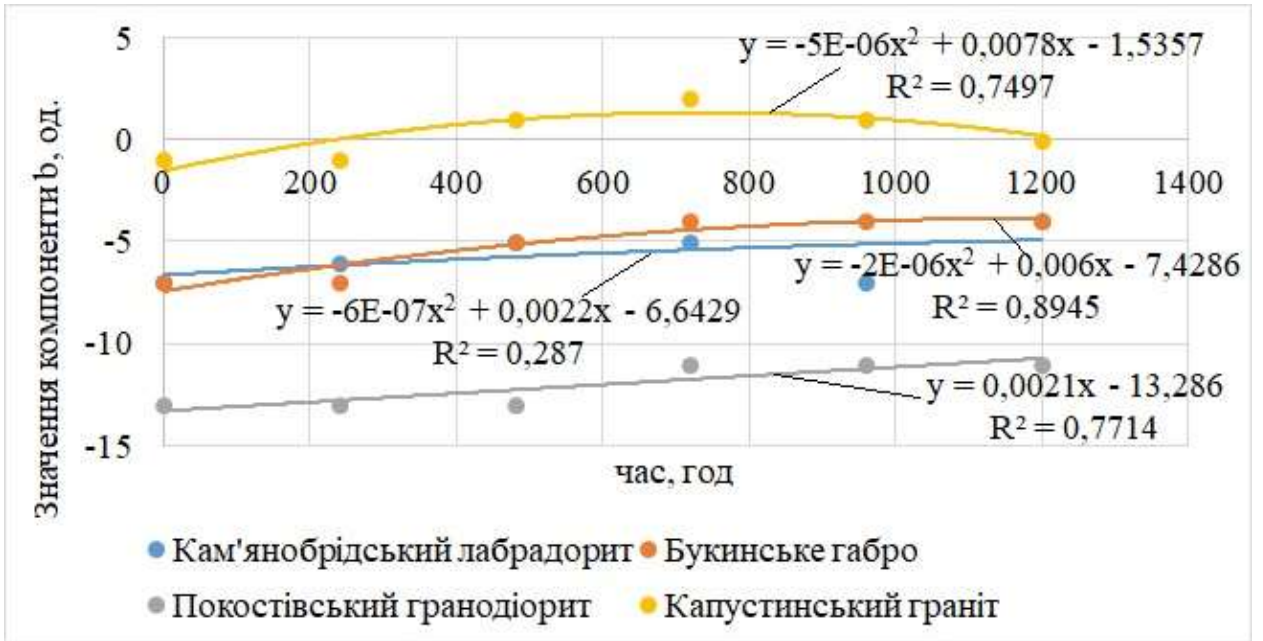


Рис. 2.12. Залежність зміни показника b колориметричної системи CIELab від часу впливу соляного розчину

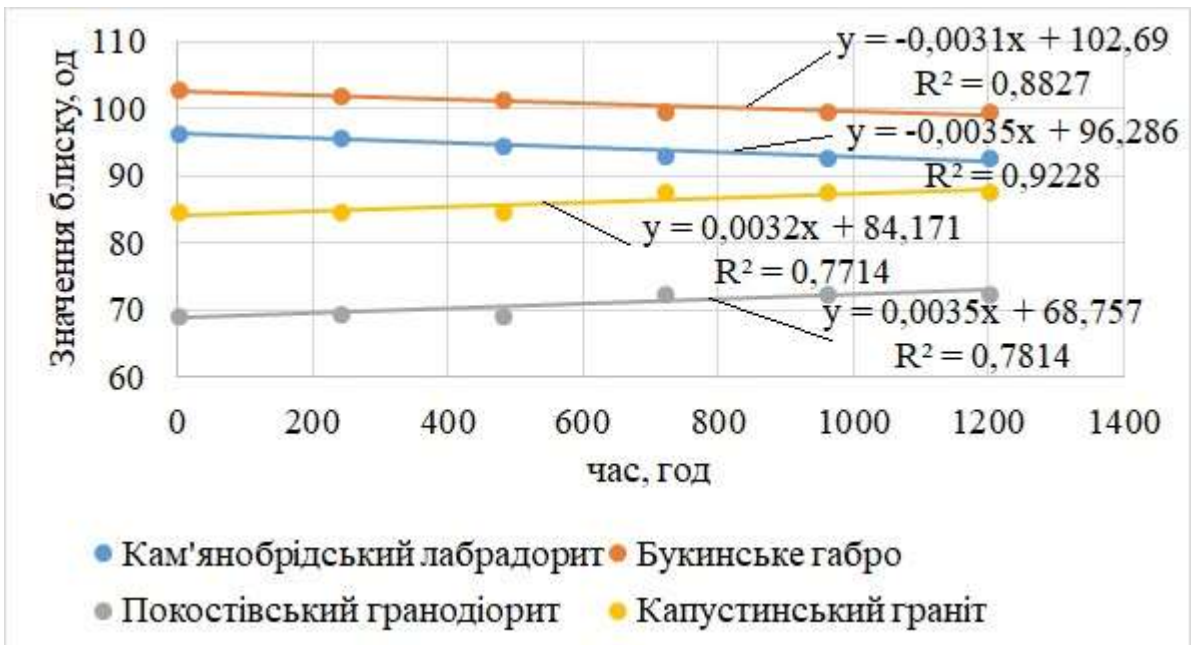


Рис. 2.13. Залежність зміни показника блиску від часу впливу соляного розчину

З рис. 2.14 видно, що кисле середовище збільшує показник L колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого розчину. Найбільше збільшення відбувається в Букинському габро. Сольовий розчин має найменший вплив на показник L колориметричної системи CIELab, в основному складу гірських порід має позитивні значення у кислих порід має від'ємне. Зростання показника L колориметричної системи CIELab відповідає світлішому тону поверхні природного каменю, зниження – темнішому тону.

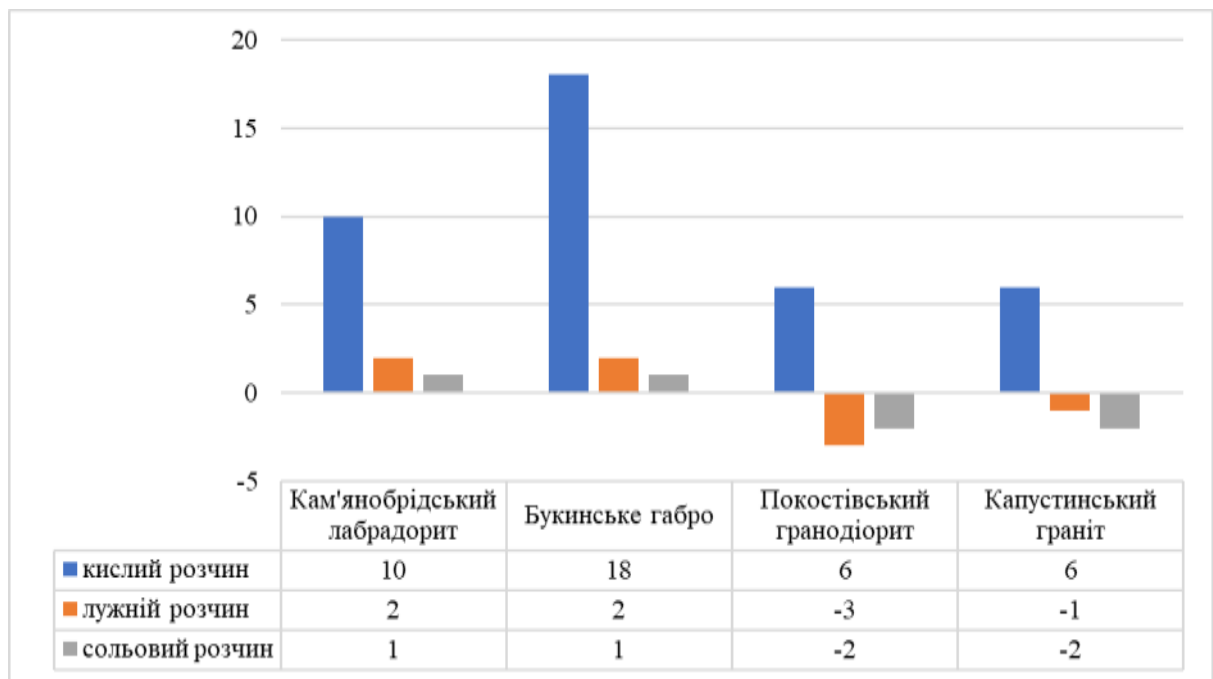


Рис. 2.14. Зміна показника L колориметричної системи CIELab при впливі агресивного розчину протягом 720 год

З рис. 2.15 видно, що кисле середовище збільшує показник a колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого розчину. Найбільше збільшення відбувається також в Букинському габро. Сольовий розчин має найменший вплив на показник a колориметричної системи CIELab.

В зразках Кам'янобрідського родовища цей показник знижується. В зразках інших родовищ показник a колориметричної системи CIELab майже не зростає. Зростання показника a колориметричної системи CIELab

відповідає червоному кольору поверхні природного каменю, зниження – зеленому кольору.

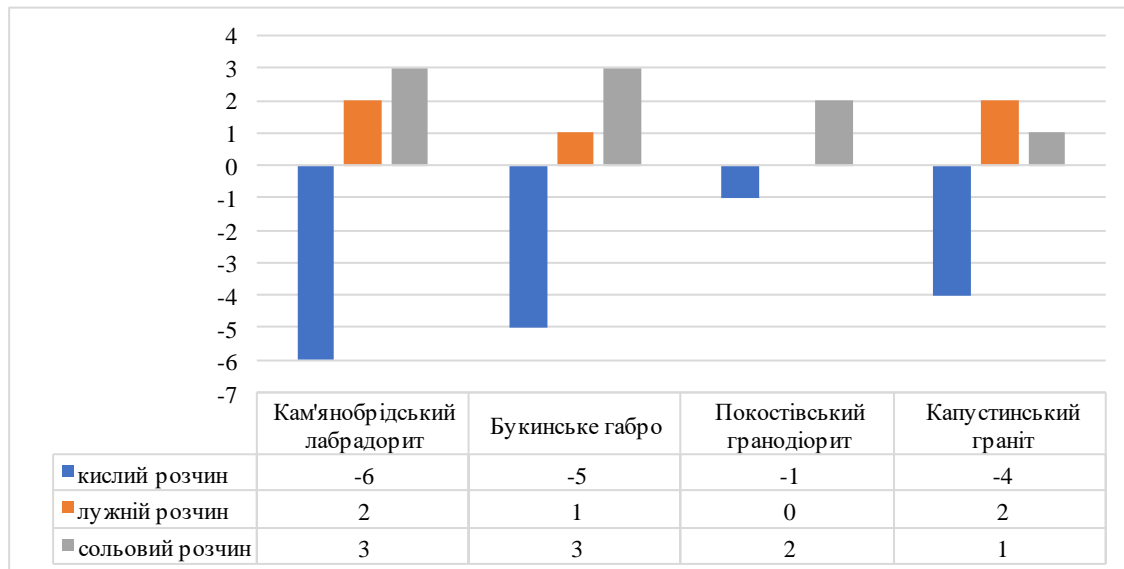


Рис. 2.15. Зміна показника a колориметричної системи CIELab при впливі агресивного розчину протягом 720 год

З рис. 2.16 видно, що кисле середовище знижує показник b колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого розчину. Найбільше збільшення відбувається в Кам'янобрідському лабрадориті та Букинському габро. Сольовий розчин має найбільший вплив зростання показника b колориметричної системи CIELab. В зразках Букинського габро цей показник найбільше підвищується. Зростання показника b колориметричної системи CIELab відповідає зеленому кольору поверхні природного каменю, зниження – синьому кольору.

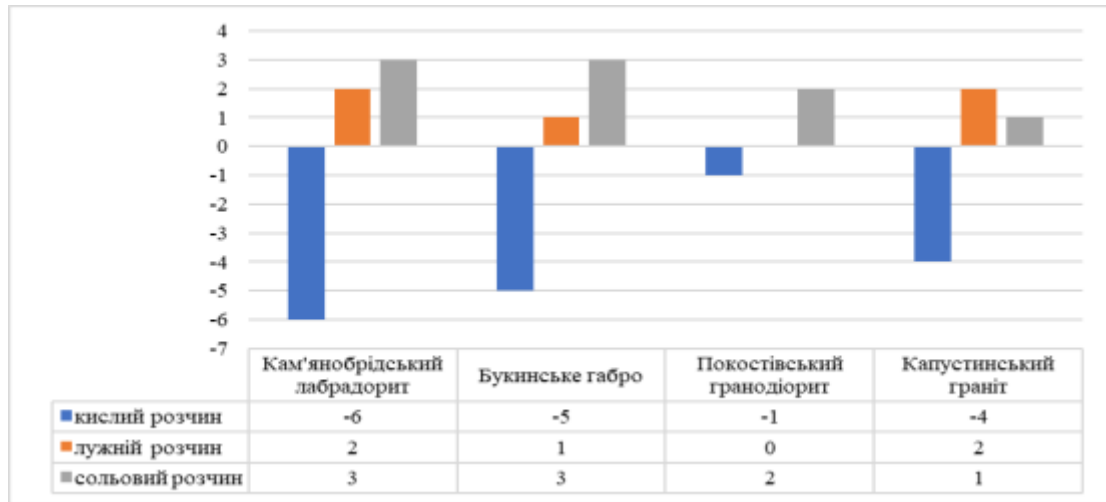


Рис. 2.16. Зміна показника b колориметричної системи CIE Lab при впливі агресивного розчину протягом 720 год

З рис. 2.17 видно, що кисле середовище знижує показник блиску від часу впливу кислого розчину. Найбільше збільшення відбувається в Кам'янобрідському лабрадориті та Букинському габро. Лужний розчин має найменший вплив зміну показника блиску.

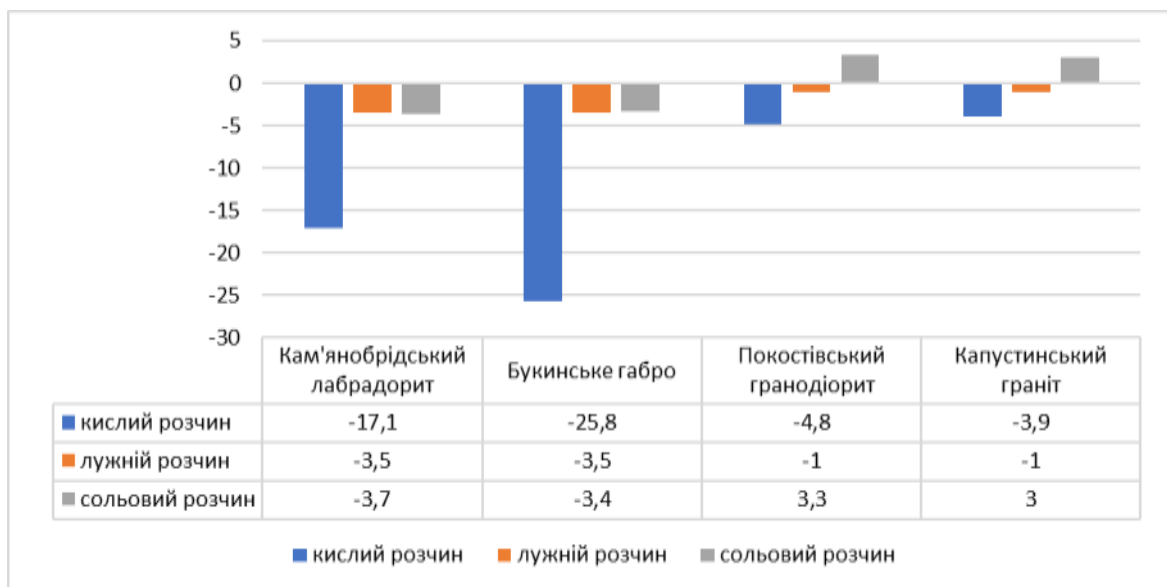


Рис. 2.17. Зміна показника блиску при впливі агресивного розчину протягом 720 год

В зразках кислих порід значення блиску навіть збільшує. Зростання показника блиску відповідає кращій відбивній здатності поверхні природного каменю.

2.2. Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю

З графіків, які показані на рис. 2.1-2.18 видно, що корозія та зміна кольору поверхні природного відбувалася по-різному для різних типів гірських порід. З часом витримки гірських порід в агресивному розчині відбувається зміна кольорових координат полірованої поверхні природного каменю. Найбільші зміни кольорових координат має габро, швидкість зміни складає $0,0198 \text{ коорд}\cdot\text{год}^{-1}$ при витримці зразків в агресивному розчині 720 год. Причиною цього є великий вміст в габро рудних мінералів, які утворювали на поверхні каменю руді плями.

На поверхні лабрадоритів теж з'являлися руді плями, швидкість зміни кольорових координат склала $0,0111 \text{ коорд}\cdot\text{год}^{-1}$ при витримці зразків в агресивному розчині 960 год. Зі збільшенням часу впливу агресивного розчину на поверхню природного каменю спостерігається збільшення швидкості зміни кольору (рис 2.18), це можна пояснити процесом корозії полірованої поверхні природного каменю. Виколи та каверни на полірованій поверхні збільшують площу взаємодії агресивного розчину з каменем.

Відмінності швидкостей зміни кольорових координат між габро та лабрадоритом можна пояснити тим, що в габро міститься піроксен ($\text{Ca}, \text{Mg}_2, \text{Fe}_2, \text{Mn}[\text{Si}_2\text{O}_6]$) в великій кількості 25-30 %. В той же час в лабрадориті міститься цей мінерал в кількості менше 10 %. Піроксен через свою будову піддається розшаруванню під час корозії. Букинське габро має значне розкидання рудних мінералів (ільменіту, гематиту, магнетиту, піриту) по поверхні. Ці мінерали в перші дні дії агресивної рідини окислились та почали

руйнуватись, що призвело до підвищення швидкості корозії.

Інтенсивність зміни кольору у зразках з габро вище в 1,6 разів ніж у лабрадориті.

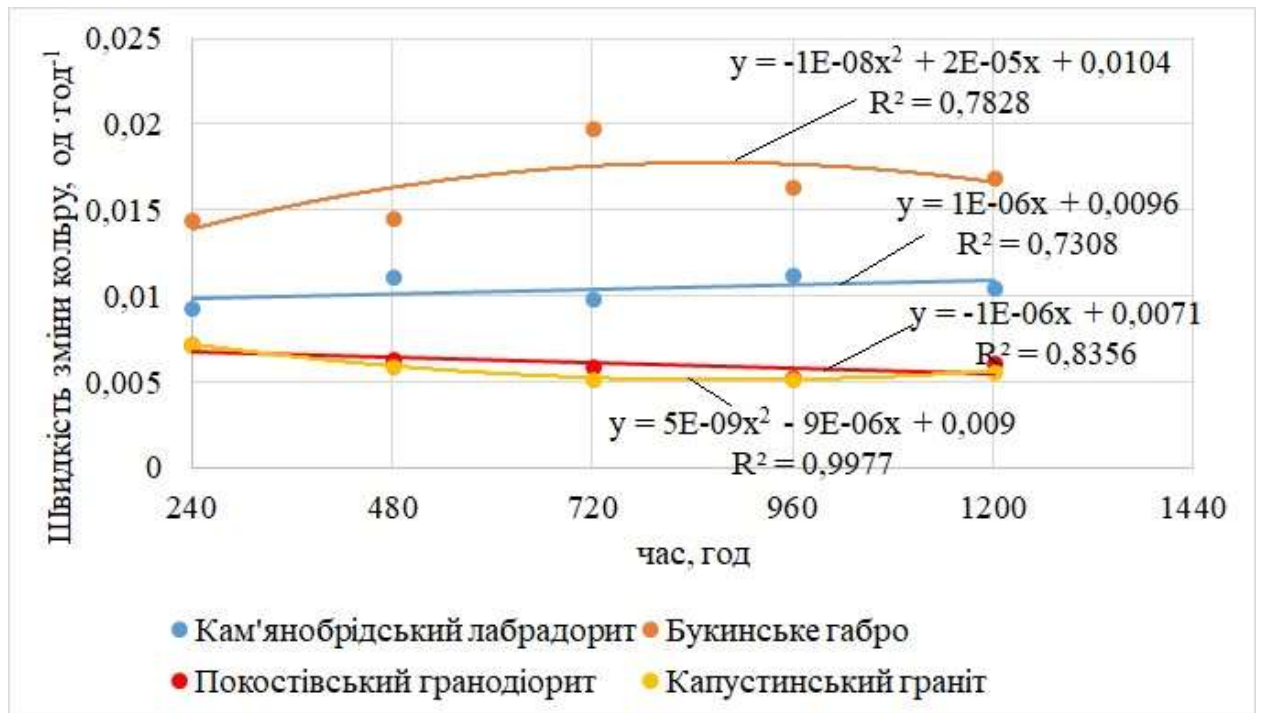


Рис. 2.18. Залежності зміни колірної забарвлення полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї кислого середовища

При візуальному огляді лабрадориту та габро були встановлені зміни в кольорі на поверхні дослідних зразків:

- 1) у зразках габро чорний колір змінився на сірий;
- 2) у зразках з лабрадориту в спаяностях плагіоклазів з'явилися білі плями; плагіоклази з домішками хлориту і рудними прожилками також побіліли.

Кислі гірські породи не значно змінили колір під впливом агресивного розчину. Швидкість зміни кольору гранітів знижувалася. При витримці зразків каменю в кислому розчині більше 960 год спостерігалось підвищення швидкості зміни кольору. Аналіз даного графіку показує, що граніти більш стійкі до кислого розчину ніж габро та лабрадорити. Капустинський граніт

виявився більш стійким до корозії кислого розчину ніж гранодіорит, причиною цього може бути мінеральний склад. Гранодіорит за вмістом кварцу має проміжне значення між гранітами і діоритами [24, 25]. Однією з причин може слугувати недостатньо відполірована поверхня (коефіцієнт відбиття становить 69,4).

При візуальному огляді Покоствівський гранодіорит набув світло-сірого забарвлення. Поверхня стала матовою. Виколів не виявлено. Колір граніту став менш насиченим.

Вивчення та аналіз графіків для порід витриманих в лужному розчині дало такі результати.

При впливі лужного розчину на природний камінь швидкості зміни кольору для обох груп порід (основного і кислого) знижуються з часом впливу (рис. 2.19). Дія лужного агресивного середовища позначилась більше на лабрадориті і габро. Швидкість зміни кольору для лабрадориту та габро зростала перші 480 год, потім знижувалася.

