

**В.В. Коробійчук, д.т.н., доц.
В.І. Шамрай, к.т.н., ст. викл.
О.М. Сидоров, аспірант
С.О. Заруцький, аспір.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

Оцінка впливу високої температури на облицювальний камінь з міцних гірських порід

Експериментально досліджувалися зразки з двох родовищ природного каменю, які розташовані в Україні. Випробування зразків гранітів проводилося високими температурами 300, 500, 700, 900 °С. Всі представлені зразки показують зміну кольору поверхні при температурі від 300 °С і вище. Поведінка гранітів з нагріванням залежить від їх мінерального складу, структури та текстури. Поверхні всіх дослідних зразків стали світліші, деякі зразки гранітів втратили насиченість кольорів. При нагріванні зразків до 900 °С природного каменю найбільше зростання компоненти L (зображення зразків каменю світлішає) кольорової системи CIELab відбулося у зразках Букинського габро на 44,4 %. Найменше зростання компоненти L при нагріванні зразків до 900 °С відбувається у гранодіориту на 28,6 %. В сірих гранітах при нагріванні з'являються почервоніння, які переважно сконцентровані навколо слюди та інших мінералів, які багаті Fe. Найбільша зміна кольору відбувається через фазовий перехід темнокірних мінералів (біотиту та піроксену) в поліморфні мінерали. Це надало зразкам гранодіоритів світлішого кольору, оскільки мінерали змінили колір з чорного на сірий чи білий. Відтінки білого кольору надав кварц, в якому при нагріванні з'являлися білі мікротріщини. Помітні естетичні пошкодження поверхні зразків природного каменю починаються при температурах від 300 до 500 °С. Таким чином, вогонь з температурами нижче цього порогу можна вважати «безпечним» з точки зору естетичного пошкодження, якщо врахувати тільки коефіцієнт нагріву вогню і виключити золу й газу.

Ключові слова: *габро; гранодіорит; високі температури; декоративність природного каменю; мінеральний склад; структура природного каменю.*

Вступ. Зовнішній вигляд природного облицювального каменю має важливе значення при його застосуванні як облицювального матеріалу. Значна кількість архітектурних пам'яток була споруджена з використанням облицювальних порід. Враховуючи їх значний вік, постають питання стосовно реставрації [1–14]. При цьому виникають певні проблеми: або родовища перестали розробляють, 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 [15–23]. Тому виникає необхідність керувати декоративними властивостями природного каменю. Одним зі способів, що дозволяє змінити декоративні властивості, є вплив високих температур. Наприклад, висока температура дозволяє прискорити окислення заліза або змінити насиченість кольорів.

Крім того, природний камінь є вогнестійким будівельним матеріалом. Тим не менш, вогонь може призвести до незворотного пошкодження будівель як у структурному, так і естетичному аспекті. Структура та текстура природного каменю обумовлюють його поведінку під час його нагрівання. Граніти можуть проявляти інтенсивні зміни властивостей поверхні, такі як блиск, колір або шорсткість, що може призвести до зниження декоративних властивостей. Властивості поверхні каменю залежать від мінерального складу, структури, текстури та фактурної обробки. Наприклад, колір природного каменю пов'язаний з мінеральним складом і структурою, і меншою мірою з поверхневою обробкою. Після пожеж виникають питання з реставрації будівель. За зміною кольору природного каменю можливо визначити величину температур, які впливали на оздоблення будівель. Це дозволить визначити придатність природного каменю до експлуатації або підготувати плити свіжого граніту шляхом нагрівання до реставрації найбільш постраждалих ділянок будівлі. Тому є необхідність досліджень зміни декоративних властивостей гранітів за допомогою термічного впливу.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. При реконструкції зовнішніх облицювань будівель виникають проблеми з підбором природного каменю. Так, наприклад, під впливом агресивного середовища виникають руді плями, які є наслідком окислення заліза. В [6] наведено методику, за допомогою якої можливо інтенсифікувати окислення заліза в лабрадориті за допомогою високої температури. Це дозволить змінювати декоративні властивості свіжого лабрадориту до потрібних значень. Але дослідження здійснено лише для лабрадориту. Під час нагрівання або впливу агресивного навколишнього середовища на поверхні природного каменю з'являються руді плями. У великій кількості окиснене залізо з'являється на поверхні зразків з природного каменю [15]. Меншою мірою окиснене залізо з'являється на поверхні зразків граніту [23].