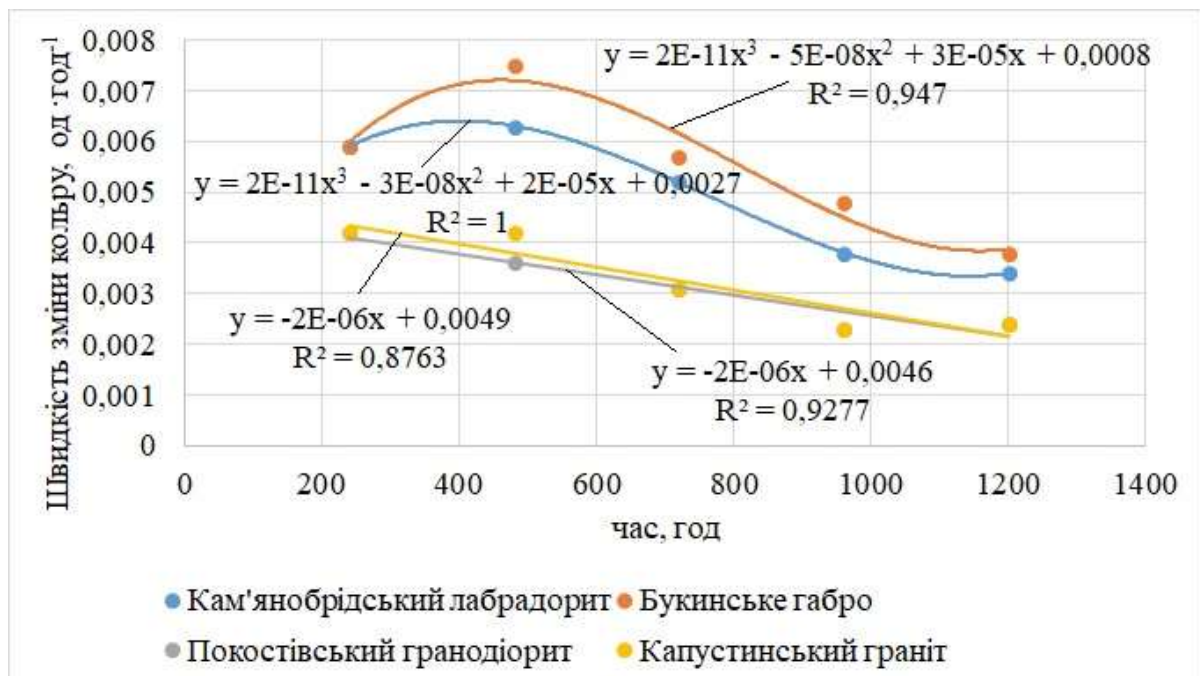


Рис. 2.19. Залежності швидкостей зміни колірної забарвлення полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї лужного середовища

При візуальному огляді було виявлено появу бурих плям на поверхні лабрадориту і габро, незначне потемніння граніту і гранодіориту.

В сольовому розчині швидкості втрати кольору у порід основного складу знижуються, тобто колір майже не змінюється (рис. 2.20). У лабрадориту після 960 год швидкість зміни кольору зростає на 12 %, про що свідчить поява бурих плям на місцях рудного включення.

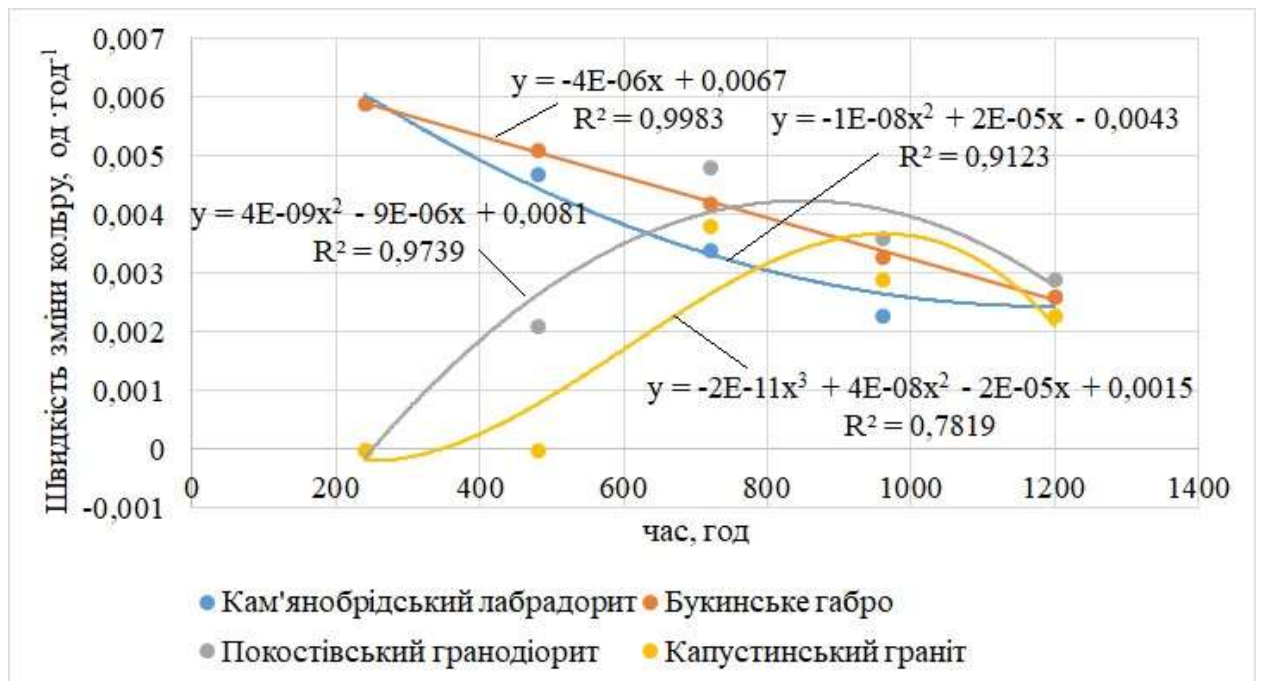


Рис. 2.20. Залежності зміни колірної забарвлення полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї сольового середовища

Гранодіорит і граніт мали початкову швидкість зміни кольору рівну нулю, але потім вона трішки починає зростати. Отже колір почав змінюватись.

Візуальний огляд виявив бурі плями на поверхні лабрадориту і габро; гранодіорит і граніт трохи пожовкли.

Залежності світлоти в кольорі від коефіцієнта дзеркального відображення при впливі кислотного середовища (рис. 2.21, 2.22) свідчать про зростання рівня.

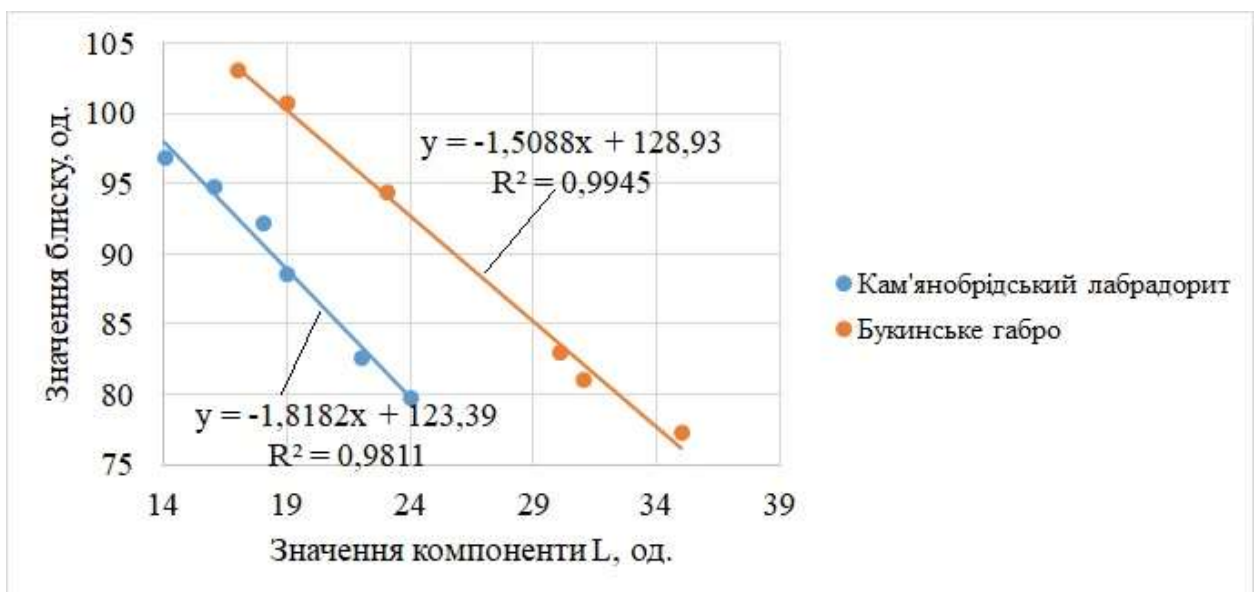


Рис. 2.21. Залежності блиску поверхні основного складу гірських порід від світлоти в кольорі при впливі на неї кислого розчину

З часом насиченість кольору втрачається, поверхня каменю все більше світліє. Це пояснюється тим, що кислотне середовище впливає на мікрорельєф поверхні. Поступово збільшується висота мікро нерівностей, за рахунок чого втрачається дзеркальне відображення, і колір поступово втрачається.

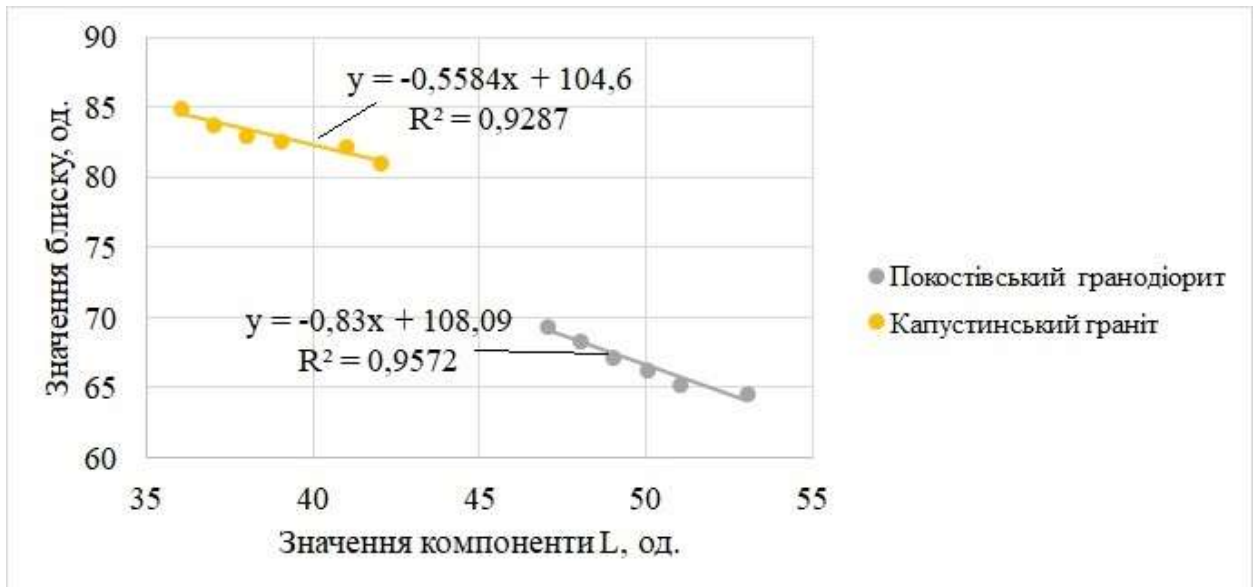


Рис. 2.22. Залежності блиску поверхні кислого складу гірських порід від світлоти в кольорі при впливі на неї кислого розчину

Світлота лабрадориту збільшилась на 10 од., габро на 18 од. і граніту – на 6 од.

Залежності світлоти від коефіцієнта віддзеркалення в лужному середовищі (рис. 2.23, 2.24) для порід основного складу мають зростаючий характер: спостерігається збільшення на 2 од. Для порід кислого складу світлота зменшується: для гранодіориту на 2 од., для граніту на 1 од.

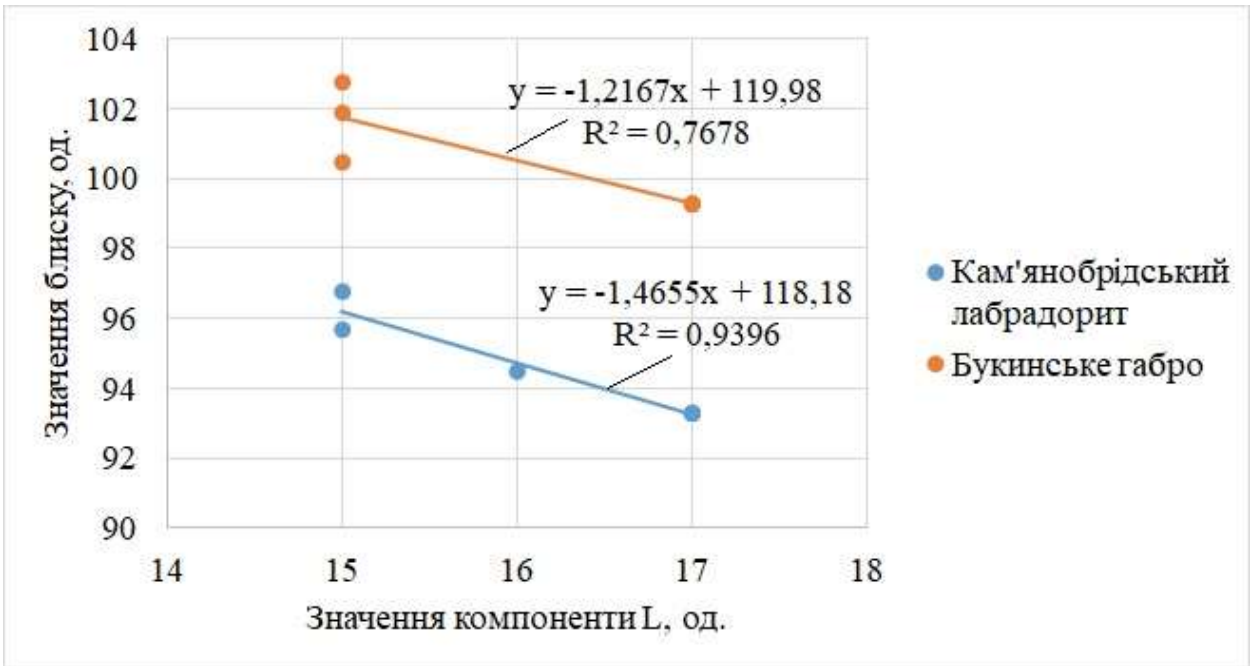


Рис. 2.23. Залежності блиску поверхні основного складу гірських порід від світлоти в кольорі при впливі на неї лужного розчину

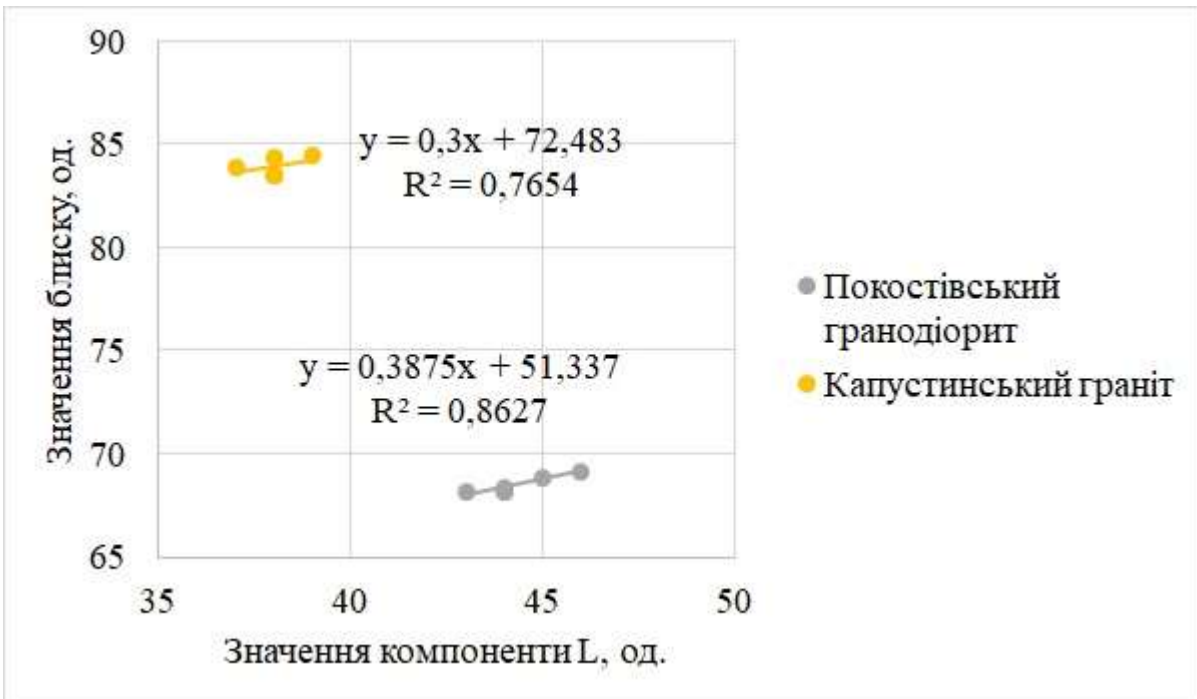


Рис. 2.24. Залежності блиску поверхні кислого складу гірських порід від світлоти в кольорі при впливі на неї лужного розчину

В сольовому середовищі (рис. 2.25, 2.26) породи основного складу також світлішають, кислого складу темнішають.

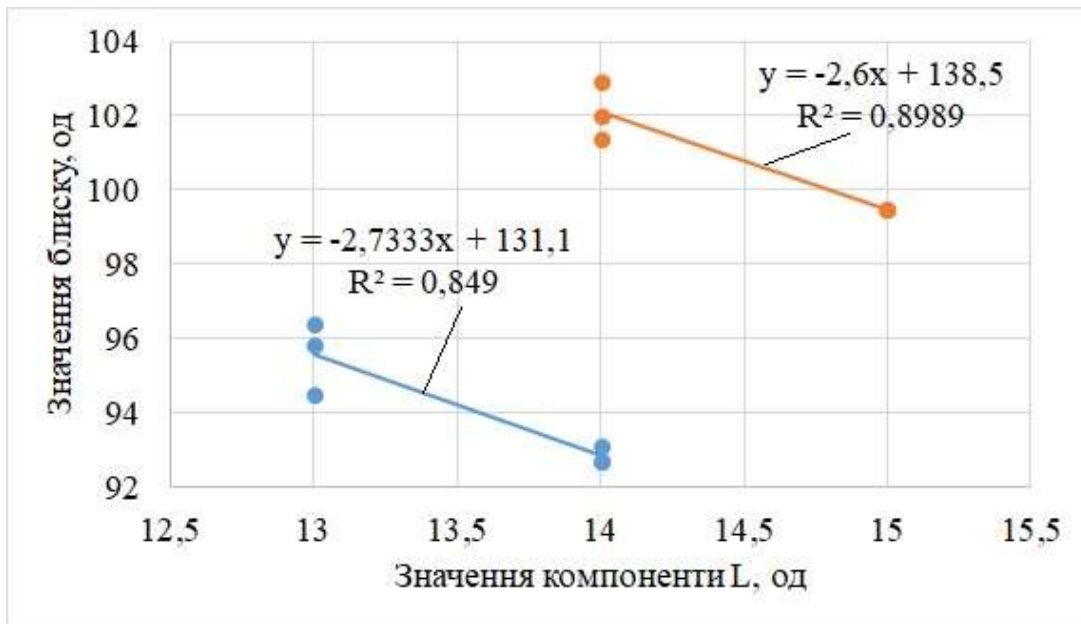


Рис. 2.25. Залежності блиску поверхні основного складу гірських порід від світлоти в кольорі при впливі на неї сольового розчину

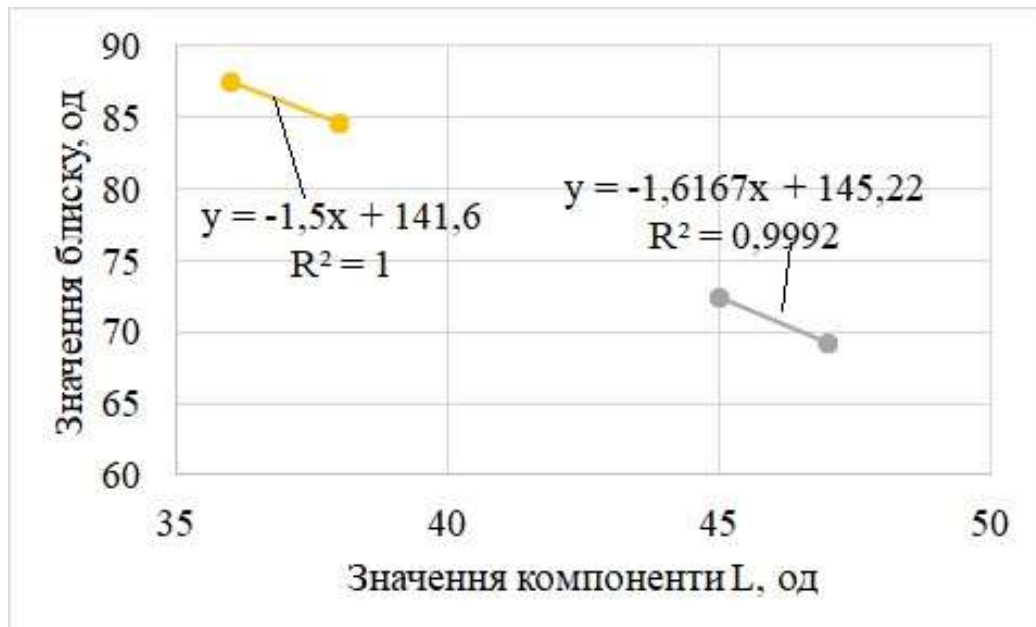


Рис. 2.26. Залежності блиску поверхні кислого складу гірських порід від світлоти в кольорі при впливі на неї сольового розчину

Ми бачимо цікавий характер кривих гранодіориту і граніту в лужному середовищі і габро в сольовому середовищі. Важко пояснити дану нестабільність мабуть тому, що це процеси, які проходять на складному мінерало-хімічному рівні.

2.3. Дослідження впливу агресивного середовища на поліровану фактуру каменю

Аналізуючи отримані графіки (рис. 2.27-2.28), можна констатувати, що швидкість зміни блиску полірованої поверхні у кислому середовищі для порід основного складу зростає, для порід кислого складу спадає. Це свідчить про малу стійкість порід основного складу до кислого середовища. Процес корозії відзначається поступовою стабілізацією після 30–40 діб. Породи кислого складу стійкіші до кислого середовища. Вже після перших 10 діб на поверхні габро з'являються виколи від випадіння окислених вкраплень рудних мінералів (ільменіту, магнетиту, гематиту). На поверхні лабрадориту виколи з'являються після 20 діб. Крім того полірована поверхня поступово стає матовою. Виколи і поступове зниження дзеркального відбиття знижують якість полірованої фактури.

Виколи на поверхні граніту з'явилися після 30 діб. Поверхня гранодіориту стала матовою. Причиною цього є початковий низький коефіцієнт дзеркального відбиття (69,4).

У лабрадориту швидкість втрати дзеркального відбиття збільшилась в 1,66 рази, у габро – в 2,24 рази, у гранодіориту знизилась в 0,87, а у граніту знизилась в 0,72 рази.

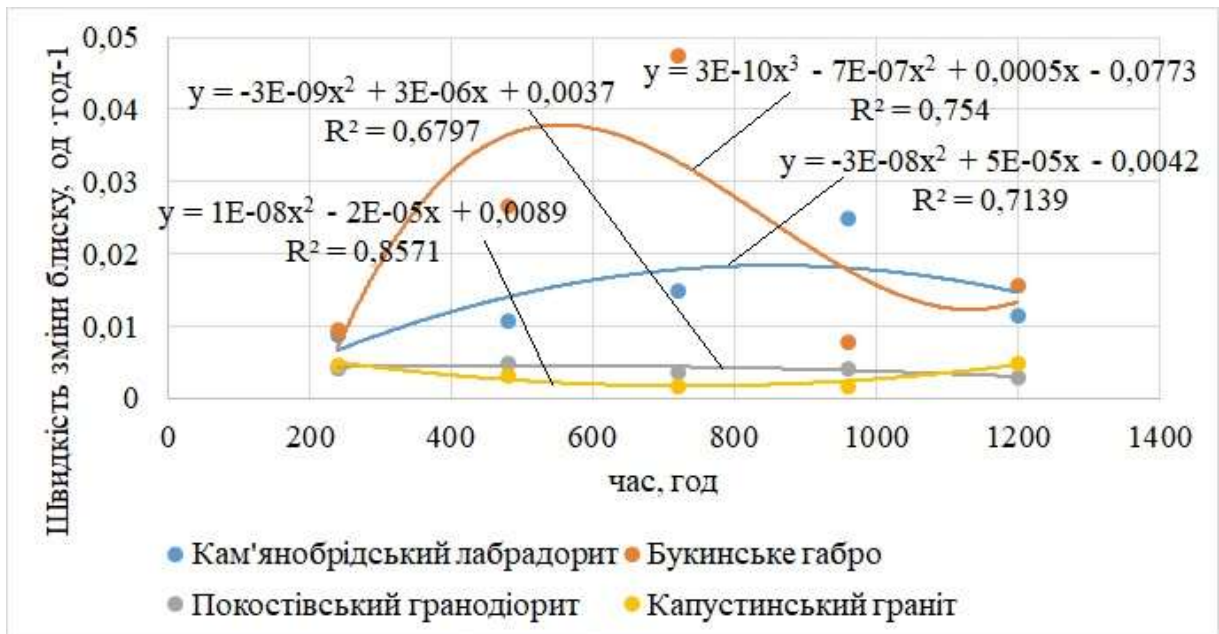


Рис. 2.27. Залежності швидкостей зміни блиску полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї кислого розчину

Вивчення і аналіз залежностей швидкостей зміни блиску полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї лужного середовища (рис. 2.27) дало такі результати. Лужний розчин вплинув на рудні мінерали, що містяться в лабрадориті і габро. Тому швидкість спочатку зростає.

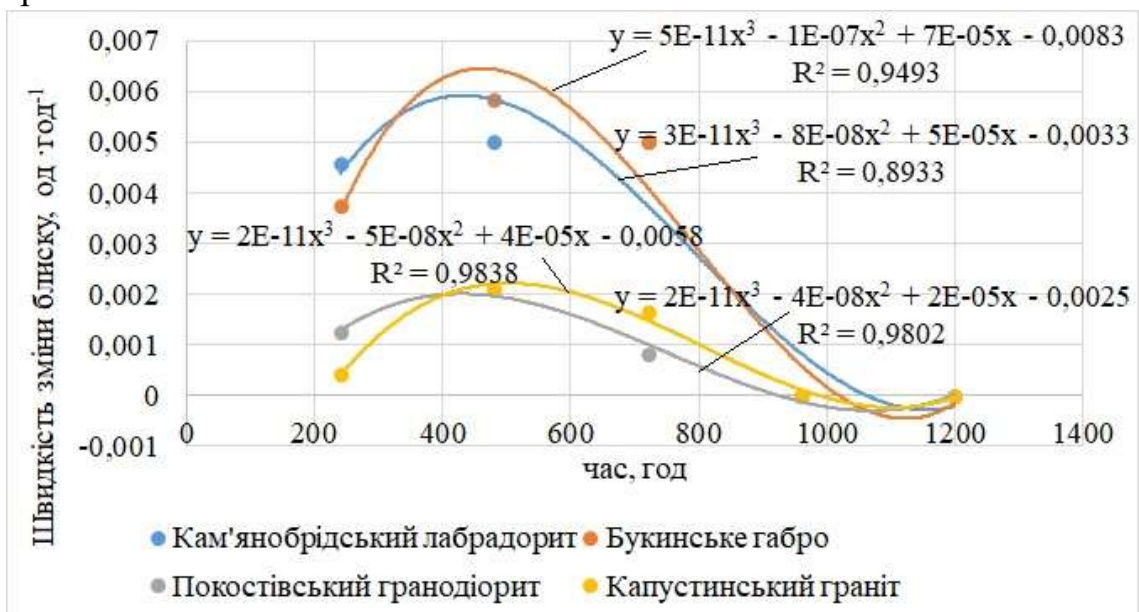


Рис. 2.28. Залежності швидкостей зміни блиску полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї лужного розчину

У граніті і гранодіориті відмічається різкий спад. Отже зміни коефіцієнта віддзеркалення майже непомітні з часом.

Сольове середовище практично не подіяло на блиск порід основного складу. Незначне підвищення (рис. 2.29) швидкості свідчить про появу рудної плями.

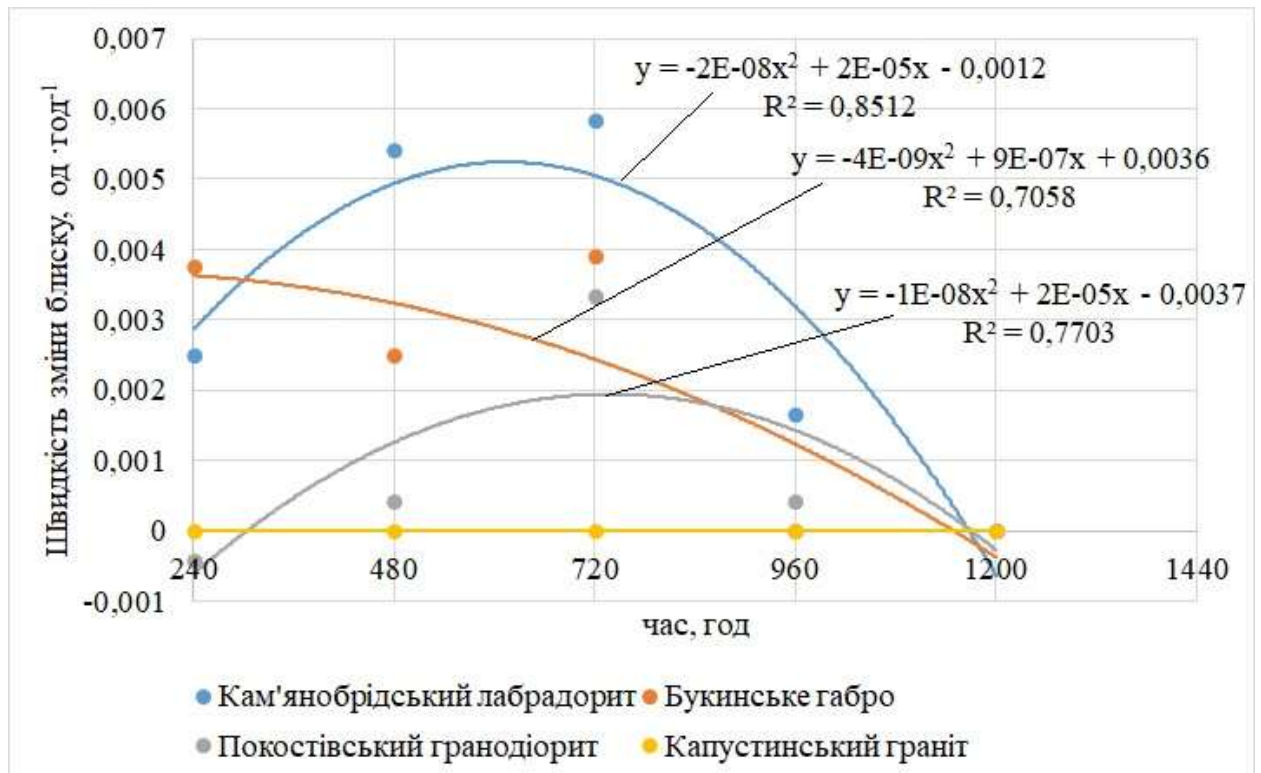


Рис. 2.29. Залежності швидкостей зміни блиску полірованої фактури декоративного каменю від тривалості впливу на неї сольового розчину

Щодо граніту і гранодіориту, то у них відбулось незначне зростання коефіцієнту блиску, пов'язане з ізоморфізмом. Сам коефіцієнт дзеркального відбиття зріс майже на 3 одиниці.

Висновки до розділу 2

1. Дослідженнями встановлено, що основна зміна кольору облицювальних поверхонь каменю в межах досліду становить приблизно перші 30 днів (720 год) для порід основного складу, що вказує на обов'язковість врахування даного факту.

2. При впливі агресивних розчинів на породи основного складу протягом 720 год показники блиску найбільше знижує кислий розчин на 26 од., найменше – сольовий розчин на 3,7 од. В породах кислого складу сольовий розчин підвищує блиск на 3,3 од

3. Було встановлено, що найбільша швидкість зміни колірною забарвлення каменю притаманна породам, основна частина яких складена з темноколірних мінералів. Такі породи, як лабрадорит та габро доцільно використовувати в тій частині будівель, де вплив сонячної радіації, вітру та вологи мінімальний. Залежність зміни показників L , а колориметричної системи CIELab від часу впливу кислого, лужного, сольового розчину описується лінійними функціями.

4. Швидкість зміни колірною забарвлення в кислому середовищі у габро більша в 5 разів, ніж в лужному, та в 6,5 разів ніж в сольовому. Швидкість зміни колірною забарвлення в кислому середовищі у лабрадориту більша в 3,5 разів більша, ніж в лужному і в 4 рази, ніж в сольовому. Швидкість зміни колірною забарвлення в кислому середовищі у гранодіориту більша в 2,5 разів, ніж в лужному. Швидкість зміни колірною забарвлення в кислому середовищі у граніту більша в 2,3 разів, ніж в лужному.

Розділ 3. ВПЛИВ НА ДЕКОРАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ

3.1. Взаємодія фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю

Природний камінь є одним з найважливіших матеріалів, який використовується в будівництві. На території України природний камінь знайшов широке застосування в облицюванні цоколів будівель та парканів, які часто піддаються забрудненню, одним з яких є забруднення фарбою. Нині немає чіткої класифікації каменю з його взаємодії з фарбовими матеріалами (ФМ) і як наслідок не розроблено методів для превентивного захисту різного виду облицювального каменю. Також необхідно знати на яку гірську породу каменю буде краще наноситись захисний шар фарби.

Первинні компоненти, які містяться в більшості фарбових матеріалів, а саме барвник або пігмент і єднальний компонент, можуть залишатися на поверхні, або проникати в товщу каменю на різну глибину. Це залежить від ряду факторів: в'язкість розчинника, пористість поверхні каменю, міжфазна напруга тверда поверхня/рідина. Таким чином, після видалення фарби можуть залишатися так звані плями "привиди", які неможливо видалити без надмірного пошкодження поверхні каменю, що несе за собою великі збитки.

Найголовнішим параметром, який характеризує взаємодію кам'яної поверхні з фарбою є розтікання. Розтіканням називається мимовільний процес течії рідини по твердій поверхні, яка відбувається за рахунок зменшення вільної поверхневої енергії системи. При розтікання збільшується поверхня розділу фаз тверде тіло/рідина.

Розтікання залежить від співвідношення між силами зчеплення молекул рідини з молекулами (або атомами) змочуваного тіла (адгезія) і силами взаємного зчеплення молекул рідини (когезія).

Якщо рідина контактує з твердим тілом, то існують дві можливості:

- молекули рідини притягуються одна до одної сильніше, ніж до молекул твердого тіла. В результаті сили тяжіння між молекулами рідини збирають її в крапельку. Так поводить ся ртуть на склі, вода на парафіні або на «жирній» поверхні. У цьому випадку говорять, що рідина не змочує поверхню;

- молекули рідини притягуються одна до одної слабше, ніж до молекул твердого тіла. В результаті рідина прагне притулитися до твердої поверхні, розпливається по ній. Так поводить ся ртуть на цинковій пластині, вода на чистому склі або дереві. У цьому випадку говорять, що рідина змочує поверхню.

Поняттям необхідним для розуміння розтікання служить контактний кут змочування (φ) (рис. 3.1), який утворюється між дотичною до краплі фарби та поверхнею каменю. Якщо $\varphi < 90^\circ$, фарба розтікається по поверхні, а при $\varphi > 90^\circ$, фарба не змочує поверхню.



Рис. 3.1. Схема визначення кута змочування φ рідиною твердої поверхні

Тобто якщо $\varphi \rightarrow 0$ адгезія фарби з поверхнею каменю покращується. Згідно з другим законом термодинаміки, змочування як мимовільний процес супроводжується зі зменшенням енергії системи, зокрема вільної поверхневої енергії G_s . На рис. 3.2. показано змочування твердої поверхні рідиною.

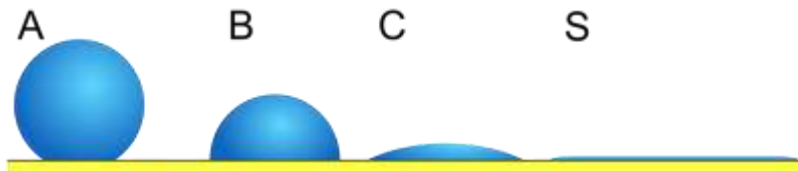


Рис. 3.2. Змочування твердої поверхні рідиною

A – дуже слабе змочування, крапля практично куляста; B і C – змочування з більшою площею контакту краплі рідини з твердою поверхнею; S – повне змочування, рідина розтікається по поверхні

Для вимірювання крайового кута змочування був використаний тензіометр “KSV CAM100” (рис. 3.3.). В якості фарби була використана фарба з двох маркерів зеленого кольору на спиртовій та водяній основі [74].











Рис. 3.3. Вимірювання кута розтікання на поверхні Покостівського гранодіориту тензіометром “KSV CAM100”

Кути змочування вимірювались на зразках каменю з Покостівського гранодіориту, Капустинського, Корнінського, Межеріченського гранітів. Після проведення експерименту були отримані результати представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Кути змочування фарби на полірованій поверхні природного каменю

Родовище граніту	Фарба на водяній основі		Фарба на спиртовій основі	
	кут(φ), град.	фото краплі	кут(φ), град.	фото краплі
Покостівське	14,59		11,02	
Капустинське	21,90		17,99	
Корнинське	16,05		19,88	
Межирічинське	18,94		21,83	

Також були виміряні кути розтікання води на поверхні природного каменю, які представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Кути розтікання води на поверхні природного каменю

Родовище граніту	Кут змочування(φ), град.
Корнинське	39,21
Межирічинське	46,99
Покостівське	38,17
Капустинське	40,36

З рис. 3.4 видно, що найменший кут розтікання має Покостівський

гранодіорит, найбільший краєвий кут розтікання має Межиріченське родовище гранітів.

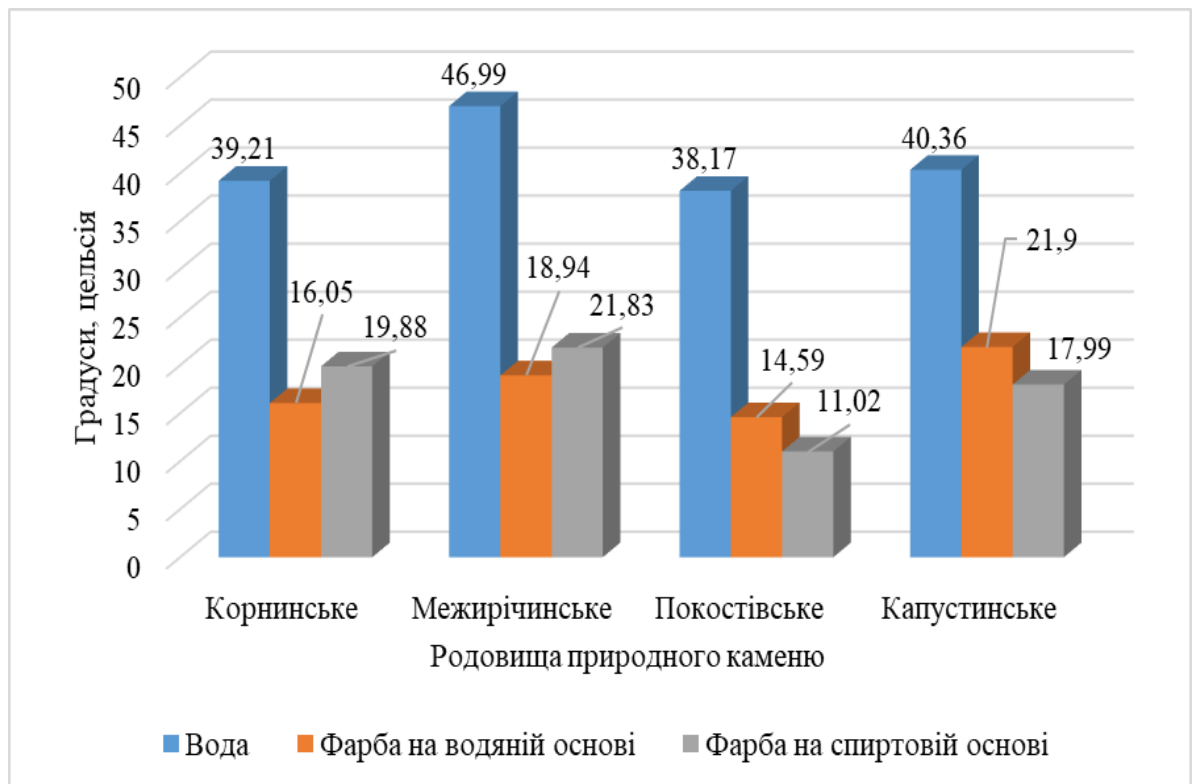


Рис. 3.4. Порівняння кутів розтікання на полірованій поверхні природного каменю з родовищ України

Дослідження вимірювання кута змочування проводились для хімічних просочувальних засобів: Tenax Easywet, Leznik, Gabbro+ на зразках каменю з Покостівського гранодіориту, Капустинського, Лезниківського, Межеріченського гранітів.

Отримані кути розтікання хімічних просочувальних засобів на поверхні природного каменю показані на рис. 3.5.

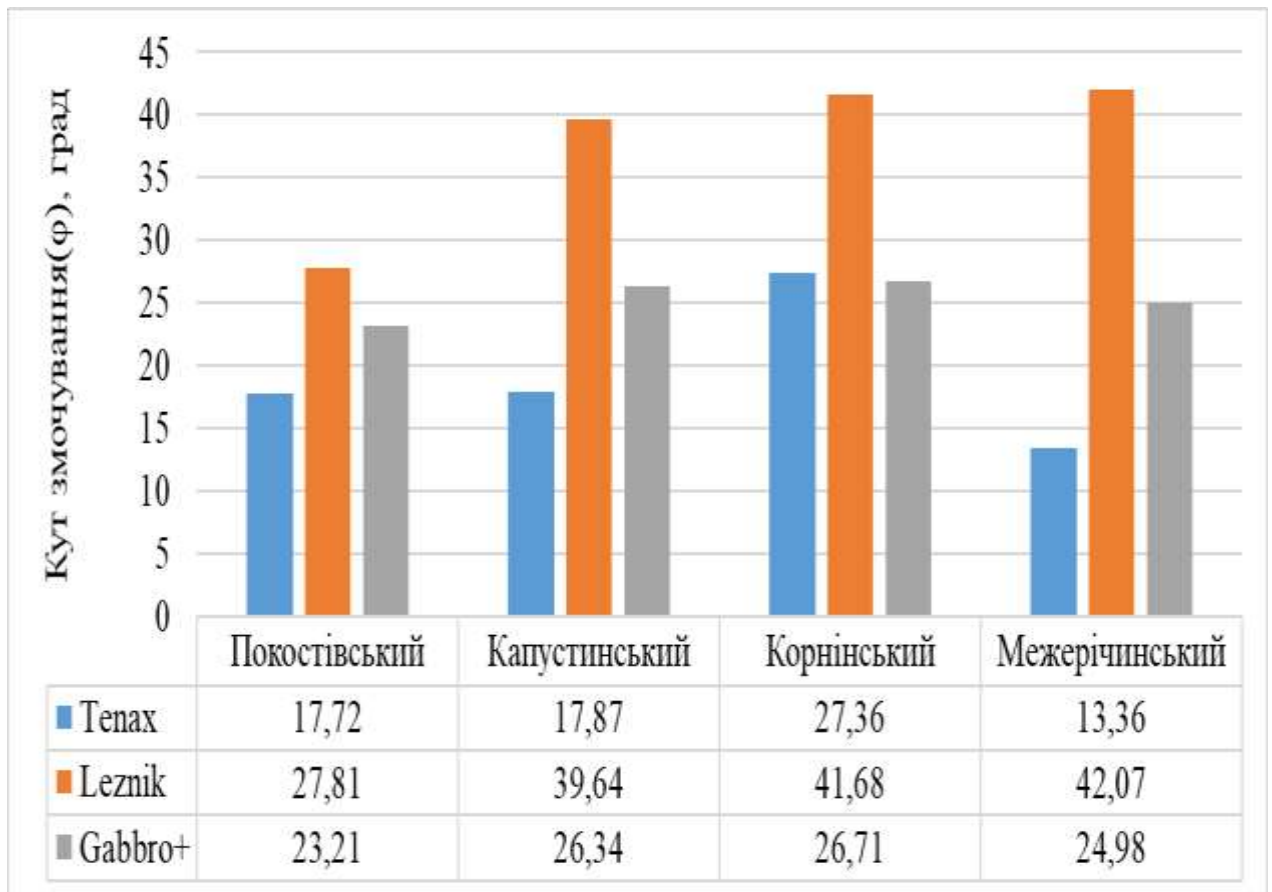


Рис. 3.5. Кути розтікання хімічних просочувальних засобів на поверхні природного каменю

З даного дослідження видно, що найменші кути розтікання хімічних просочувальних засобів має гранодіорит, що корелюється з кутами змочування водою та фарбових пігментів на воді та спирті.

З даного дослідження видно, найкраще розтікається по поверхні каменю реагент Leznik, що свідчить про краще зчеплення реагенту з поверхнею. Чим краще зчеплення фарби з поверхнею каменю тим краща здатність реагенту заповнювати каверни та тріщини в природному камені. Найгірше проникає в тріщини реагент Tenax.

3.2. Оцінка ефективності обробки поверхонь природного каменю України хімічними методами

3.2.1. Методика проведення досліджень

Характерною ознакою для природного облицювального каменю є його декоративність, яка у поєднанні з експлуатаційними характеристиками є властивістю, що визначає його цінність. Зовнішній вигляд каменю залежить не лише від його початкового вигляду, але й від інших факторів. Першочергово, технологія обробки природного облицювального каменю впливає на якісний вигляд каменю, а саме: підкреслює структуру та малюнок природного каменю, насичує його колір. В свою чергу, технологія обробки забезпечує певну фактуру лицьової поверхні природного каменю. Крім основних механічних методів обробки поверхні каменю використовують хімічні.

Хімічні просочувальні засоби застосовують для покращення якості лицьової поверхні при фінішній обробці каменю – поліруванні. Вплив хімічних просочувальних засобів на декоративні властивості природного каменю з родовищ України малодосліджений, відповідно до цього слід дослідити їх вплив на показники блиску, насиченості та світлості різних типів природного каменю. Тому оцінка ефективності використання хімічної обробки на різних видах природного облицювального каменю є актуальною науково-практичною задачею.