Основним фактором, що 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 спостерігається збільшення значення компоненти L (зображення зразків каменю світлішає) кольорової системи CIE Lab [23]. Але деякі зразки гранітів мають тенденцію до зменшення значення компоненти L. Компоненти a та b зростають, але для кожного каменю по-різному. Для деяких зразків спостерігається зменшення цих компонент у діапазоні температур 400–600 °С. Колір вимірювався спектрофотометром MINOLTA CR-200 з освітлювачем D65, пучком дифузного ксенонового світла діаметром 8 мм. Цей 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.

Разом з тим, це дослідження показує, що представлені зразки гранітів мають різні зміни декоративних показників під впливом високої температури. Тому залишаються актуальними питання, які пов'язані зі зміною кольору граніту українських родовищ під час нагрівання.

Метою дослідження є оцінка впливу високої температури на декоративні, фізичні та механічні показники на Покостівський гранодіорит та Букинське габро. Для цього було випробувано 30 зразків каменю.

Матеріали і методи.

В ході дослідження було випробувано 15 зразків Покостівського гранодіориту (рис. 1, а) та 15 зразків Буківського габро (рис. 1, б) розміром 0,05×0,05×0,05 м.

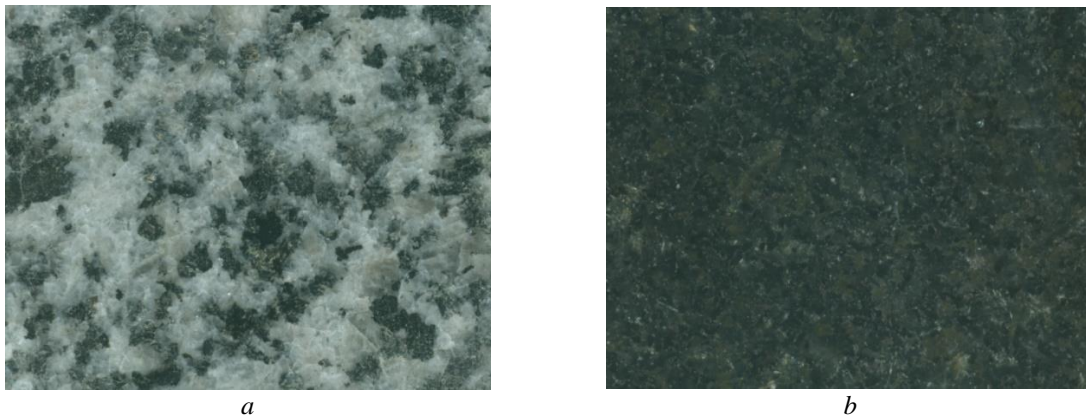


Рис. 1. Вигляд зразків каменю

Мінералогічний склад використовуваних видів природного облицювального каменю наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Мінеральний склад зразків каменю

Назва мінералів	Покостівський гранодіорит	Букинське габро
	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. 2) зі швидкістю 1 °С/хв до 300, 500, 700, 900 °С. Витримувалися 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. 2. Вигляд муфельних печей

Цифрове зображення поверхонь зразків природного облицовального каменю отримано за допомогою сканера HP 3970. Для корекції похибок передачі кольору було використано продукт IT-8 фірми Agfa. Це дає можливість застосовувати цей пристрій для різних вимірювань показників кольору з високою точністю. Колір вимірювали на цифрових зображеннях. Вимірювання проводилися в системі CIE Lab (UNE-EN ISO 105-J03: 2007). Компонента L являє собою параметр світлоти (насиченим) кольору, який йде від 0 (чорний) до 100 (білий). Компонента a – хроматичний параметр, який переходить від зеленого (негативний) до червоного (позитивний). Компонента b – хроматичний параметр, який переходить від синього (негативного) до жовтого (позитивний). Дані оброблялися за допомогою програмного забезпечення MdiStones (рис. 3), алгоритм роботи наведено в публікації [9].