Було використано 35 зразків з наступних видів природного облицювального каменю (7 видів каменю по 5 зразків кожного виду): Покостівський гранодіорит (Gray Ukraine), Буківське габро (Galant), Головинський лабрадорит (Black Sea), Межиріцький граніт (Rosso Pink), Капустинський граніт (Rosso Santiago), Жадківський граніт (Rosa Raveno), Лезніківський граніт (Ukrainian Red). Мінералогічний склад використовуваних видів природного облицювального каменю наведений в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Мінералогічний склад використовуваних видів природного
облицювального каменю

Вид каменю	Вміст мінералу, %					
	Мікроклін	Плагіоклаз	Кварц	Біотит	Піроксен	Інші
Покостівський гранодіорит	15-30	35-55	10-25	5-15	-	1
Буківське габро	2-9	57-72	5	3	25-32	0-14
Головинський лабрадорит	3	85	7	1	3	1
Межиріцький граніт	60	20	15	5	-	1
Капустинський граніт	50	24	18	7	-	1
Жадківський граніт	60	20	15	5	-	-
Лезніківський граніт	80	-	15	5	-	-

В якості алмазного інструменту використовувались фікертти з номерами та зернистістю, які показані в табл. 3.4. Також показана кількість проходжень цими номерами. Така схема використання алмазного інструменту дозволяє отримати якісну поверхню каменю і забезпечити її граничний блиск.

Таблиця 3.4

Характеристика використовуваного алмазного інструменту

Кількість проходжень	Номери інструменту	Зернистість, мкм
	№ 00 (алмазний)	710/600
1	№ 24	500/400
1	№ 240	200/160
4	№ 400	80/63
2	№ 600	60/40
2	№ 800	40/28
2	№ 1200	28/20
2	№ 1500	20/14
2	№ 2000	10/7
2	№ 3000	5/3
1	Полірувальний	1/0

Для хімічної обробки поверхні природного облицювального каменю використовувалися наступні просочувальні засоби, що наведені на рис. 3.6. Для цього на поліровані поверхні однаково оброблених зразків каменю були нанесені відповідні просочувальні засоби.



Рис. 3.6. Використовувані хімічні просочувальні засоби: а – Tenax Easywet, б – Leznik, Gabbro+, в – Kristalizer

У якості хімічних просочувальних засобів в досліджах використовувалися:

1. Засіб для імпрегнації Tenax Easywet, на основі лаку, який надає поверхні ефект мокрого каменю та застосовується для обробки поверхні всіх видів природного каменю для захисту від вологи, масла, жиру і посилення кольору;

2. Прозорий кристалізатор – Kristalizer, на основі розчину силікатів з воском, що застосовується для поліпшення блиску і насиченості кольору всіх видів природного облицювального каменю;

3. Кристалізатор чорного кольору – Gabbro+ для виробів з натурального каменю (чорних відтінків) таких як: граніт, габро, лабрадорит. Засіб глибоко проникає і закриває пори, мікротріщини, захищаючи камінь від руйнування. Підсилює і насичує колір каменю та надає каменю делікатний блиск;

4. Кристалізатор червоного кольору – Leznik, на основі розчину силікатів з червоними пігментами для виробів з натурального каменю (червоних відтінків). Використовується з метою насичення кольору, підкреслення текстури та збільшення блиску каменю.

Методика оцінки ефективності обробки поверхні природного облицювального каменю механічними та хімічними методами полягає у використанні цифрових зображень зразків та виконанні їх обробки засобами сучасної обчислювальної техніки.

Методика визначення колірних показників природного облицювального каменю полягає у наступному:

- відбираються зразки природного облицювального каменю з розмірами 10×20 см;
- виконуються сканування поверхонь зразків каменю здійснювалося за допомогою сканера Skypix TSN 415;
- отримане зображення опрацьовується в програмі Mdistones; визначаються середні показники світлості (L) та колірних координат а та b у кольоровій системі CIE Lab поверхонь досліджуваних зразків (рис. 3.7);

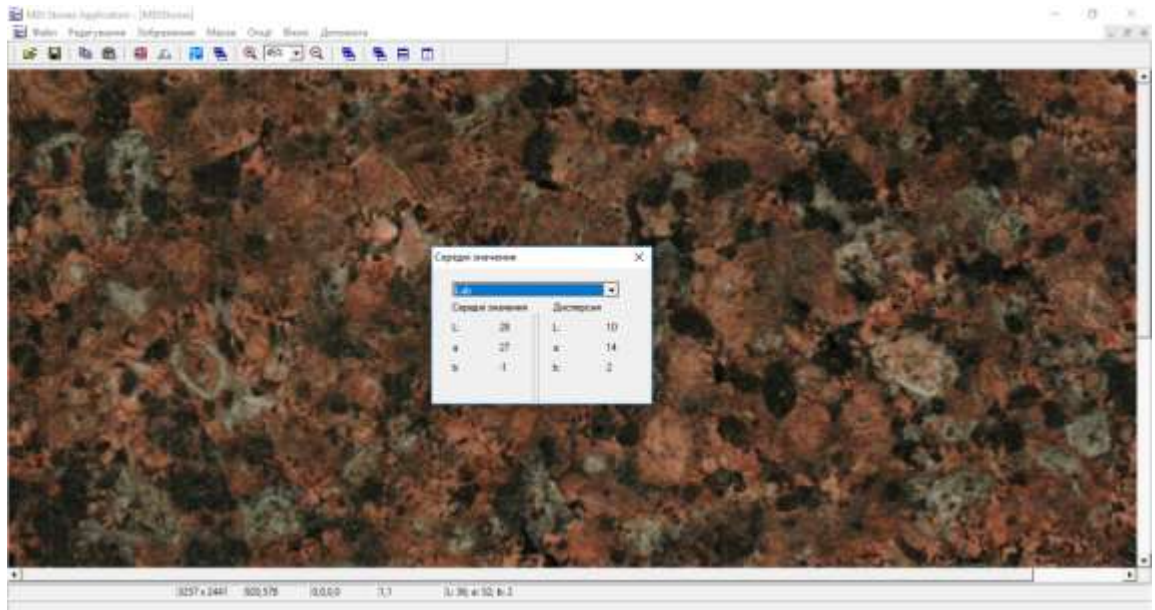


Рис. 3.7. Обробка зображення зразків Межиріченського граніту в програмі Mdistones

- визначаються показники насиченості S шляхом конвертування отриманих середніх колірних координат в системі LAB у колірну модель HSV.

Блиск поверхні природного облицювального каменю вимірюється блискоміром.

Методика визначення блиску поверхні природного облицювального каменю проводиться за таким принципом:

1. Проводять очищення зразків від пилу, бруду, та інших речовин, які можуть забруднювати поверхню;
2. Калібрування пристрою за еталоном;
3. Виконується вимірювання блиску в 6 різних точках зразка;
4. Визначаються середні показники блиску поверхні природного облицювального каменю для кожних зразків.

3.2.2. Оцінка ефективності обробки поверхонь природного облицювального каменю хімічними методами

Для оцінки ефективності обробки поверхонь природного

облицювального каменю механічними та хімічними методами необхідно спочатку визначити середній блиск його поверхні. За результатами вимірювань блиску було побудовано діаграму середніх значень блиску механічно оброблених зразків різних видів природного каменю з полірованою фактурою (рис. 3.8).

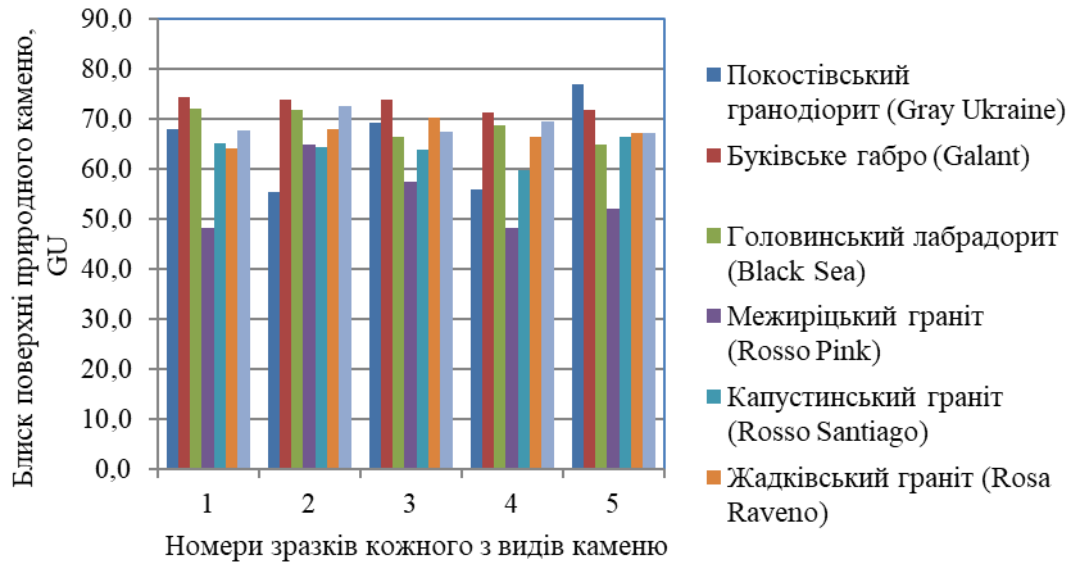


Рис. 3.8. Діаграма середніх значень блиску зразків різних видів природного каменю з полірованою фактурою

1 - Gabbro+; 2 – Leznik; 3 – Kristalizer; 4 - Tenax Easywet; 5 – без нанесення

Після визначення блиску полірованих зразків гірських порід проводиться нанесення хімічних просочувальних засобів. Час сушіння фарби на зразках каменю становить 24 год. Після висихання фарби проводилось повторне вимірювання блиску [73, 75, 78]. Зміна блиску після обробки механічними та хімічними методами показана на рис. 3.9.

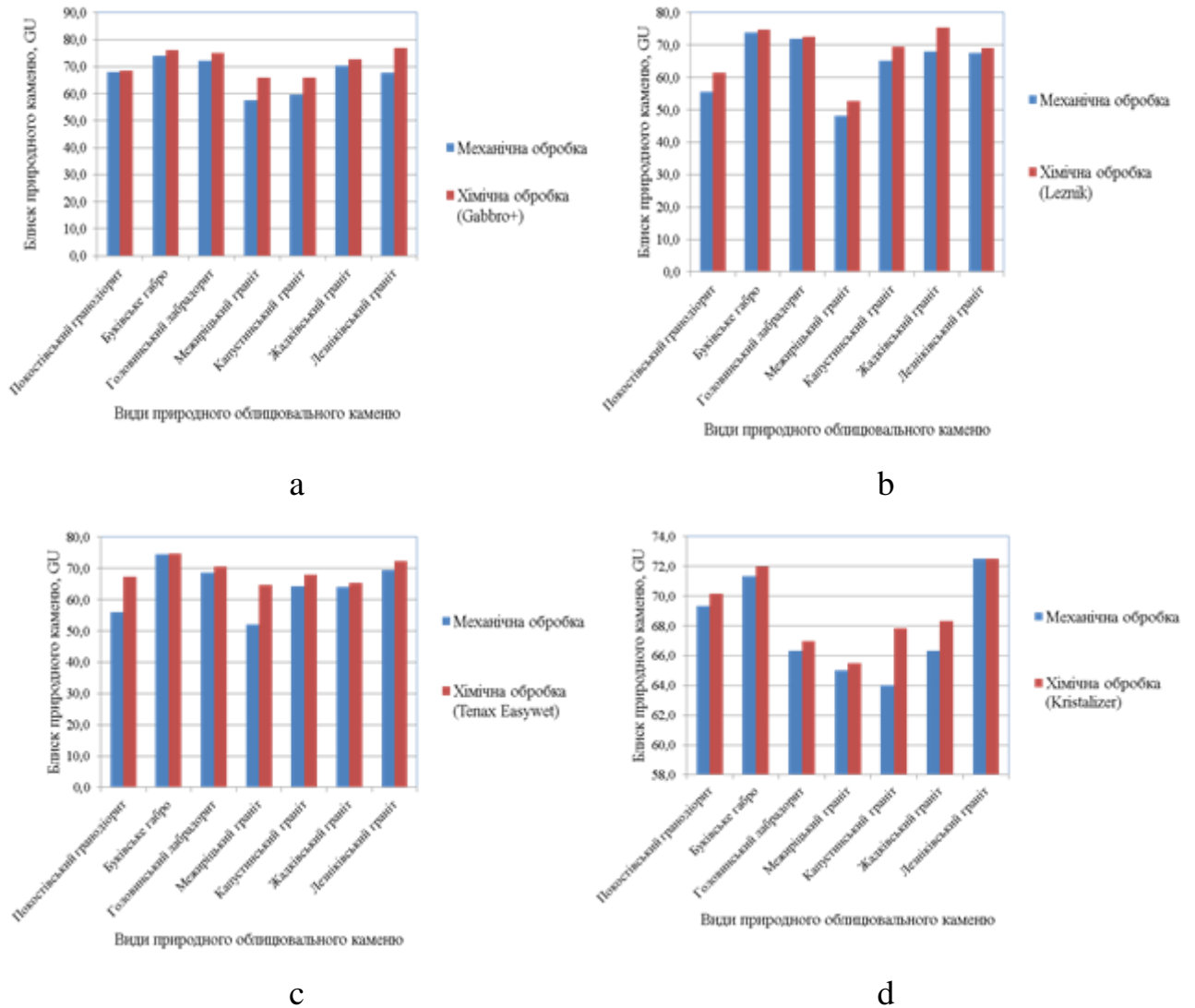


Рис. 3.9. Діаграми зміни середніх значень блиску після обробки хімічними просочувальними засобами полірованої фактури каменю: a – Gabbro+, b – Leznik, c – Tenax Easywet, d – Kristalizer

З діаграми зміни середніх значень блиску після обробки хімічними просочувальними засобами полірованої поверхні природного каменю видно, що при хімічній обробці на різних видах природного каменю блиск збільшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 0,5 до 9,2 од., при обробці засобом Leznik – від 0,7 до 7,5 од., при обробці засобом Tenax Easywet – від 0,3 до 12,7 од., при обробці засобом Kristalizer – від 0 до 3,8 од.

Просочувальний засіб Gabbro+ надає природному каменю темнішого відтінку, тому він розроблявся для гірських порід, які мають чорний колір або його відтінки. Разом з тим, за допомогою цього засобу можливо змінювати відтінок каменю на більш темний, як випадку з Покостівським гранодіоритом. Облицювальні вироби з Покостівського гранодіориту мають однаковий текстурний малюнок, але за кольоровими відтінками відрізняються. Навіть з одного блока цього природного каменю можливо отримати вироби, які одні світліші ніж інші. Тому даний реагент наносився на всі зразки природного каменю. На всіх зразках гірських порід, які мають чорний колір блиск зростає на 3-4 одиниці. На зразках з Покостівського гранодіориту, який має сірий колір блиск зріс всього на 1 одиницю. На зразках з червоного граніту блиск зріс, але по-різному. Найбільше блиск зріс у зразках з Межиріцького та Лезниківського родовищ на 10 одиниць. Найменше у зразків з Жадківського родовища каменю – 2 од.

Реагент Leznik надає природному каменю насиченого червоного кольору тому його доцільно використовувати для гірських порід, які мають червоний колір. Найбільше збільшує блиск для Жадківського родовища каменю – 9 од.

Реагенти Tenax Easywet та Kristalizer мають прозорий колір та майже не змінюють відтінки кольору природного каменю. Найбіший блиск з'являється у зразків з Капустинського родовища природного каменю після нанесення реагентом Kristalizer – 20 од. та у зразків з Межиріцького родовища природного каменю після нанесення реагентом Kristalizer – 15 од. Найменше значення збільшення блиску було у гірських породах чорного кольору 1-2 од., тому використовувати даний засіб для цих порід не доцільно.

Таким чином гірські породи чорного кольору необхідно обробляти реагентом Gabbro+.

Для гірських порід червоного кольору найкраще підходять реагенти Leznik, Tenax Easywet та Kristalizer.

Для гірських порід сірого кольору найкраще підходять реагенти Gabbro+, Tenax Easywet та Kristalizer.

Важливою складовою при визначенні декоративності природного

облицювального каменю є об'єктивне визначення його колірних характеристик.

Колір характеризують за наступними основними ознаками: колірним тоном, насиченістю і світлістю.

Всі кольори, сприймані людиною, розділяють на хроматичні (I) і ахроматичні (II). До хроматичних відносять кольори: жовтий, червоний, синій, а також складові кольори, одержувані внаслідок злиття двох з трьох основних кольорів: помаранчевого, фіолетового, зеленого.

У шкалі ахроматичних кольорів виділяють: чорний, чорно-сірий, темно-сірий, середньо-сірий, світло-сірий, біло-сірий і білий кольори, відмінні один від одного ступенем світлості. Визначення колірних характеристик проводиться органолептичним методом, за наступними характеристиками вказаними у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Визначення основних ознак кольору

Основний показник декоративності	Ознака декоративності (позитивний)	Категорія ознаки	Характеристика ознаки	Оцінка, бали
Колір	Кольоровість	I	Хроматичний	5
		II	Ахроматичний	2
	Насиченість	I	Інтенсивно насичений (0,8–1,0)	6
		II	Середньонасичений (0,4–0,8)	4
		III	Слабонасичений (0,1–0,4)	3
		IV	Ненасичений (0,1)	1
	Світлість	I	Чорний, біло-сірий, білий	4
		II	Світло-сірий, середньо-сірий	2
		III	Темно-сірий, чорно-сірий	1

Як видно з табл. 3.5, чим більша насиченість, тим більша декоративність природного каменю. Також, чим менша світлість каменю, тим більша його декоративність.

Було проведено вимірювання світлості та насиченості поверхонь природного облицювального каменю обробленого механічними методами за допомогою цифрової обробки зображень. За результатами вимірювань світлості було побудовано діаграму їх середніх значень при механічній обробці зразків різних видів природного каменю з полірованою фактурою (рис. 3.10).

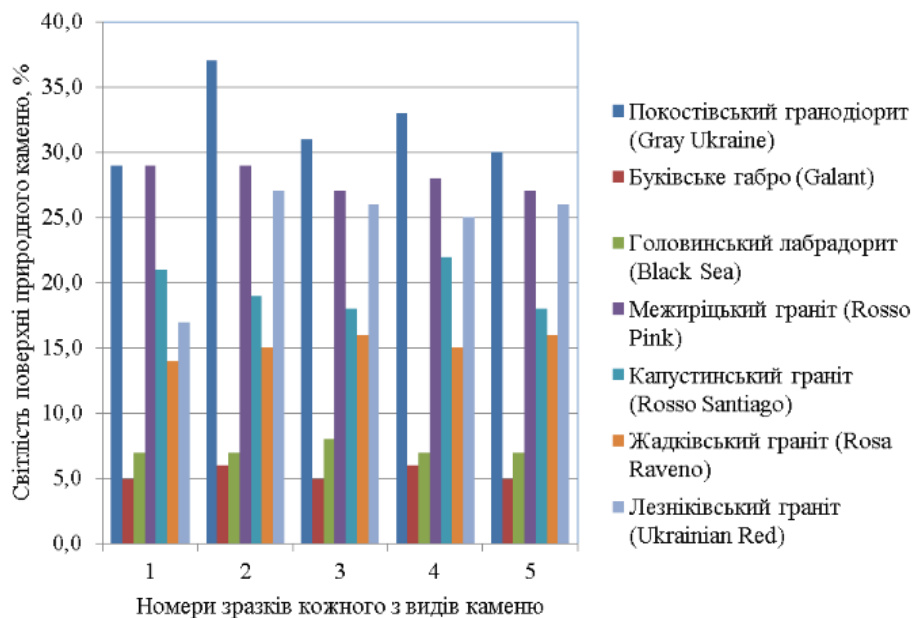


Рис. 3.10. Діаграма середніх значень світлості зразків різних видів природного каменю з полірованою фактурою
1 - Gabbro+; 2 – Leznik; 3 – Kristalizer; 4 - Tenax Easywet; 5 – без нанесення

Також було досліджено вплив хімічної обробки на світлість (рис. 3.11) поверхні природного облицювального каменю.

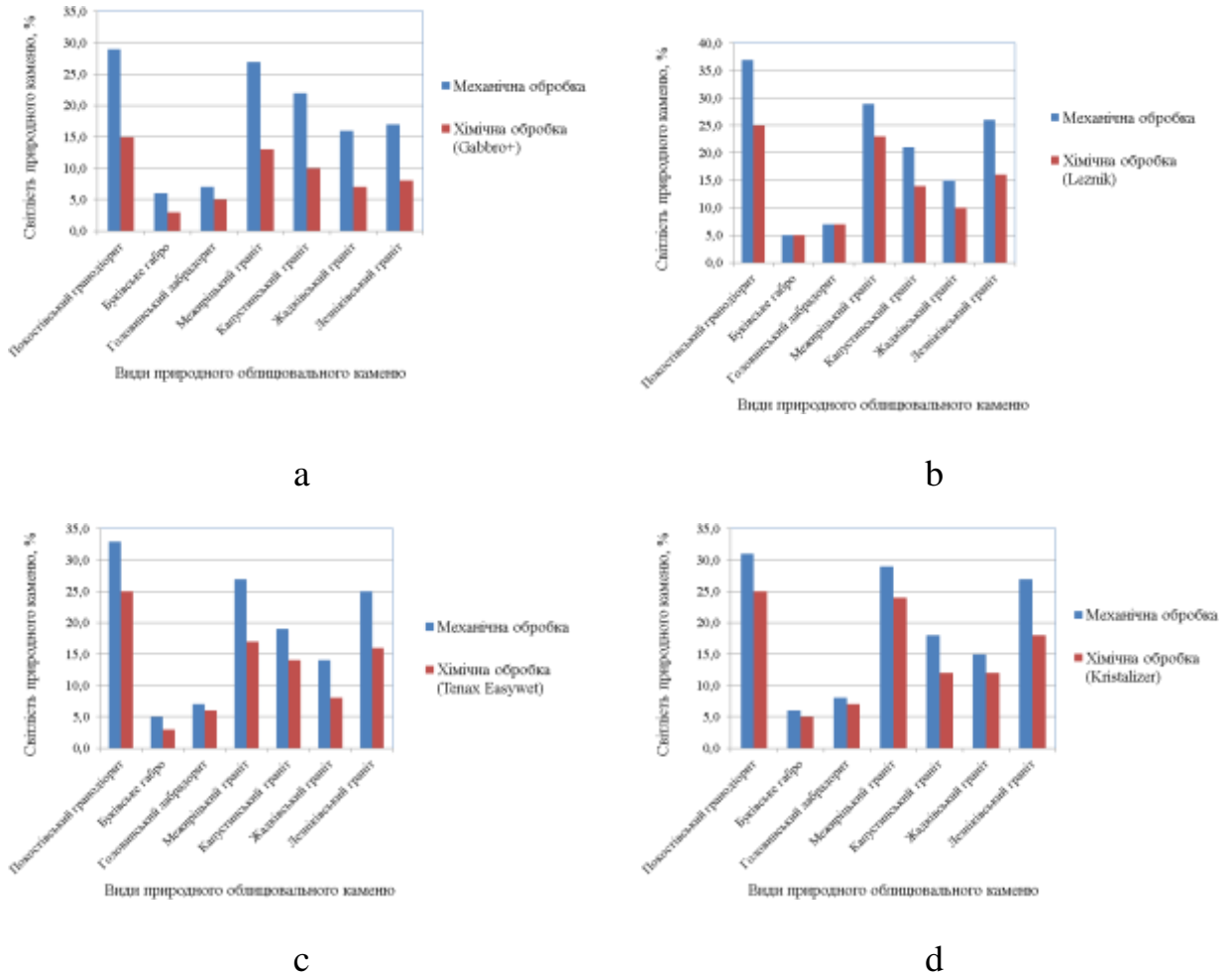


Рис. 3.11. Діаграми зміни середніх значень світлості після обробки хімічними просочувальними засобами (полірована фактура): а – Gabbro+, б – Leznik, в – Tenax Easywet, д – Kristalizer

З діаграми зміни середніх значень світлості після обробки хімічними просочувальними засобами полірованої поверхні природного каменю видно, що при хімічній обробці на різних видах природного каменю світлота зменшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 2 до 14 %, при обробці засобом Leznik – від 0 до 12 %, при обробці засобом Tenax Easywet – від 1 до 10 %, при обробці засобом Kristalizer – від 1 до 9 %.

Всі реагенти знижують світлоту поверхні зразків природного каменю. Найбільше знижує світлоту реагент Gabbro+ найменше Kristalizer.

При обробці реагентом Gabbro+ зразків червоного природного каменю зниження світлоти відбувається в межах 7-13 од. Реагенти Leznik, Tenax

Easywet, Kristalizer знижують світлоту зображення природного каменю майже однаково. Тому підбирати реанти можливо враховуючи економічну складову вартості обробки.

Зразки з природного каменю, який має чорний колір зменшують світлоту кольору на 1-3 од. при обробці їх реантами. Найбільше знижує світлоту поверхні зразків реант Gabbro+ - 2-3 од. Реанти Leznik, Tenax Easywet, Kristalizer знижують світлоту зображення чорного природного каменю на 0-2 од. Саме тому застосовувати реанти Leznik, Tenax Easywet, Kristalizer для керування світлотою чорного природного каменю не має сенсу.

Зразки з Покостівського гранодіориту темнішали при обробці реантами Gabbro+, Leznik, Tenax Easywet, Kristalizer відповідно на: 14, 12, 9, 6 од.

Керування світлотою поверхні зразків каменю за допомогою реантів має лише фіксоване значення, тому широко використати цей метод досить важко. Разом з тим хімічні реанти підвищують блиск, що робить цей метод ефективним для підвищення блиску.

Після операцій пов'язаних з визначенням світлості та насиченості на полірованій поверхні обробленою механічними та хімічними методами переходимо до визначення цих показників з пиляною поверхнею, яке проводиться аналогічно до попередніх досліджень. Провівши дослідження маємо наступні дані – пиляні зразки мають більшу світлість ніж поліровані зразки при механічній обробці, а при хімічній – значно змінюється світлість обробленої поверхні природного облицювального каменю.

Внаслідок проведеного дослідження, можна зробити висновок, що кожен з хімічних просочувальних засобів по різному впливає на декоративні показники поверхні природного облицювального каменю. Вони збільшують блиск, затемнюють камінь, можуть як і покращувати його насиченість, так і погіршувати. Це також підтверджується розглянутими працями [42-44], в яких було досліджено вплив хімічної обробки мarmуру на блиск та колірні

характеристики. В залежності від виду використовуваного засобу, насиченість каменю як і збільшувалася, так і зменшувалася [44]. Ефективність їх використання залежить від мінералогічного складу природного каменю. Так, Gabbro+ взаємодіє з плагіоклазом, але погано взаємодіє з мікрокліном та кварцом; Leznik взаємодіє з мікрокліном, але погано взаємодіє з плагіоклазом та кварцом; Tenax Easywet та Kristalizer взаємодіє з плагіоклазом та мікрокліном, але погано взаємодіє з кварцом.

Висновки до розділу 3

1. Найбільше розтікання фарби спостерігається на поверхні Покостівського гранодіориту, найменше розтікання спостерігається на поверхні Лезниківського граніту. Найкраще розтікається по поверхні каменю реагент Leznik, що свідчить про краще зчеплення реагенту з поверхнею. Чим краще зчеплення фарби з поверхнею камню тим краща здатність реагенту заповнювати каверни та тріщини в природному камені. Найгірше проникає в тріщини реагент Tenax.

2. При хімічній обробці на різних видах природного каменю блиск збільшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 0,5 до 9,2 од., при обробці засобом Leznik – від 0,7 до 7,5 од., при обробці засобом Tenax Easywet – від 0,3 до 12,7 од., при обробці засобом Kristalizer – від 0 до 3,8 од.

3. При хімічній обробці на різних видах природного каменю світлість зменшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 2 до 14 %, при обробці засобом Leznik – від 0 до 12 %, при обробці засобом Tenax Easywet – від 1 до 10 %, при обробці засобом Kristalizer – від 1 до 9 %.

Розділ 4. КЕРУВАННЯ ДЕКОРАТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ТЕРМІЧНИМ ВПЛИВОМ

4.1. Зміна фізико-механічних та декоративних властивостей природного каменю при термічному впливі

4.1.1. Методика проведення дослідження

У багатьох ситуаціях на гірські породи впливають високі температури, що призводить до різких змін їх фізико-механічних властивостей [50-54].

Отже, вивчення зміни фізико-механічних властивостей природного каменю під впливом високих температур є актуальною науково-прикладною задачею.

Було досліджено вплив термічної обробки на фізико-механічні властивості крупнозернистого лабрадориту з України, який має фіолетову іризацію зерен лабрадору. Експериментально досліджувалися зразки з чотирьох родовищ лабрадориту (рис. 4.1), кожне родовище лабрадориту було представлено 4-ма зразками.

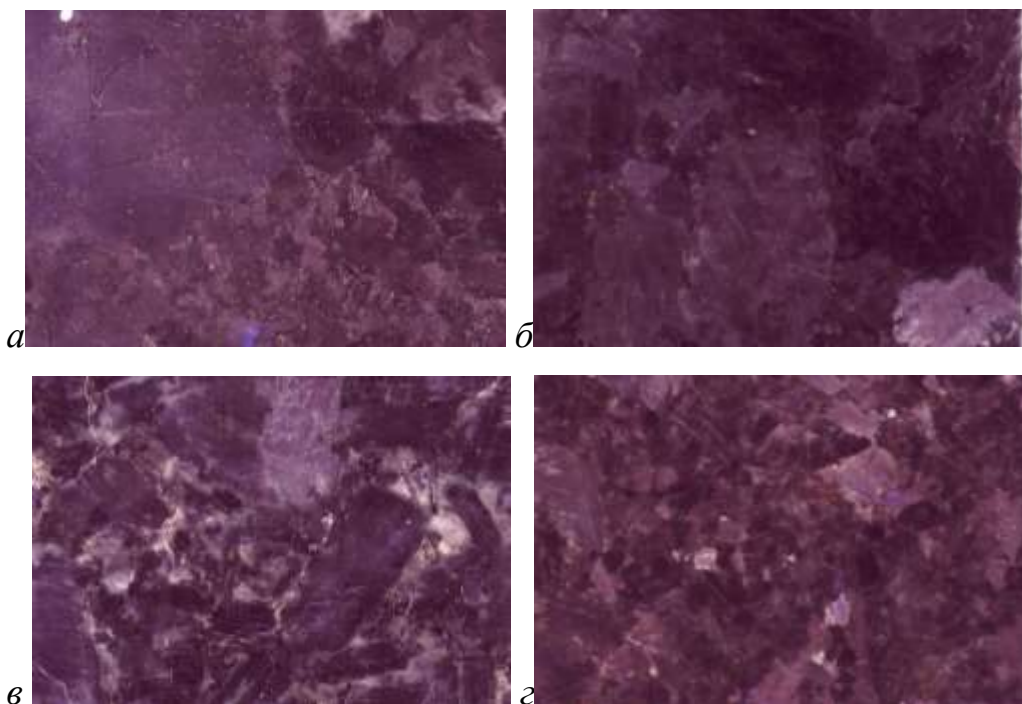


Рис. 4.1. Вигляд зразків лабрадориту: *a* – Очеретянське родовище; *б* – Неvirівське родовище; *в* – Осниківське родовище; *г* – Катеринівське

Також досліджувалися зразки Покостівського гранодіориту, Капустинського, Межіріченського, Корнінського гранітів, Букинського габро (рис. 4.2).




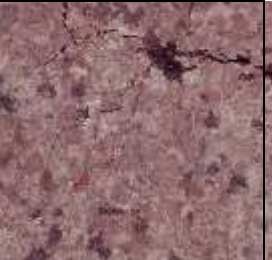


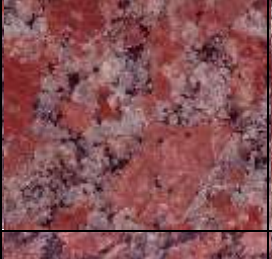
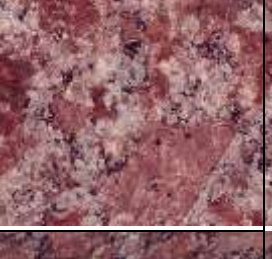

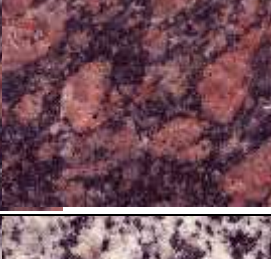
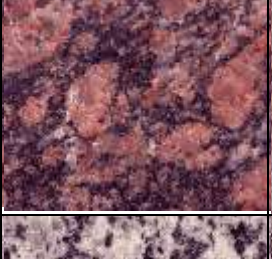

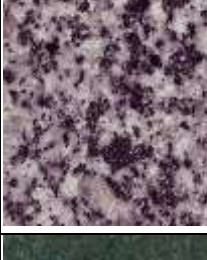


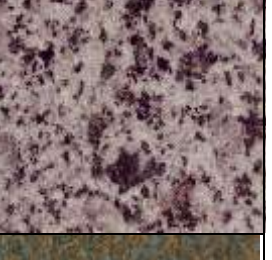








Граніт	200 °С	400 °С	600 °С	900 °С
Межіріченський граніт				
Капустинський граніт				
Корнінський граніт				
Покостівський гранодіорит				
Букинське габро				
Очеретянський лабрадорит				

Рис. 4.2. Зображення зразків природного каменю після впливу температур

Зразки природного каменю нагрівалися в печі зі швидкістю 1 °С/хв до номінальної температури. Низька швидкість зростання температури використовується для досягнення максимального температурного ефекту. Зразки нагрівалися в електричній печі (рис. 4.3) до 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 °С, а потім охолоджувалися до температури 20 °С.



Рис. 4.3. Вигляд зразка лабрадориту при нагріванні до 900 °С

Після кожного нагрівання вимірювався блиск полірованої лицьової поверхні зразків за допомогою блискоміра PCE-GM 100 з геометрією вимірювання 20°/60°/85°.

Лицьова поверхня зразків природного каменю оцифровувалася за допомогою сканера Canon CanoScan LiDE 700F. Для з'ясування міцності природного каменю та тенденції розвитку тріщин в зразку каменя вимірювалася швидкість розповсюдження поверхневої ультразвукової хвилі ультразвуковим приладом УК-14МП, який обладнаний датчиком поверхневого прозвучування з фіксованою базою 120 мм (рис. 4.4). Даний датчик поверхневого прозвучування, з фіксованою базою, показав свою ефективність роботи [33, 56, 57]. Виконувалися виміри розповсюдження ультразвукових хвиль по діагоналям зразків, отримані дані усереднювали.



Рис. 4.4. Ультразвуковий прилад УК-14МП

Підрахунок рудих плям на поверхні природного каменю обрахувалися на цифрових зображеннях полірованої поверхні лабрадориту за допомогою програми MdiStones, алгоритм роботи наведено в публікації [36]. Оцінка світлоти зображення зразків природного каменю проводилась за допомогою компоненти L системи CIELab, яка відповідає за кількісні значення світлосили зображення. Цей параметр є універсальним на відміну інших параметрів a і b системи CIELab, які відповідають за кольорове забарвлення зображення. Так як кольорове забарвлення для кожного родовища декоративного каменю має унікальність, порівняти зразки каменю різних родовищ за параметрами a і b системи CIELab майже неможливо.

4.1.2. Результати оцінки впливу високих температур на декоративність природного каменю

При нагріванні лабрадорити змінювали свої фізико-механічні та декоративні властивості. До температури 300 °C спостерігалися незначні зміни кольору та текстури природного каменю. При температурі 400 °C почали з'являтися незначні руді плями на полірованій поверхні. При 500–600 °C з'явилася значна кількість рудих плям. При температурі 900 °C всі зразки, які досліджувалися покрилися рудими плямами. Руді плями можна пояснити окисленням металу Fe^{2+} , який знаходиться в мінералах природного каменю [76, 77, 85, 82-84].

При температурі 500–600 °С можна візуально спостерігати тріщини, які утворилися між зернами мінералів в зразках лабрадориту.

На поверхні Покостівського гранодіориту та Корнинського граніту. при температурі 200 °С суттєвих змін в кольорі не виявлено. Зразки Покостівського гранодіориту при температурі 400 °С стають світліше за рахунок фазового переходу рогової обманки та мінералів біотитової групи від чорного та сірого кольору до біло-сірого. При збільшенні температури до 600 °С на поверхні гранітних зразків спостерігається зменшення мінералів темного кольору, з'являються точкові руді плями, які є наслідком окиснення заліза в мінералах. Поверхня природного каменю стає темнішою за рахунок зміни кольору мінералів з білого кольору на сірий.

На поверхні Межіріченського граніту при температурі 400 °С мінерали темного кольору змінюють колір на сірий, мінерали польового шпату змінюють колір з темно-рожевого на червоно-помаранчевий. Поверхня природного каменю світліє. За температури 600 °С на поверхні Межіріченського граніту польовий шпат переходить з червоно-помаранчевого кольору на темно-рожевий. Поверхня природного каменю темніє. За температури 900 °С є злиття мінералів хлориту з мінералами польового шпату, що утворює блідо-фіолетовий колір на поверхні природного каменю. Поверхня зразків ще темніє.

За температури 400 °С на поверхні Капустинського граніту мінерали темного кольору стають сірими, червоний колір польового шпату стає світлішим. За температури 600 °С світло червоний польовий шпат змінює колір на темно червоний. За температури 900 °С темно червоний польовий шпат змінює колір на бордовий. Кристали кварцу світлішають та наближаються до білого кольору.

За температури 400 °С в зразках Корнинського граніту димчатий кварц стає сірим, мінерали польового шпату майже не змінюють колір, з'являються плями бордового кольору.

За температури 600 °С димчатий кварц інтенсивніше набуває біло-

сірого кольору. На поверхні зразків з'являються руді плями від шпінелі та високозалізистих силікатів.

За температури 900 °С червоний польовий шпат також, як і в Капустинському граніті змінює колір на бордовий. Спостерігається поява рудих плями від залізовміщуючих мінералів. Поверхня природного каменю стає однорідною за кольором - блідо бордовою з сіро-білими вкрапленнями.

4.1.3. Визначення площі поверхні зразків, яку займають окислений метал під час нагрівання

При нагріванні лабрадоритів з'являлися руді плями на полірованій поверхні зразків. Це пояснюється фазовим перетворенням кристалів і окисненням Fe^{2+} -елементів в мінералах таких, як піроксен і магнетит до Fe^{3+} .

При обрахунку площі рудих плям відносно загальної площі зразка, було встановлено, що у зразків (рис. 4.5) лабрадориту при нагріванні до 300 °С площа рудих плям зросла. Наприклад, для Очеретянського лабрадориту з 0,91 % до 4 %, Осниківського лабрадориту з 1 % до 3 %, у інших зразках родовищ зростання відбулося на 1 %. При температурі 400 °С спостерігається збільшення рудих плям в зразках Осниківського лабрадориту в 2,7 рази з 3 до 8 %. Різке збільшення рудих плям спостерігається на зразках Очеретянського родовища при температурі 600 °С. При 900 °С руді плями покривають поверхню зразків від 39 до 60 % площі [76, 77, 85, 82-84]. Найменше плями проявилися на Невирівському та Катеринівському родовищах лабрадоритів відповідно 41 та 39 %. Руді плями найбільше проявилися на Очеретянському та Осниківському лабрадориті відповідно 60 та 46 %, що пояснюється більшим вмістом таких мінералів, як: ільменіт ($FeTiO_3$) та пильовидний магнетит ($FeO \cdot Fe_2O_3$).

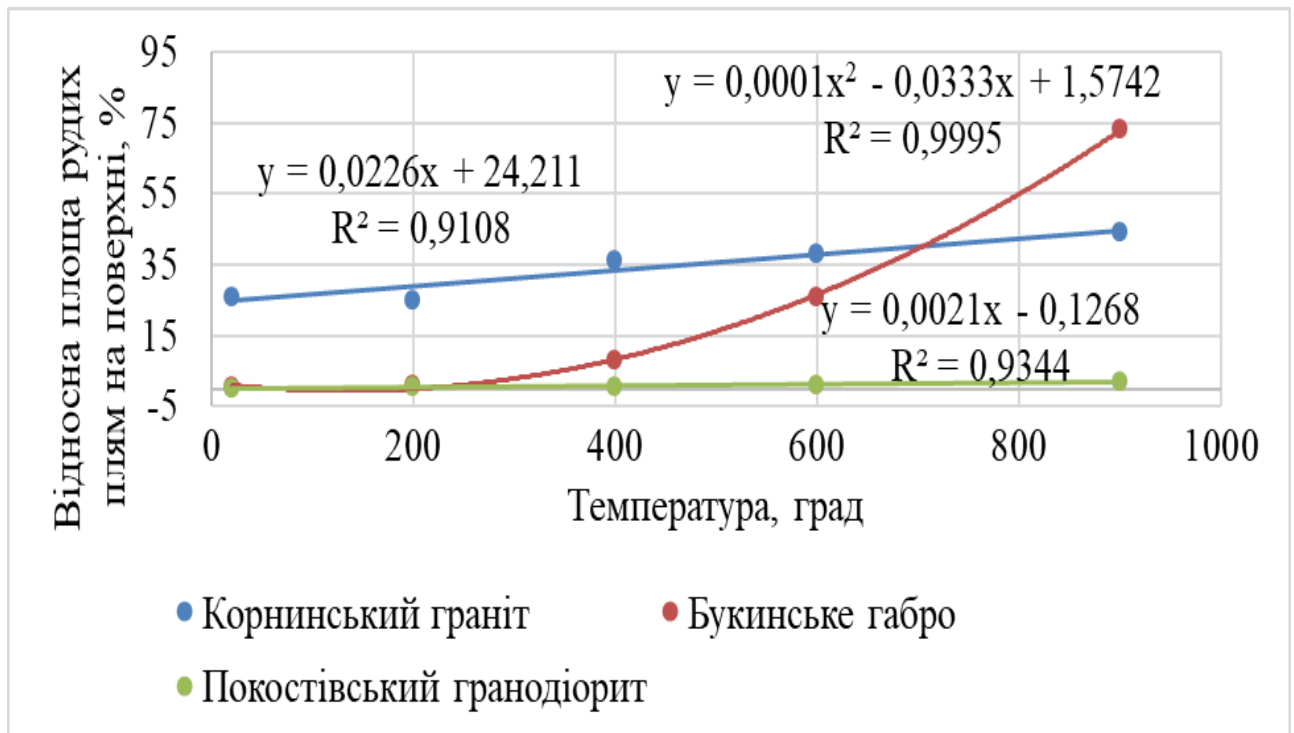


Рис. 4.6. Залежність площі рудих плям на поверхні зразка в залежності від температури

З рис. 4.6 видно, що найбільший вміст Fe має Корнинський граніт. В деяких Капустинському та Межирічинському гранітах вплив окислення Fe на колір зразків не впливає тому вони не представлені на рис. 4.6. В зразках Букинського габро спостерігається схожа ситуація як в зразках лабрадориту. На початковому рівні на поверхні зразків габро руді плями відсутні зі зростанням температури відносна площа рудих плям зростає та описується поліномом другого порядку.

Результати цих досліджень надають можливість порівняти родовища природного каменю, та оцінити вміст Fe^{2+} -елементів в мінералах. Це допоможе в виборі будівельних матеріалів з лабрадориту для зовнішнього облицювання будівель. Так як за природніх температур з часом відбувається окислення Fe^{2+} -елементів в лабрадориті під дією агресивного середовища – з'являються руді плями на поверхні.

4.1.4. Оцінка світлоти поверхні зразків під час нагрівання природного каменю

З метою встановлення показника світлоти поверхні зразків, цифрові зображення поверхні зразків природного каменю оброблялися в програмному продукті MdiStones. Визначалися середні параметри компоненти L колориметричної системи CIE Lab, яка L відповідає за світлоту зображення.

З рис. 4.7 видно, що зразки лабрадориту світлішають при збільшенні температури нагрівання, різке збільшення світлоти зразків відбувається при температурі від 800 до 900 °С. Найбільше значення компоненти L колориметричної системи CIE Lab (найсвітліше зображення) має Очеретянське родовище лабрадориту [76, 77, 85, 82-84]. Найтемніші зразки за значеннями компоненти L колориметричної системи CIE Lab є Осниківське та Катеринівське родовища лабрадориту.

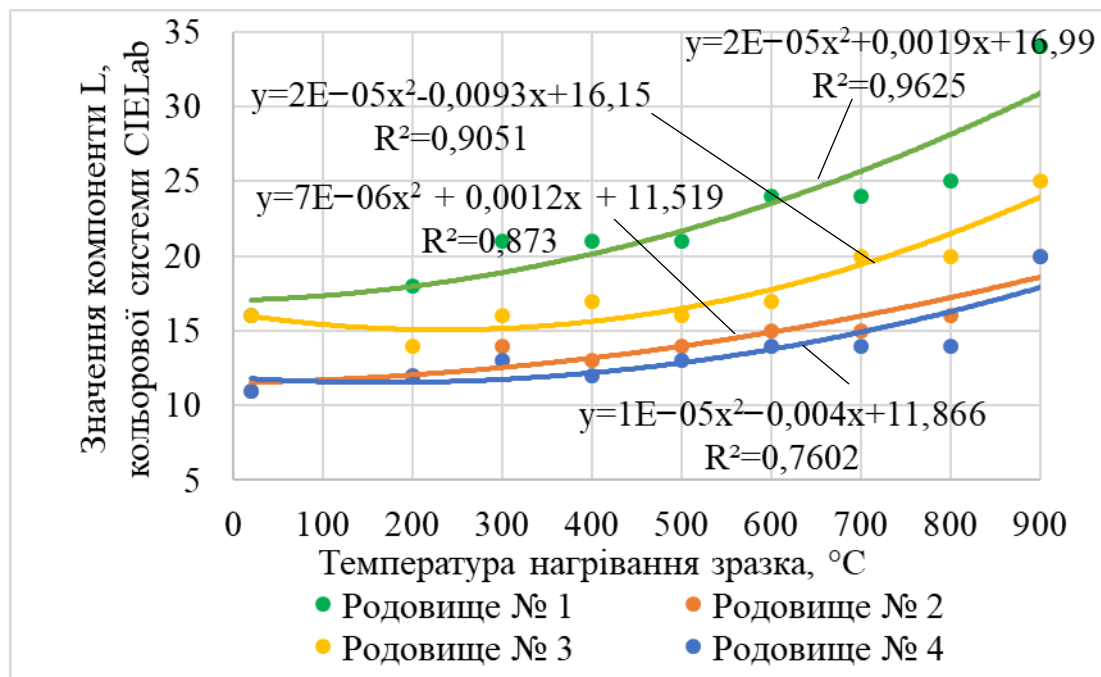


Рис. 4.7. Залежність компоненти L колориметричної системи CIE Lab поверхні зразків лабрадориту від температури нагрівання: родовище № 1 – Очеретянське; родовище № 2 – Невирівське; родовище № 3 – Осниківське; родовище; № 4 – Катеринівське

При нагріванні зразки лабрадориту світлішають до 50 % від першопочаткових значень показника L колориметричної системи CIELab.