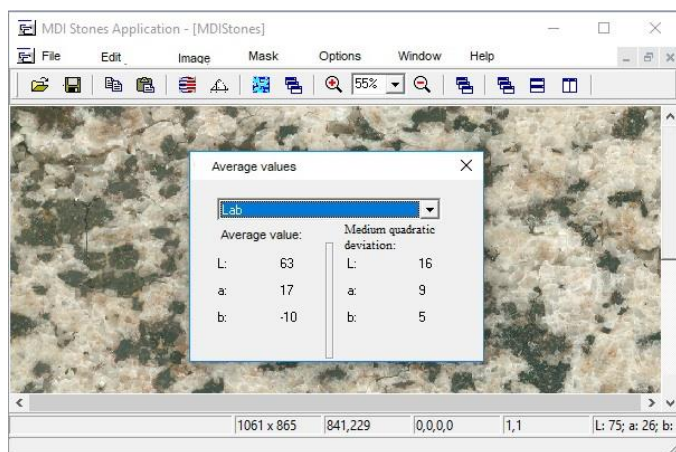


Рис. 3. Обробка зображень зразків Покоствіського гранодіоріту в програмі MdiStones



Рис. 4. Вигляд преси IberTest МЕН 2000

Для підвищення точності обробки зображень у програмі Mdistones середні координати кольору визначалися за допомогою кольорової сегментації, що дозволяє виділити певний колірний діапазон мінералу або певні зміни кольору після нагрівання. Ця сегментація проводилась для Покостівського гранодіориту, оскільки він має темноколірні та білі мінерали. Домінування одного кольору мінералів над іншими надає тон всьому зображенню.

Визначення міцності на стиск проводили за допомогою пресу IberTest МЕН 2000 (рис. 4):

1. Підготовлені зразки природного облицювального каменю розмірами $0,05 \times 0,05 \times 0,05$ м.
2. Під час випробувань навантаження на зразок зростало безперервно і рівномірно $0,5$ МПа в секунду. Міцність на стиск визначається за формулою для кожного зразка:

$$R_{str} = \frac{P}{F}, \text{ МПа},$$

де P – руйнівне навантаження, N ;




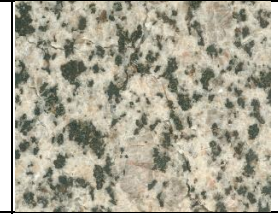


F – площа поперечного перерізу зразка, мм^2 .

Результати досліджень. За результатами вимірювань кольору було побудовано графіки середніх значень кольорових координат зразків природного каменю різних типів з полірованою текстурою.

Зразки гранодіориту при температурі 300 °С світлішають (табл. 2). При температурі 500 °С на зображенні зразків гранодіориту спостерігається зменшення темноколірних мінералів, проявляються маленькі руді плями. При температурі 700 °С на зображенні зразків гранодіориту спостерігається збільшення рудих плям, зображення темнішає.