Параметр L дає значення світлоти або насичення кольору. До світлих гранітів можна віднести Покостівський гранодіорит (рис. 4.8) у якого координата L зростає з 47 до 57 одиниць за температури 400, 600 градусів Цельсія. Що складає 20 %, але при температурі 900 градусів Цельсія зразки природного каменю потемнішали та мали координату L 53 од. Червоний Межиріченський граніт в нормальному стані має високі значення компоненти L - 43 од. Ця пов'язано з мінералогічною будовою природного каменю. Такі мінерали, як білий або блідо-лужний польовий шпат та високий вміст мусковітів надають зображенню поверхні каменю світлішого тону. За температури 400 градусів Цельсія світлота поверхні зразків підвищується до 54 од., з підвищенням температури світлота зображення знижується до 49 од., це пов'язано з фазовим переходом мінералів.

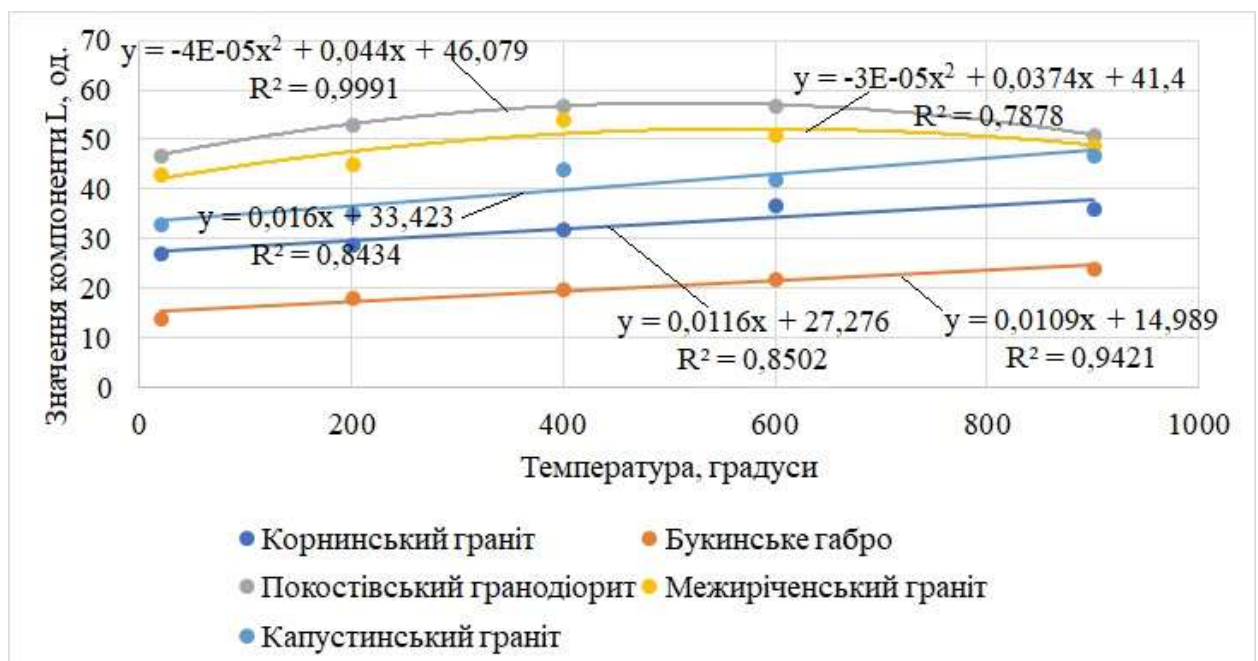


Рис. 4.8. Залежність компоненти L колориметричної системи CIELab поверхні зразків гранітів та габро від температури нагрівання

Капустинський граніт має початкове значення компоненти L – 33 од., це пов'язано з вмістом лужних польових шпатів, які мають забарвлення від сіруватого до червонуватих тонів. У зразків Капустинського граніту зображення світліє поступово з підвищенням температури. При температурі 900 градусів Цельсія компонента L збільшується на 42 % і складає 47 од.

Корнинський граніт має найтемнішу поверхню серед досліджуваних гранітів - L=27. Це пов'язано з тим, що даний граніт має вміст мінералів біотитової групи або темно-лужного польового шпату. У зразків Корнинського граніту компонента L стрімко зростає при нагріванні до температури 600 °С. За температури вище 600 °С відбувається різке зниження швидкості зростання значень показника компоненти L.

У зразках Букинського габро компонента L колориметричної системи CIELab з підвищенням температури постійно зростає, це пов'язано з появою рудих плям на поверхні зразків. Які виникли в наслідок окислення заліза в мінералах. Компонента L колориметричної системи CIELab при нагріванні збільшилась на 71 % (змінилась з 14 до 24 од.).

Зміна компоненти L колориметричної системи CIELab залежно від температури в зразках Корнинського, Капустинського гранітів та Букинського габро описується лінійними функціями, а в зразках Покостівського гранодіориту та Межиріченського граніту – поліномами другого порядку.

В процесі нагрівання змінювалися компоненти зображення поверхні зразків a та b колориметричної системи CIELab. Зміни цих компонент показані на рис. 4.9, 4.10.

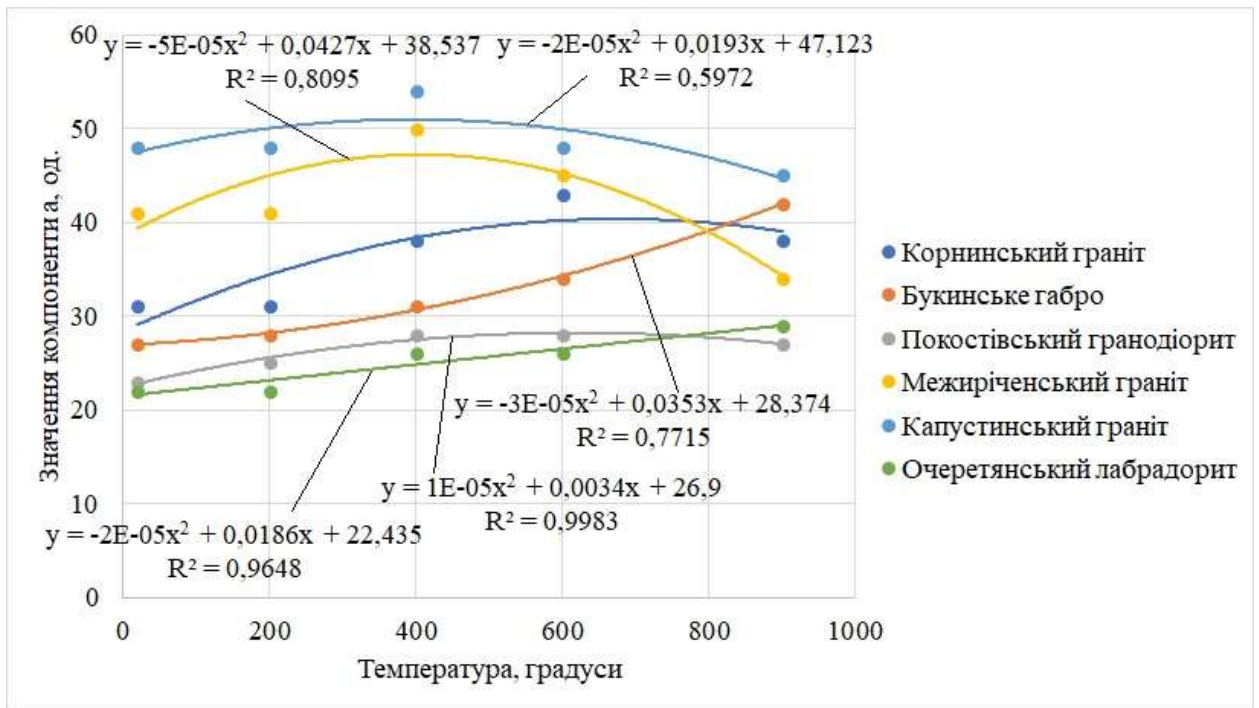


Рис. 4.10. Залежність компоненти а колориметричної системи CIELab поверхні зразків природного каменю від температури нагрівання

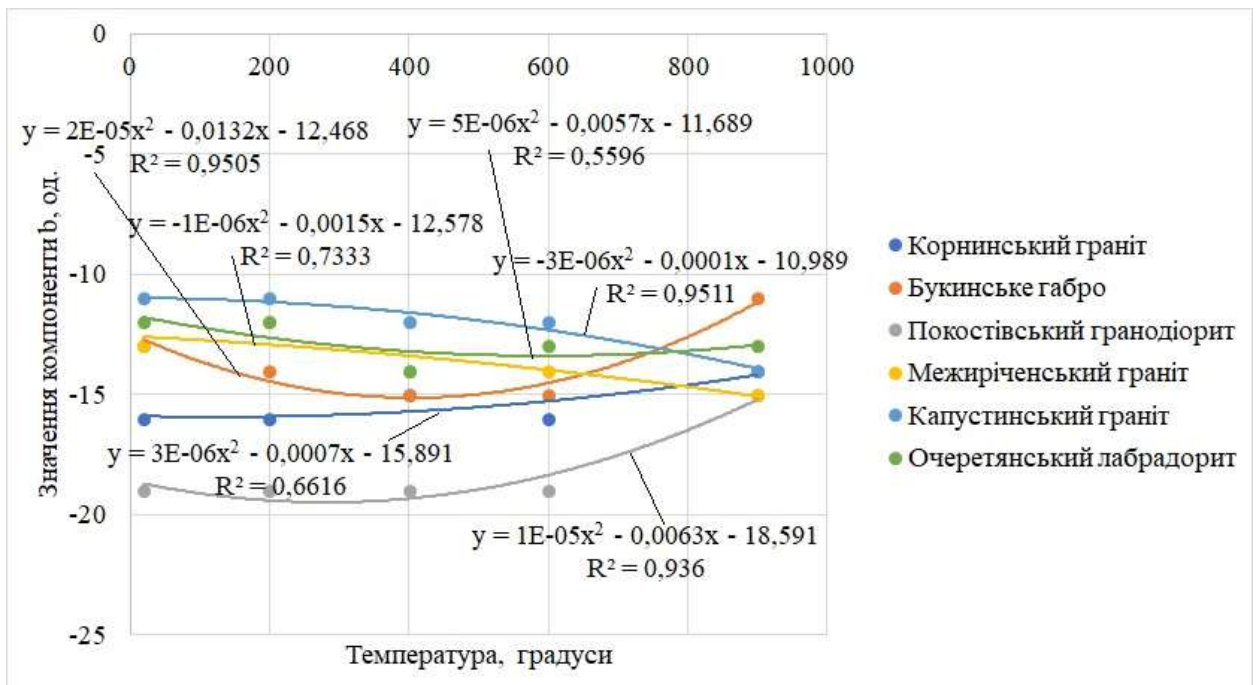


Рис. 4.10. Залежність компоненти б колориметричної системи CIELab поверхні зразків природного каменю від температури нагрівання

Залежності компоненти a та b колориметричної системи CIELab поверхні зразків природного каменю від температури нагрівання описуються поліномами другого порядку.

4.1.5. Оцінка швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в зразках під час нагрівання лабрадориту

Виміряти швидкість ультразвукової хвилі була можливість у тих зразках природного каменю, які мали розмір більше 15 см. Зразки з граніту та габро мали менші розміри, тому на них дослідження швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль не проводилось.

В діапазоні температур 200–400 °С в лабрадориті відбувається відкриття раніше існуючих мікротріщин [76, 77, 85, 82-84]. Найбільш суттєві зміни виникають в діапазоні між 500–600 °С, де відбувається збільшення відкритості пор (рис. 4.11). Це пояснюється утворенням розривів між мінералами, з'єднанням розривів з відкритими порами. Ці явища викликані анізотропією природного каменю. Залежність швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі в зразках лабрадоритів від температури майже однакова. Зниження швидкості ультразвукової хвилі на 80 % від початкових значень відбувається при нагріванні зразків до температури 900 °С. При температурі 700–900 °С в більшості зразках лабрадориту спостерігається зниження падіння швидкості ультразвукової хвилі. Це пояснюється досягненням до критичного значення кількості тріщин в досліджуваних зразках.

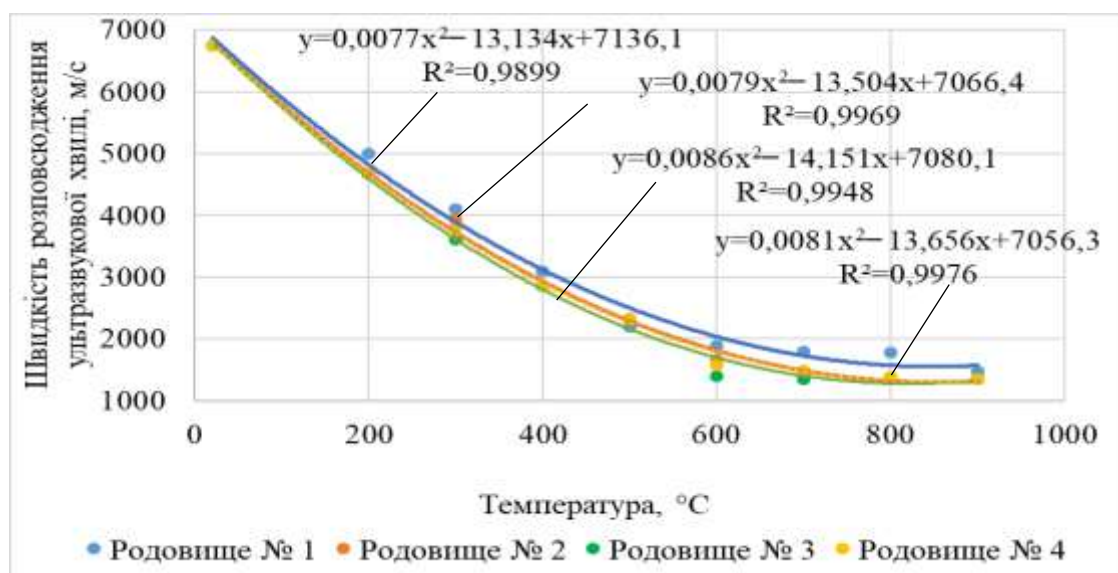


Рис. 4.11. Залежність швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в зразках лабрадоритів від температури, зразок: родовище № 1 – Очеретянське; родовище № 2 – Неви́рівське; родовище № 3 – Осниківське; родовище № 4 – Катеринівське

Зміна швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в зразках лабрадоритів під впливом температури майже однакова для всіх представлених родовищ лабрадориту.

4.1.6. Оцінка блиску полірованої поверхні під час нагрівання природного каменю

Перед вимірюванням блиску прилад юстирувався на зразку чорного кольору, який йде в комплекті з приладом та має значення блиску 97 одиниць. На кожному зразку природного каменю здійснювалося вимірювання блиску в п'яти точках на дослідному зразку каменю. Отримані результати усереднювали.

При дослідженні блиску полірованої поверхні зразків лабрадориту було встановлено, що при температурі 200 °C відбувається зростання показників блиску у зразків Очеретянського та Неви́рівського родовищ лабрадоритів (рис. 4.12). При температурі 300 °C відбувається зниження показників блиску

у Очеретянському та Невирівському родовищах лабрадоритів з подальшим зростанням при температурі 400 °С. У зразків Осниківського родовища лабрадориту зниження показників блиску відбувається при температурі 400 °С та зростання при температурі 500 °С. Це пов'язано з структурними змінами мінералів, які складають лабрадорит. В цілому при нагріванні лабрадориту до 900 °С зразки Очеретянського лабрадориту втратили 11,21 % блиску, Невирівського – 4,03 %, Осниківського – 33,57 %, Катеринівського – 15,3 %.

При 400 °С зразки Очеретянського родовища помутніли, зразки Осниківського родовища втратили свою іризацію, а на зразках Катеринівського родовища видозмінився ільменіт. При температурі 500 °С візуально спостерігається краще виражений блиск та тріщини між мінералами, зразки Очеретянського родовища майже не змінилися, на всіх інших зразках лабрадориту з'явився блиск від ільменіту.

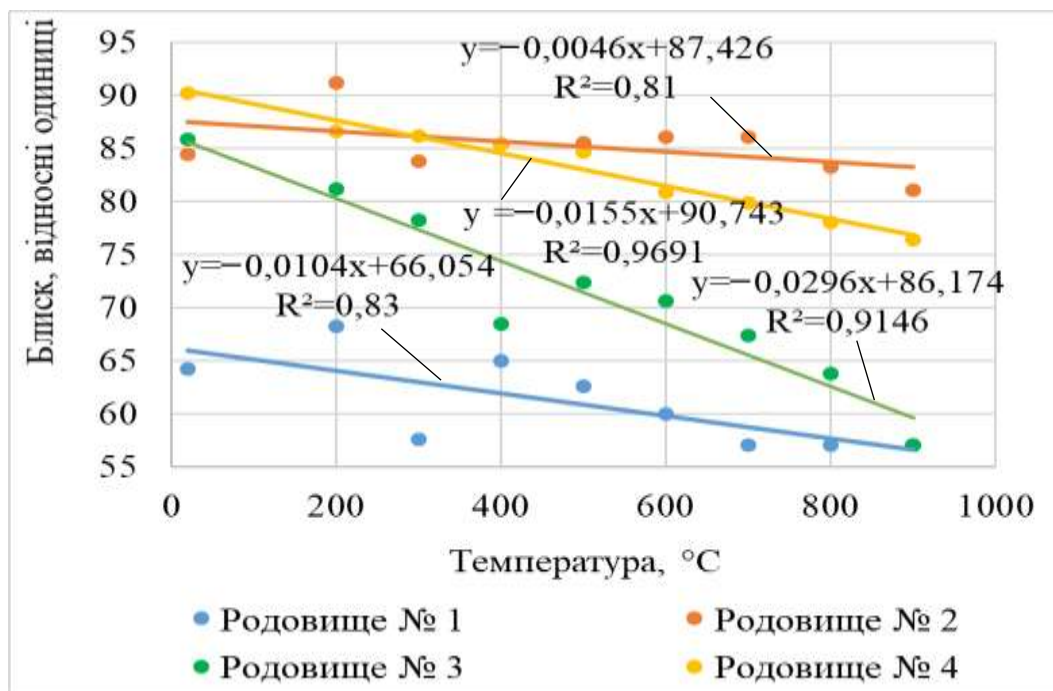


Рис. 4.12. Залежність показників блиску від температури нагрівання родовище № 1 – Очеретянське; родовище № 2 – Невирівське; родовище № 3 – Осниківське; родовище № 4 – Катеринівське

Залежність зміни показників блиску від температури для гранітів та габро наведені на рис. 4.13.

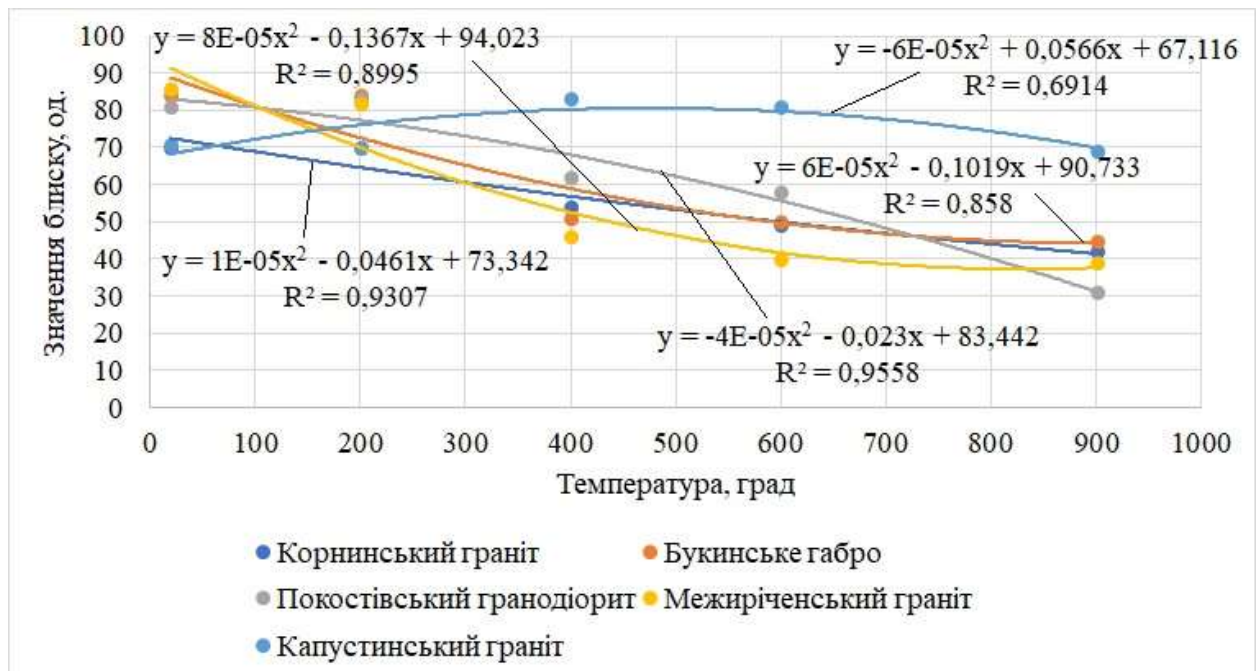


Рис. 4.13. Залежність зміни показників блиску від температури для гранітів та габро

З рис. 4.13 видно, що у всіх зразків природного каменю знижуються показники блиску. У зразків Капустинського граніту показники блиску зростають при температурах 400 та 600 градусів Цельсія, при подальшому підвищенні температури показники блиску знижуються. При нагріванні зразків каменю до 900 градусів Цельсія найбільше втрачають блиск зразки Покостівського гранодіориту – 62 %, найменше – зразки Капустинського граніту – 3 %.

Після нагрівання зразків лабрадориту до температури в 600 °C іризація лабрадориту спостерігається на зразках Осниківського та Катеринівського родовищ лабрадориту. Найменше рудних темних мінералів виділилося на зразках Очеретянського родовища.

Під час нагрівання лабрадориту при атмосферному тиску виникають хімічні реакції та трансформації внутрішньої структури мінералів, головними

з яких є фазовий перехід і окислення мінералів, які багаті на залізо. Наприклад, у роботі [57] розглянуті зміни фізичних характеристик граніту при нагріванні через фазний перехід кварцу, який відбувається при 573 °С під атмосферним тиском. На відміну від граніту, в лабрадориті кварц відсутній, а отже, окислення Fe, що міститься в піроксенах, є основним джерелом для зміни фізико-механічних властивостей лабрадоритів вище 600 °С. Так на основі мікроскопічних досліджень [58] видно, що відбувається окислення зразків габро при високій температурі. Виявляється, що температура 600 °С є пороговою для початку окислення мінералів при атмосферному тиску. Окислення починається як тонке покриття навколо піроксенів. Зі зростанням температури окислення розвивається на інших кристалах. При температурі близько 800 °С, мінерали, що містять включення Fe^{2+} окислюються. Окислені плагіоклази виглядають, як руді плями на поверхні. Габро та лабрадорити належать до основних порід та містять в собі 55–98 % плагіоклазу. Тому подібні процеси при нагріванні спостерігаються і на зразках лабрадориту. Але дослідження показують, що окислення мінералів, яке візуально спостерігається на всіх зразках лабрадориту починається при температурі 300 °С.

Найбільше з'явилося рудих плям на поверхні Очеретянського родовища лабрадориту. Це пояснюється наявністю в мінеральному складі лабрадориту FeO в кількості 4,68 %, що є найбільшим показником серед представлених родовищ лабрадоритів.

Залежність площі рудих вкраплень на поверхні зразків лабрадориту від температури нагрівання є однаковою для Осниківського та Катеринівського родовищ лабрадоритів та описується степеневою функцією. Це пояснюється наявністю в мінеральному складі Осниківського та Катеринівського родовищ лабрадоритів FeO майже однакової кількості, відповідно 3,91 та 3,81 %. Найменше значення рудих вкраплень відносно площі зразків Неvirівського родовища лабрадоритів, при нагріванні серед представлених родовищ

лабрадоритів, можна пояснити найменшим вмістом в мінеральному складі FeO – 1,58 %.

Більшість попередніх досліджень проводилося нагріванням зразків до заданих температурних рівнів з подальшим випробування їх при кімнатній температурі. Дослідження з випробування гранітів [5], вапняків [6], мармурів [9] та габро [58] показують, що при температурі до 300 °C зразки каменю майже не пошкоджуються. Але в діапазоні температур 300–700 °C відбуваються мікроструктурні зміни та незворотні термічно індуковані мікротріщини за рахунок різного температурного розширення мінералів. В лабрадоритах при температурі 500 °C візуально спостерігаються мікротріщини між мінералами.

Мікротріщини знижують швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі в кам'яних зразках. Для багатих ортопироксенів на Mg, Hugh-Jones D. [59] дав широкий діапазон значень теплового розширення від $21 \cdot 10^{-6}$ до $36 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Значення $32 \cdot 10^{-6}$ і $28 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ також були визначені для ортопироксенів і клинопіроксенів відповідно. Плагіоклази є матричні мінерали досліджуваного лабрадориту; значення α_v для плагіоклазів лежить між $9 \cdot 10^{-6}$ і $15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Це майже два рази менше, ніж значення піроксена. Для ільменіту (FeTiO_3), що міститься в лабрадориті в незначній кількості від 0–5 % α_v складає близько $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Таким чином мінерали лабрадориту мають значну різницю в коефіцієнтах теплового розширення. В дослідженнях [58] наведено, що швидкість ультразвукової хвилі зменшуються при підвищенні температури. Зниження є помірне до 600 °C. Між температурою 600 °C і 700 °C спостерігається різке зниження швидкості ультразвукової хвилі в габро (на 33 %), яке відбувається завдяки швидкому поширенню мікротріщин у міжкристалічній та внутрішньокристалічній композиції. В лабрадориті таких різких змін не відбувається, в деяких зразках є незначні коливання. З досліджень видно, що зниження швидкості ультразвукової хвилі в зразках лабрадориту описуються поліномами другого порядку та майже не мають суттєвих відмінностей у всіх дослідних зразках.

Зниження показників блиску полірованої поверхні мармурів [49] відбувається в межах від 4,22 до 24,91 %. Це корелюється з отриманими результатами в дослідженні з лабрадоритом. Зниження показників блиску зразків лабрадориту коливається в межах 4–34 %. Можна виділити дві причини, які впливають на погіршення показників блиску поверхні зразків природного каменю:

– поява мікротріщин із-за анізотропного теплового розширення і стиснення мінералів, що призводить до викришування на поверхні каменю, що збільшує шорсткість поверхні [59];

– фазовий перехід мінералів.

Високі температури викликали зміни зовнішнього вигляду лабрадоритів. Ці зміни пов'язані з мінералогією та текстурою. Зв'язок між розвитком кольору і високими температурами може дати інформацію про температуру вогню [3], [60].

В дослідженнях спостерігається зміна кольору та світлоти (збільшення значення компоненти L колориметричної системи CIE Lab) мармурів [61] та гранітів [59], в зразках сірих гранітів спостерігалось зниження значення компоненти L.

У всіх зразках лабрадориту спостерігається збільшення значення компоненти L. Зразки Осниківського лабрадориту мають найбільшу зміну значення компоненти L – 112 %, що можна пов'язати з найбільшим значенням площі окисненого заліза на поверхні зразка – 60 %. Разом з тим, ці зразки втратили 11,2 % блиску. Це може свідчити, що поверхня каменю була найменш порушена мікротріщинами порівняно з зразками інших родовищ. У зразках Невирівського; родовища лабрадориту значення компоненти L підвищується найменше серед усіх зразків лабрадориту на 56,2 %. Площа окисненого заліза на поверхні зразка – 46 %, що є середнім значенням серед інших дослідних зразків лабрадориту. Разом з тим, зразки Невирівського родовища лабрадориту втратили найбільше одиниць блиску блиску – 33,57 %. Можна припустити, що шорсткість поверхні в зразках даного

родовища лабрадориту найбільше підвищилась порівняно з зразками інших родовищ за рахунок мікротріщин. Таким чином, показники блиску та кольорової компоненти L взаємопов'язані між собою. Недоліком даних досліджень є відсутність даних про шорсткість поверхні природного каменю, що могло б підтвердити взаємозв'язок між отриманими даними. Також подальшим розвитком дослідження може бути отримання даних про втрату міцності лабрадориту під впливом високих температур.

4.2. Оцінка впливу високої температури на міцність облицювального каменю

Зовнішній вигляд природного облицювального каменю має важливе значення при його застосуванні в якості облицювального матеріалу. Значна кількість архітектурних пам'яток була споруджена з використанням облицювальних порід. Враховуючи їх значний вік, постають питання стосовно реставрації [57, 58, 62, 30, 63, 64]. При цьому виникають певні проблеми: або родовища перестали розробляти, або розроблять інші горизонти, в цьому випадку колір природного каменю на різних уступах може мати різні відтінки. Крім того, агресивні фактори навколишнього середовища змінюють декоративні властивості облицювання. А саме поява рудих плям на поверхні природного каменю, зміна кольору [65-71]. Тому виникає необхідність керувати декоративними властивостями природного каменю. Одним з способів, що дозволяє змінити декоративні властивості, є вплив високих температур. Наприклад, висока температура дозволяє прискорити окислення заліза або змінити насиченість кольорів. Разом з тим змінюється міцність природного каменю. Саме тому перед початком робіт з керування декоративних властивостей природного каменю необхідно врахувати міцнісні характеристики природного каменю.

В ході дослідження було випробувано 15 зразків Покостівського гранодіориту (рис. 4.14, а) та 15 зразків Букинського габро (рис. 4.14, б)

розміром 0,05×0,05×0,05 м [77, 80, 81].

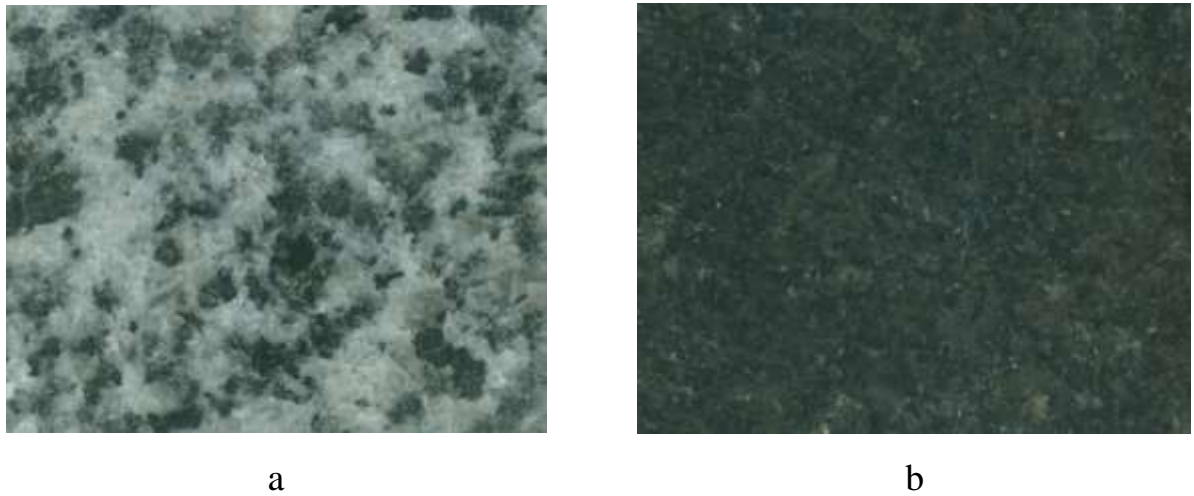


Рис. 4.14. Вигляд зразків каменю

Мінералогічний склад використовуваних видів природного облицювального каменю наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Мінеральний склад зразків каменю

Назва мінералів	Покостівський гранодіорит	Букинське габбро
	Вміст мінералів, %	
Мікроклін	15–30	2–9
Плагіоклаз	35–55	57–72
Кварц	10–25	5
Біотит	5–15	3
Піроксен	–	25–32
Інші	<1	0–14

Зразки граніту нагрівалися в електричній печі (рис. 4.15) зі швидкістю 1 °С/хв до 300, 500, 700, 900 °С. Витримувалися 1 годину при заданій

температурі, а потім охолоджувалися до температури 20 °С зі швидкістю 1 °С/хв. Низька швидкість зростання температури використовується для досягнення максимального температурного ефекту.



Рис. 4.15. Вигляд муфельних печей

Визначення міцності на стиск проводили за допомогою пресу IberTest МЕН 2000 (рис. 4.16):

1. Підготовлені зразки природного облицювального каменю розмірами 0,05×0,05×0,05 м.
2. Під час випробувань навантаження на зразок зростало безперервно і рівномірно 0,5 МПа в секунду.



Рис. 4.16. Вигляд пресу IberTest МЕН 2000

Міцність на стиск визначається за формулою для кожного зразка:

$$R_{str} = \frac{P}{F}, MPa$$

де P – руйнівне навантаження, N;

F – площа поперечного перерізу зразка, mm^2 .

Аналіз міцності природного каменю на стиск показав зниження міцності природного каменю при збільшенні температури нагрівання зразка, що корелюється з [72]. При нагріванні до 900 °C Букинське габро втрачає міцність на стиск на 42,5 %, а Покостівський гранодіорит – 81 % (рис. 4.17).

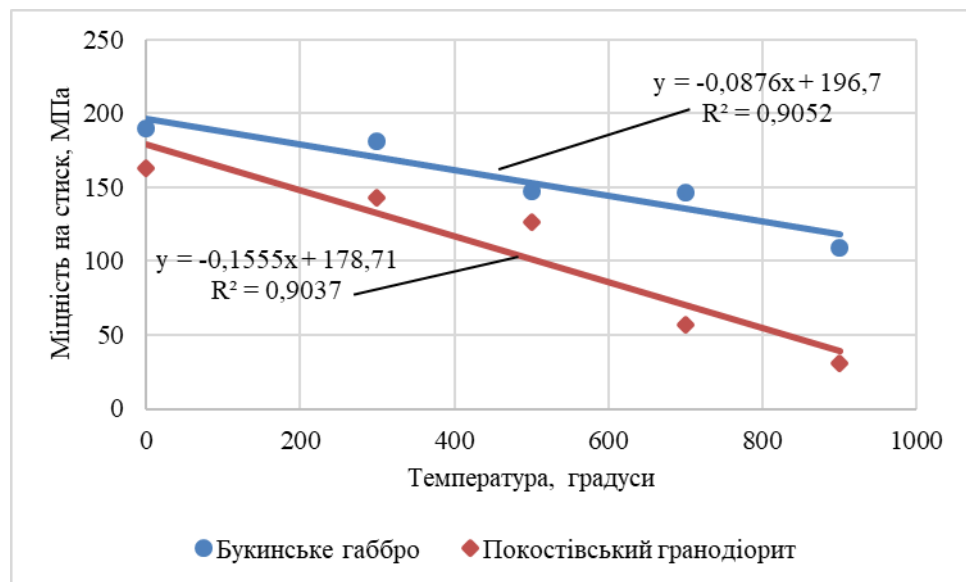


Рис. 4.17. Залежність міцності природного каменю на стиск від нагрівання

Зниження міцності на стиск природного каменю залежно від температури впливу описується лінійними функціями для гірських порід Букинського габро та Постівського гранодіориту.

4.3. Практичне застосування результатів

Найбільший вплив на колірні характеристики має кислий розчин, найменший – сольовий. Слід зазначити, що найбільші зміни в кольорових показниках відбуваються в гірських породах основного складу, найменші - у гірських породах кислого складу.

Використання хімічних реагентів доцільно застосовувати для облицювального каменю, який використовують для лицювання поверхонь, які знаходяться на великій відстані від зору людини. Це надасть можливість побачити однаковий відтінок всього об'єкту та сховати недоліки поверхні каменю, які виникають через шороховатість поверхні. Кислий розчин зменшує показники a , b та збільшує L колориметричної системи CIELab у всіх типах гірських порід. Лужний розчин збільшує показники L колориметричної системи CIELab у порід основного складу гірських порід, у кислих породах цей показник зменшується. Компоненти a та b лужний розчин підвищує у всіх гірських породах.

Сольовий розчин збільшує показники L колориметричної системи CIELab у порід основного складу гірських порід, у кислих породах цей показник зменшується. Компоненти a та b лужний розчин підвищує у всіх гірських породах. Всі розчини крім сольового знижують показники блиску на зразках природного каменю. В кислих гірських породах блиск підвищується на 3-4 од.

Обробка поверхні хімічними реагентами має недоліки: тривалий час обробки до 1200 год.; пошкодження полірованої поверхні природного каменю – поверхня стає шороховатою.

Використання хімічних просочувальних засобів дозволить змінити декоративні якості природного каменю не змінюючи міцність природного каменю. Також дані засоби підвищують корозійну стійкість полірованої поверхні природного каменю. Просочувальні засоби мають недолік: змінюють кольорові координати на фіксовану величину для кожної гірської

породи.

Просочувальний засіб Gabbro+ надає природному каменю темнішого відтінку, тому він розроблявся для гірських порід, які мають чорний колір або його відтінки. Разом з тим, за допомогою цього засобу можливо змінювати відтінок каменю на більш темний, як випадку з Покостівським гранодіоритом. Облицювальні вироби з Покостівського гранодіориту мають однаковий текстурний малюнок, але за кольоровими відтінками відрізняються. Навіть з одного блока цього природного каменю можливо отримати вироби, які одні світліші ніж інші. Тому даний реагент наносився на всі зразки природного каменю. На всіх зразках гірських порід, які мають чорний колір блиск зростав на 3-4 одиниці. На зразках з Покостівського гранодіориту, який має сірий колір блиск зріс всього на 1 одиницю. На зразках з червоного граніту блиск зріс, але по-різному. Найбільше блиск зріс у зразках з Межиріцького та Лезниківського родовищ на 10 одиниць. Найменше у зразків з Жадківського родовища каменю – 2 од.

Реагент Leznik надає природному каменю насиченого червоного кольору тому його доцільно використовувати для гірських порід, які мають червоний колір. Найбільше збільшує блиск для Жадківського родовища каменю – 9 од.

Реагенти Tenax Easywet та Kristalizer мають прозорий колір та майже не змінюють відтінки кольору природного каменю. Найбіший блиск з'являється у зразків з Капустинського родовища природного каменю після нанесення реагентом Kristalizer – 20 од. та у зразків з Межиріцького родовища природного каменю після нанесення реагентом Kristalizer – 15 од. Найменше значення збільшення блиску було у гірських породах чорного кольору 1-2 од., тому використовувати даний засіб для цих порід не доцільно.

Таким чином гірські породи чорного кольору необхідно обробляти реагентом Gabbro+.

Для гірських порід червоного кольору найкраще підходять реагенти Leznik, Tenax Easywet та Kristalizer.

Для гірських порід сірого кольору найкраще підходять реагенти

Gabbro+, Tenax Easywet та Kristalizer.

Всі реагенти знижують світлоту поверхні зразків природного каменю. Найбільше знижує світлоту реагент Gabbro+ найменше Kristalizer.

При обробці реагентом Gabbro+ зразків червоного природного каменю зниження світлоти відбувається в межах 7-13 од. Реагенти Leznik, Tenax Easywet, Kristalizer знижують світлоту зображення природного каменю майже однаково. Тому підбирати реагенти можливо враховуючи економічну складову вартості обробки.

Зразки з природного каменю, який має чорний колір зменшують світлоту кольору на 1-3 од. при обробці їх реагентами. Найбільше знижує світлоту поверхні зразків реагент Gabbro+ - 2-3 од. Реагенти Leznik, Tenax Easywet, Kristalizer знижують світлоту зображення чорного природного каменю на 0-2 од. Саме тому застосовувати реагенти Leznik, Tenax Easywet, Kristalizer для керування світлотою чорного природного каменю не має сенсу.

Зразки з Покостівського гранодіориту темнішали при обробці реагентами Gabbro+, Leznik, Tenax Easywet, Kristalizer відповідно на: 14, 12, 9, 6 од.

Керування світлотою поверхні зразків каменю за допомогою реагентів має лише фіксоване значення, тому широко використати цей метод досить важко. Разом з тим хімічні реагенти підвищують блиск, що робить цей метод ефективним для підвищення блиску.

Термічний спосіб керування декоративністю має високу швидкість, можливість змінювати кольорові показники в широких межах. Разом з тим має недоліки: знижує міцність природного каменю.

При нагріванні лабрадорити змінювали свої фізико-механічні та декоративні властивості. До температури 300 °C спостерігалися незначні зміни кольору та текстури природного каменю. При температурі 400 °C почали з'являтися незначні руді плями на полірованій поверхні. При 500–600 °C з'явилася значна кількість рудих плям. При температурі 900 °C всі

зразки, які досліджувалися покрилися рудими плямами. Руді плями можна пояснити окисненням металу Fe^{2+} , який знаходяться в мінералах природного каменю.

При температурі 500–600 °С можна візуально спостерігати тріщини, які утворилися між зернами мінералів в зразках лабрадориту.

На поверхні Покостівського гранодіориту та Корнинського граніту. при температурі 200 °С суттєвих змін в кольорі не виявлено. Зразки Покостівського гранодіориту при температурі 400 °С стають світліше за рахунок фазового переходу рогової обманки та мінералів біотитової групи від чорного та сірого кольору до біло-сірого. При збільшенні температури до 600 °С на поверхні гранітних зразків спостерігається зменшення мінералів темного кольору, з'являються точкові руді плями, які є наслідком окиснення заліза в мінералах. Поверхня природного каменю стає темнішою за рахунок зміни кольору мінералів з білого кольору на сірий.

На поверхні Межіріченського граніту при температурі 400 °С мінерали темного кольору змінюють колір на сірий, мінерали польового шпату змінюють колір з темно-рожевого на червоно-помаранчевий. Поверхня природного каменю світліє. За температури 600 °С на поверхні Межіріченського граніту польовий шпат переходить з червоно-помаранчевого кольору на темно-рожевий. Поверхня природного каменю темніє. За температури 900 °С є злиття мінералів хлориту з мінералами польового шпату, що утворює блідо-фіолетовий колір на поверхні природного каменю. Поверхня зразків ще темніє.

За температури 400 °С на поверхні Капустинського граніту мінерали темного кольору стають сірими, червоний колір польового шпату стає світлішим. За температури 600 °С світло червоний польовий шпат змінює колір на темно червоний. За температури 900 °С темно червоний польовий шпат змінює колір на бордовий. Кристали кварцу світлішають та наближаються до білого кольору.

За температури 400 °С в зразках Корнинського граніту димчатий кварц

стає сірим, мінерали польового шпату майже не змінюють колір, з'являються плями бордового кольору.

За температури 600 °С димчатий кварц інтенсивніше набуває біло-сірого кольору. На поверхні зразків з'являються руді плями від шпінелі та високозалізистих силікатів.

За температури 900 °С червоний польовий шпат також, як і в Капустинському граніті змінює колір на бордовий. Спостерігається поява рудих плями від залізовміщуючих мінералів. Поверхня природного каменю стає однорідною за кольором - блідо бордовою з сіро-білими вкрапленнями.

Разом з тим втрату міцності природного каменю можливо виміряти двома шляхами: неруйнівним методом (ультразвуковим приладом) та класичним способом – руйнівним методом (за допомогою гідравлічного преса). У всіх зразках відбувається різке зниження міцності на стиск при підвищенні температури вище 400 °С. Зниження міцності необхідно враховувати в кожному випадку окремо, тому що облицювальний камінь може мати індивідуальну несучу здатність в кожній конструкції.

Висновки до розділу 4

1. Цифрова обробка зображень зразків лабрадориту та габро показала, що окислення мінералів, що містять Fe^{2+} відбувається постійно. При температурах до 600 °С цей процес в більшості зразків лабрадориту та габро відбувається повільно. При температурі більше 600 °С окислення металів відбувається більш інтенсивно. Руді плями на поверхні зразків є результатом окислення сполук металу Fe^{2+} , в зразках з різних родовищ природного каменю вони покривають різну площу поверхні зразка природного каменю в межах 2–60 %. Залежність площі рудих вкраплень на поверхні зразків лабрадориту від температури нагрівання описується степеневими функціями.

2. При нагріванні всі зразки природного каменю світлішають до 62 % показника L колориметричної системи CIE Lab, це пов'язано з фазовим переходом мінералів. Залежність компоненти L колориметричної системи

CIELab поверхні зразків лабрадориту, Покостівського гранодіориту та Межиріченського граніту від температури нагрівання описуються поліномами другого порядку. Для зразків Капустинського, Корнинського гранітів, Букинського габро ця залежність описується лінійними функціями.

3. Залежність швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі в зразках лабрадоритів від температури майже однакова. В середньому відбувається зниження швидкості ультразвукової хвилі на 80 % від початкових значень при нагріванні зразків до температури 900 °С. При температурі 700–900 °С в більшості зразках лабрадориту спостерігається зниження падіння швидкості ультразвукової хвилі. Це пояснюється досягненням до критичного значення кількості тріщин в досліджуваних зразках. Залежність швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в зразках лабрадоритів від температури описується поліномами другого порядку.

4. Залежність компонент а, b колориметричної системи CIELab поверхні зразків природного каменю від температури нагрівання описуються поліномами другого порядку.

5. При нагріванні показники блиску полірованої поверхні зразків лабрадориту змінювалися по-різному. При нагріванні лабрадориту до 900 °С зразки Очеретянського лабрадориту втратили 11,21 % блиску, Невіривського – 4,03 %, Осниківського – 33,57 %, Катеринівського – 15,3 %. У лабрадоритів значення блиску поверхні від температури описуються лінійними функціями, а у гранітів та габро поліномами другого порядку.

5. Зниження міцності на стиск природного каменю залежно від температури впливу описується лінійними функціями для гірських порід Букинського габро та Постівського гранодіориту. При нагріванні до 900 °С Букинське габро втрачає міцність на стиск на 42,5 %, а Покостівський гранодіорит – 81 %

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлення залежності зміни декоративних та міцнісних характеристик природного каменю від інтенсивності фізико-хімічного впливу отримано нове вирішення актуальної науково-практичної задачі з керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-хімічних методів, що забезпечить в технологічних процесах ВПТОВ «Гранітдрев», ТОВ «ГАБРОГОР» сумарний очікуваний економічний ефект 359 тис. грн. на рік.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у такому:

1. Дослідженнями встановлено, що основна зміна кольору облицювальних поверхонь каменю в межах досліду становить приблизно перші 30 днів (720 год) для порід основного складу, що вказує на обов'язковість врахування даного факту.

2. Сольовий та лужний розчини при впливі на поверхню основних порід збільшують показник L колориметричної системи CIELab на 2-4 од., а кислий - на 10-16 од. В кислих породах кислий розчин підвищує показник поверхні зразків L колориметричної системи CIELab на 5-8 од., лужний розчин навпаки - знижує на 2-3 од., а сольовий не змінює. Залежності зміни від часу впливу кислого, лужного, сольового розчину описується лінійними функціями.

3. Залежності зміни показника блиску поверхні природного каменю від часу впливу кислого, лужного та сольового розчинів описується лінійними функціями. Найбільша зміна блиску відбувається в кислому середовищі в Кам'янобрідському лабрадоритів (на 24 %) та Букинському габро (на 19 %). Лужний розчин має найменший вплив зміну показника блиску у всіх зразках каменю.

4. Найбільше розтікання фарби спостерігається на поверхні Покостівського гранодіориту - 11°02', найменше розтікання спостерігається

на поверхні Межирічинського граніту - $21^{\circ}83'$.

5. При хімічній обробці на різних видах природного каменю блиск збільшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 0,5 до 9,2 од., при обробці засобом Leznik – від 0,7 до 7,5 од., при обробці засобом Tenax Easywet – від 0,3 до 12,7 од., при обробці засобом Kristalizer – від 0 до 3,8 од.

6. При хімічній обробці на різних видах природного каменю світлість зменшується: при обробці засобом Gabbro+ – від 2 до 14 %, при обробці засобом Leznik – від 0 до 12 %, при обробці засобом Tenax Easywet – від 1 до 10 %, при обробці засобом Kristalizer – від 1 до 9 %.

7. При нагріванні всі зразки природного каменю світлішають до 62 % показника L колориметричної системи CIELab, це пов'язано з фазовим переходом мінералів. Залежність компоненти L колориметричної системи CIELab поверхні зразків лабрадориту, Покостівського гранодіориту та Межиріченського граніту від температури нагрівання описуються поліномами другого порядку. Для зразків Капустинського, Корнинського гранітів, Букинського габро ця залежність описується лінійними функціями.

8. Залежність швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі в зразках лабрадоритів від температури майже однакова. В середньому відбувається зниження швидкості ультразвукової хвилі на 80 % від початкових значень при нагріванні зразків до температури 900°C . При температурі $700\text{--}900^{\circ}\text{C}$ в більшості зразках лабрадориту спостерігається зниження падіння швидкості ультразвукової хвилі. Це пояснюється досягненням до критичного значення кількості тріщин в досліджуваних зразках. Залежність швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в зразках лабрадоритів від температури описується поліномами другого порядку.

9. При температурі 900°C Букинське габро втрачає міцність на стиск 47,5 %; а Покостівський гранодіорит - 75 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://vuzlit.ru> : вебсайт. URL: https://vuzlit.ru/2290368/ekonomichniy_zmist_yakosti_promislovoi_produktsiyi_metodi_viznachennya.
2. Коробійчук В. В. Управління якістю каменю блоків декоративного каменю за допомогою кваліметричних та інформаційно-комп'ютерних технологій : дис. ... к.т.н : 05.15.03. Житомир, 2008. 230 с.
3. Соболевський Р. В., Левицький В. Г., Коробійчук В. В. Сучасні фізико-хімічні методи обробки природного каменю : навч. посіб. Житомир : ЖДТУ, 2007. 171 с.
4. Гелета О. Л. Оцінка декоративної якості гірських порід при геолого-розвідувальних роботах на родовищах Українського щита : дис. ... к.геол.н. : 04.00.11 «Геологія металевих і неметалевих корисних копалин». К., 2001. 155 с.
5. Горобчишин О. В. Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю блокового каменю при підготовці до виймання : дис. ... к.т.н. : 05.15.03 «Відкрита розробка родовищ корисних копалин». К., 2017. 162 с.
6. Визначення показників кольору та геометричних характеристик текстури облицювального каменю / Бакка М. Т. и др. *Сборник научных трудов Национального горного университета*. 2004. Т. 1. № 19. С. 23–30.
7. Investigation of Leznikovskiy Granite by Ultrasonic Methods / Криворучко А. О. та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. Житомир, 2016. № 3 (78). С. 150–163.
8. Analysis of change in the decorative properties of granites under thermal exposure / Korobiichuk V. at al. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2019. № 2 (12). С. 35–43. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_2%2812%29_5.
9. Криворучко А. О., Іськов С. С., Ломаков Г. М. Формування забарвлення декоративного каменю. Частина 1. Природне забарвлення

каменів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. Житомир, 2009. № 2 (49). С. 122–130.

10. Криворучко А. О. Обґрунтування методики геометризації габроїдних порід на основі визначення та оцінки показників структури та декоративності : дис. ... к.т.н. : 05.15.01. Дніпропетровськ, 2006. 181 с.

11. Іськов С. С., Криворучко А. О., Коробійчук В. В. Формування забарвлення декоративного каменю. Частина 2. Штучне забарвлення кам'яних виробів. *Вісник ЖДТУ. Серія. Технічні науки*. 2011. № 1 (56). С. 100–108.

12. Лазаренко Е. К. Курс минералогии. К. : Государственное издательство технической литературы Украины, 1951. 688 с.

13. Коробійчук В. В., Коробійчук І. В., Ломаков Г. М. Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю. *Вісник Криворізького технічного університету*, 2011. № 28. С. 182–186.

14. Малин В. И. Облицовка поверхностей природным камнем : учеб. для средних проф.-тех. училищ. 3-е изд., перед. и доп. М. : Высшая школа, 1981. 304 с.

15. Малин В. И., Дамье-Вульфсон В. Н. Наружная и внутренняя облицовка зданий природным камнем : учеб. для ПТУ. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1991. 304 с.

16. Викторов А. М., Викторова Л. А. Природный камень в архитектуре. М. : Стройиздат, 1983. 191 с.

17. Ковельман И. А. Коррозия и разрушение каменных сооружений. М., 1938. 112 с.

18. Сычев Ю. И., Берлин Ю.Я. Распиловка камня. М. : Стройиздат, 1989. 320 с.

19. Орлов А. М. Добыча и обработка природного камня. М. : Стойиздат, 1977. 350 с.

20. Бакка М. Т., Коробійчук В. В., Зубченко О. А. Обробка природного каменю : навч. посіб. Житомир : РВВ ЖДТУ, 2006. 438 с.

21. Контроль качества поверхностей неметаллических деталей при финишной алмазно-абразивной обработке. / Филатов Ю. Д. и др. *Сверхтвердые материалы*. 2008. № 2. С.75–80.
22. Сідорко В. І., Курілович В. Д. Особливості формування робочого шару інструмента для лошіння плоских поверхонь виробів з природного та синтетичного каменю. *Вісник ЖДТУ*. 2009. № 4 (51). С. 95–98.
23. Коробійчук В. В., Жуков С. О., Астахов В. І. Вплив технологічних чинників на якість лицювального каменю. *Вісник КТУ*. 2011. № 28. С. 108–111.
24. Дерев'янюк О. В., Подчашинський Ю. О. Контроль якості поверхні облицювального природного каменю на основі фрактальної обробки відеоінформації. *Восточно-Европейский журнал передових технологий*. 2008. № 5/2 (35), С. 38–44.
25. Филатов Ю. Д. Полирование прецизионных поверхностей деталей из неметаллических материалов инструментом со связанным полировальным порошком. *Сверхтвердые материалы*. 2008. № 1. С. 59–66.
26. Методы исследования и контроля шероховатости поверхности металлов и сплавов / Назаров Ю. Ф., Шкилько А. М., Тихоненко В. В., Компанеец И. В. *ФПП*. 2007. № 3–4. С. 207–216.
27. Швец С. В., Яненко М. Б. Определение параметров шероховатости при точении. *Вісник «СумДУ»*. 2006. № 12 (96). С.116–124.
28. Heritage E. Graffiti on Historic Buildings and Monuments: Methods of Removal and Prevention. *Technical Advice Note*. English Heritage. 1999.
29. Amoroso G. G., Fassina V. Stone decay and conservation: atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection. *Elsevier Science Publishers*. 1983. 453 p.
30. Коробійчук В. В. Метод оцінки тиску, що виникає при тепловому розширенні кристалів солей і льоду в порах природного каменю. *Вісник ЖДТУ. Серія. Технічні науки*. 2011. № 3 (58). С. 176–179.

31. Коробійчук В. В. Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменю. *Вісник ЖДТУ. Серія. Технічні науки*. 2012. № 1 (60). С. 123–126.

32. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / Криворучко А. О., Коробійчук В. В., Подчашинський Ю. О., Ремезова О. О. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. 2007. № 1 (40). С. 186–195.

33. Shamrai V., Korobiychuk V. Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 5, № 5. 71 p.

34. Levytskyi V., Sobolevskyi R., Korobiichuk V. The optimization of technological mining parameters in quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2018. T. 33. № 2. P. 83–90.

35. Шамрай В. І. Управління декоративними властивостями гірських порід на основі фактурної обробки : дис. ... к.т.н. 2017.

36. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / Korobiichuk V. at al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 4 (5). С. 52–57.

37. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / Korobiichuk I. at al. *Construction & Building Materials*. 2016. № 114. P. 241–247.

38. Study of micro-texture and skid resistance change of granite slabs during the polishing with the Aachen Polishing Machine / Dawei W. at al. *Wear*. 2014. Vol. 318, Issue 1–2. P. 1–11.

39. Evaluation of subsurface damage in GaN substrate induced by mechanical polishing with diamond abrasives / Hideo A., Hidetoshi T., Seong-Woo K. at al. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 292. P. 531–536.

40. Xie J., Tamaki J. Parameterization of Micro-Hardness Distribution in Granite Related to Abrasive Machining Performance. *Journal of Materials Processing Technology*. 2007. Vol. 186, Issue 1–3. P. 253–258.
41. Yavuz H., Ozkahraman T., Demirdag S. Polishing experiments on surface quality of building stone tiles, *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25, Issue 4. P. 1707–1711.
42. Study of Separation of Pigments in Paints for Development of Multicolor Paint / Khedkar S. V., Thorat P. V., Pande P. S., Gopalani R. P. *Journal for Research*. 2017. № 3 (04).
43. Surface water repellent-mediated change in lime mortar colour and gloss / Carmona-Quiroga P. M., Martínez-Ramírez S., de Rojas, M. S., Blanco-Varela M. T. *Construction and Building Materials*. 2010. № 24 (11), P. 2188–2193.
44. Microscopic and macroscopic characterization of the porosity of marble as a function of temperature and impregnation / Malaga-Starzec K., Akesson U., Lindqvist J. E., Schouenborg B. *Construction and Building Materials*, 2006. № 20 (10). P. 939–947.
45. Determination of the impregnation depth of siloxanes and ethylsilicates in porous material by neutron radiography / Cnudde V., Dierick M., Vlassenbroeck J. et al. *Journal of Cultural Heritage*. 2007. № 8 (4). P. 331–338.
46. Ozguven A., Ozcelik Y. Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones. *Engineering Geology*. 2014. Vol. 183. P. 127–136.
47. Kılıç Ö. The influence of high temperatures on limestone P-wave velocity and Schmidt hammer strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2006. Vol. 6. Issue 43. P. 980–986.
48. Liu S., Xu J. An experimental study on the physico-mechanical properties of two post-high-temperature rocks. *Engineering Geology*. 2015. Vol. 185. P. 63–70.

49. Didem E. S. Thermal deterioration of marbles: Gloss, color changes. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 102. P. 416–421.
50. Martinho E., Dionísio A. Assessment Techniques for Studying the Effects of Fire on Stone Materials: A Literature Review. *International Journal of Architectural Heritage*. 2018. P. 1–25.
51. Time-dependent cracking and brittle creep in crustal rocks: a review / Brantut N., Heap M. J., Meredith P. G., Baud P. *Journal of Structural Geology*. 2013. № 52. P. 17–43.
52. Experimental and numerical studies on the mechanical behaviour of Australian Strathbogie granite at high temperatures: an application to geothermal energy / Shao S., Ranjith P. G., Wasantha P. L. P., Chen B. K. *Geothermics*. 2015. № 54. P. 96–108.
53. Partial collapse of a ventilated stone façade: Diagnosis and analysis of the anchorage system / Ivorra S. at al. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 31. P. 290–301.
54. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures. *International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016*. Springer International Publishing. 2016. P. 653–658.
55. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods / Korobiichuk I., Korobiichuk V. at al. *Archives of Mining Sciences*. 2018. Vol. 63, Issue 1. P. 75–82.
56. Chaki S., Takarli M., Agbodjan W.P. Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions. *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 22. P. 1456–1464.
57. Keshavarz M., Pellet F. L., Loret B. Damage and changes in mechanical properties of a gabbro thermally loaded up to 1000°C. *Pure and Applied Geophysics*. 2010. Vol. 167, Issue 12. P. 1511–1523.

58. Evolution of surface properties of ornamental granitoids exposed to high temperatures / Vazquez P., Acuña M. at al. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 104. P. 263–275.
59. Annerel E., Taerwe L. Methods to quantify the colour development of concrete exposed to fire. *Construction and building materials*. 2011. Vol. 25, Issue. 10. P. 3989–3997.
60. Ozguven A., Ozcelik Y. Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire and high heat. *Construction and Building Materials*. 2013. № 38. P. 813–821.
61. Sandstone alterations triggered by fire-related temperatures / Kompaníková Z. at al. *Environmental earth sciences*. 2014. Vol. 72, Issue 7. P. 2569–2581.
62. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / Korobiichuk V. V. et al. *Вісник ЖДТУ*. 2017. № 1 (79). P. 182–190.
63. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / Sobolevskyi R. at al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6/3 (84). P. 32–40.
64. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / Sobolevskyi R. at al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5/3 (83). P. 21–29.
65. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / R.Sobolevskyi et al. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2017. № 3 (3). С. 54–67.
66. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / Криворучко А. О. та ін. *Вісник ЖДТУ*. 2016. № 3 (78). С. 150–163.
67. Shamrai V. I., Korobiichuk V. V., Sobolevskyi R. V. Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine. *Вісник*

Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки. 2017. № 2 (80). Т. 1. С. 234–239.

68. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / Korobiychuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. Vol. 2, № 5 (92). P. 20–25.

69. Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure / Korobiichuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019. Vol. 1, № 12 (97). P. 14–20.

70. Бакка Н. Т., Ильченко И. В. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений : справочник. М. : Недра, 1992. 303 с.

71. Тугаринов А. И. Общая геохимия. Краткий курс. Учебное пособие для вузов. М. : Атомиздат, 1973. 288 с.

72. Stressed-deformed state of mountain rocks in elastic stage and between elasticity / Samedov A. M., Vapnichna V. V., Shlapak V. O., Sidorov O. M. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки.* 2017. Том. 1, № 2 (80). С. 181–188.

73. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / Korobiichuk V. V. et al. *Вісник Житомирського державного технологічного університету.* 2017. № 1 (79). С. 182–190.

74. Взаємодія фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю / Леонець І. В. та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2018. № 1 (81). С. 261–268.

75. The influence of moisture on the colour characteristics of natural stone / Korobiichuk V.V. et al. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки.* 2018. № 2 (82). С. 247–252.

76. Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure / Korobiichuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019. № 1/12 (97). С. 14–20.

77. Оцінка впливу високої температури на облицювальний камінь з міцних гірських порід / Коробійчук В. В., Шамрай В. І., Сидоров О. М., Заруцький С. О. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. 2019. № 1 (83). С. 241–250.

78. Evaluation of the effectiveness of natyral stone surface treatment of Ukraine by mechanical and chemical methods / Korobiichuk V. et al. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2018. Т. 33. № 4. С. 15–21.

79. Korobiichuk V., Shlapak V., Sidorov A. Carrying out capital trenches by diamond-rope machines. *5th International Colloquium of Non-Blasting Rock Destruction and 5th International Protodjakonov Colloquium*, 19–22 November. TU Bergakademie Freiberg, 2017. P. 92–97.

80. Коробійчук В. В., Сідоров О. М. Європейська інтеграція: Стратегія поводження з відходами каменеобробних підприємств України. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки*. Житомир : ЖДТУ, 2017. Т. 1. С. 207–208.

81. Сідоров О. М., Вешняков М. М., Мельниченко А. Зниження міцності природного каменю при багаторазовому неруйнівному навантаженні. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки*. Житомир : ЖДТУ. 2018. С. 217–218.

82. Вплив температури на декоративні та фізико-механічні властивості лабрадориту / Коробійчук В. В., Сідоров О. М., Заруцький С. О., Малий В. В. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 17–18 травня. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2018. С. 82–85.

83. Шамрай В. І., Сидоров О. М., Недогибченко О. Зміна кольірних показників природного каменю при його нагріванні. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки*, 15–17 травня. Житомир : ЖДТУ. 2019. 279 с.

84. Changes in the physical and decorative properties of natural stone under the influence of high temperatures / Korobiichuk V., Shlapak V., Mamrai V., Sydorov O. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики* : матеріали II-гої Міжнародної науково-технічної конференції, 29–31 травня. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2019. С. 66–70.

85. Сидоров О. М., Заруцький С. О., Коробійчук В. В. Термічний вплив на фізико-механічні та декоративні властивості лабрадориту. *Розвиток промисловості та суспільства* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. Кривий Ріг : Криворізький національний університет, 2019. 11 с.

ДОДАТОК А**Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації***Статті у фахових виданнях:*

1. Samedov A.M. Stressed-deformed state of mountain rocks in elastic stage and between elasticity / A.M. Samedov, V.V. Vapnichna, V.O. Shlapak, O.M. Sidorov. *Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки.* 2017. Том. 1. №2 (80). С. 181–188. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
2. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / V.V. Korobiichuk, O.M. Sidorov, R.V. Sobolevskyi, V.O. Shlapak, A.O. Kryvorushko. *Вісник Житомирського державного технологічного університету.* 2017. № I (79). С.182–190. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
3. Взаємодія фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю / І. В. Леонець, О. М. Сідоров, Д. С. Янович, С. О. Заруцький, О. М. Чала. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2018. № 1 (81). С. 261–268. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
4. The influence of moisture on the colour characteristics of natural stone / V.V. Korobiichuk, R.V. Sobolevskyi, O.M. Sydorov, V.I. Shamrai, V.O. Shlapak // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2018. № 2 (82). С. 247–252. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).
5. Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure / V. Korobiichuk, V. Shlapak, R. Sobolevskyi, O. Sydorov, L. Shaidetska. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.*

2019. Vol. № 1/12 (97). С. 14–20. **(входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus).**

6. Оцінка впливу високої температури на облицювальний камінь з міцних гірських порід / В. В. Коробійчук, В. І. Шамрай, О. М. Сидоров, С.О. Заруцький. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2019. № 1 (83). С. 241–250. *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).*

Статті у закордонних збірниках наукових праць:

7. Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment of Ukraine by mechanical and chemical methods / V. Korobiichuk, O. Shamrai, V. Levytskyi, R. Sobolevskyi, O. Sydorov. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik.* 2018. Т. 33. №. 4. С. 15–21 **(входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus)**

Публікації за матеріалами конференцій:

8. Зміна колірних показників природного каменю при його нагріванні / В.І. Шамрай, О.М. Сидоров, О. Недогибченко. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки 15–17 травня 2019 року.* – Житомир: ЖДТУ. 2019. С. 279. (Виступ на конференції).

9. Changes in the physical and decorative properties of natural stone under the influence of high temperatures V. Korobiichuk, V. Shlapak, V. Mamrai, O. Sydorov. *Матеріали II-гої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики» 29-31 травня 2019 року.* – Київ: КПІ «імені Ігоря Сікорського». 2019. С. 66–70. (Виступ на конференції).

10. Термічний вплив на фізико-механічні та декоративні властивості лабрадориту / О.М. Сидоров, С.О. Заруцький, В.В. Коробійчук. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства».* – Кривий Ріг: ВНЗ «Криворізький національний університет». 2019. С. 11. (Виступ на конференції).

ДОДАТОК Б



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
 Ministry of Education and Science of Ukraine, Zhytomyr Polytechnic State University

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005
 103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005
 Phone/fax: (0412) 24-14-22, 24-14-23, e-mail: rector@ztu.edu.ua, https://ztu.edu.ua, код ЄДРПОУ 05407870

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВІДПОВІДАЄ ДСТУ ISO 9001:2015
 QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015

Від 12.03.2020 № 44-23.05/527
 На № _____ від _____

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
 Сидорова Олександра Миколайовича**

Засвідчую, що основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи на здобуття доктора філософії Сидорова Олександра Миколайовича на тему «Керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-хімічних методів» впроваджені в організацію навчального процесу Житомирського державного технологічного університету в таких формах:

1) при складанні навчальних (робочих) програм та викладанні таких дисциплін: «Технологія розробки стінового каменю і блоків», «Організація та планування гірничих робіт» та «Оцінка якості блочної сировини та облицювальної продукції з каменю»;

2) у наукових виданнях, які використовувалися у навчальному процесі та знаходяться у бібліотеці Житомирського державного технологічного університету:

1. Stressed-deformed state of mountain rocks in elastic stage and between elasticity / Samedov A.M., Vapnichna V.V., Shlapak V.O., Sidorov O.M. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. Том. 1. № 2 (80). С. 181–188.

2. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / V.V. Korobiichuk та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 1 (79). 2017. С. 182–190.

3. Взаємодія фарбових матеріалів з поверхнею природного каменю / І.В. Леонєць ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 1 (81). С. 261–268

Ректор Державного університету
 «Житомирська політехніка»
 д.е.н., проф.



В.В. Євдокимов

ДОДАТОК В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



ТОВ «Габрогор»

Валюка Грива Володимирівна

20 жовтня 2020 р.

ДОВІДКА

**про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи
Сидорова Олександра Миколайовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії
«Керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-
хімічних методів»**

Результати досліджень Сидорова Олександра Миколайовича використовуються в діяльності ТОВ «Габрогор» для підвищення ефективності управління якістю готової продукції з природного декоративного каменю. Особливо важливими для практичного використання є методика експериментального дослідження впливу агресивного середовища на декоративність та якість продукції з природного каменю, що дозволить змінити колір поверхні свіжого природного каменю до необхідного значення;

Використання результатів дисертаційної роботи дають змогу підвищити раціональність використання сировини та ефективність використання каменеобробного обладнання.

Очікуваний розрахунковий економічний ефект на ТОВ «Габрогор» при прийнятті до впровадження результатів дисертаційних досліджень Сидорова Олександра Миколайовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії «Керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-хімічних методів» становить 145 тис. грн. на рік.

Отримана практична цінність результатів впровадження автора дисертаційної роботи дозволяє рекомендувати їх до використання іншими підприємствами, які займаються видобуванням та обробкою природного каменю.

Начальник дільниці
ТОВ «Габрогор»

Крижак С.О.

ДОДАТОК Г

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

ВПТОВ «Гранітдрев»

Сичкаренко Сергій Віталійович

«14» грудня 2019 р.

ДОВІДКА

про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи Сидорова Олександра Миколайовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії «Керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-хімічних методів»

Результати досліджень Сидорова О.М. використовуються в діяльності ВПТОВ «Гранітдрев» для підвищення ефективності обробки каменю. Особливо важливими для практичного використання є: методика оцінки стійкості природного каменю до високих температур, що дозволить змінити колір поверхні свіжого природного каменю до необхідного значення.

Використання результатів дисертаційної роботи дають змогу керувати декоративними властивостями природного каменю на основі встановлення залежності зміни декоративних та міцнісних характеристик природного каменю від інтенсивності фізико-хімічного впливу.

Очікуваний розрахунковий економічний ефект на ВПТОВ «Гранітдрев» при прийнятті до впровадження результатів дисертаційних досліджень Сидорова Олександра Миколайовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії «Керування якістю лицьової поверхні природного каменю за допомогою фізико-хімічних методів» становить 214 тис. грн. на рік.

Начальник дільниці
ВПТОВ «Гранітдрев»



Стеценко В.І.