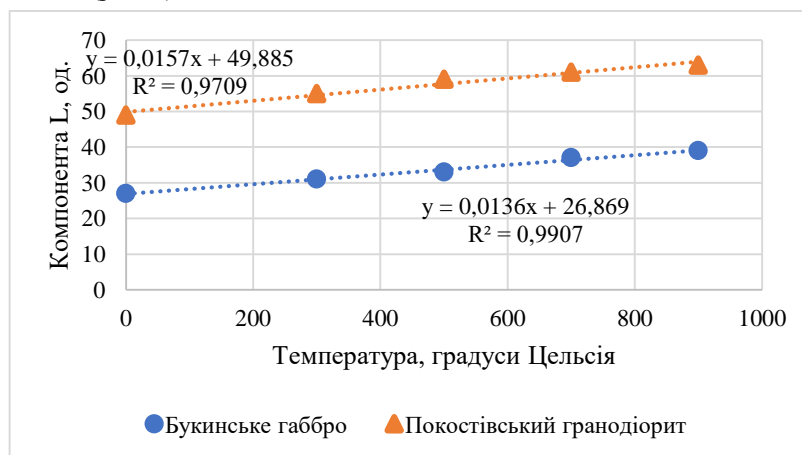
Таблиця 2

Зовнішній вигляд зразків каменю при різній температурі впливу

Назва родовища	Температура нагрівання, °С			
	300	500	700	900
Покостівський гранодіорит				
Букинське габро				

При нагріванні габбро змінило свої фізико-механічні та декоративні властивості. До температури 300 °С спостерігалися незначні зміни кольору та текстури природного каменю (табл. 3). При температурі 500 °С почали з'являтися незначні руді плями на полірованій поверхні. При 500 – 700 °С з'явилася значна кількість рудих плям. При температурі 900 °С всі зразки, які досліджувалися, покрилися рудими плямами.

Поверхні зразків обох родовищ природного каменю світлішали, що підтверджується збільшенням показників компоненти L (рис. 5).

Рис. 5. Залежність компоненти L системи $CIE\ Lab$ від температури

З рисунка 6 видно, що найбільші зміни компоненти L системи CIE Lab були у Букинського габбро. При чому видно, що стрибок показників у Букинського габбро відбувався в діапазоні температур 500–700 °С.

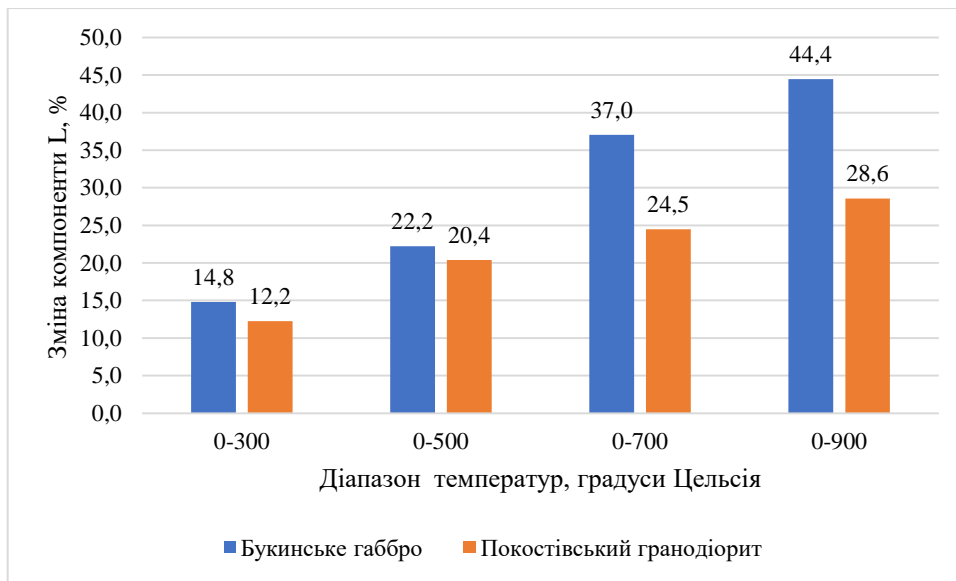


Рис. 6. Зміна компоненти L системи CIE Lab в діапазоні різних температур

Аналіз зображень поверхні показав, що відбувається збільшення компоненти a за лінійною функцією в напрямі червоного кольору після нагрівання (рис. 7).

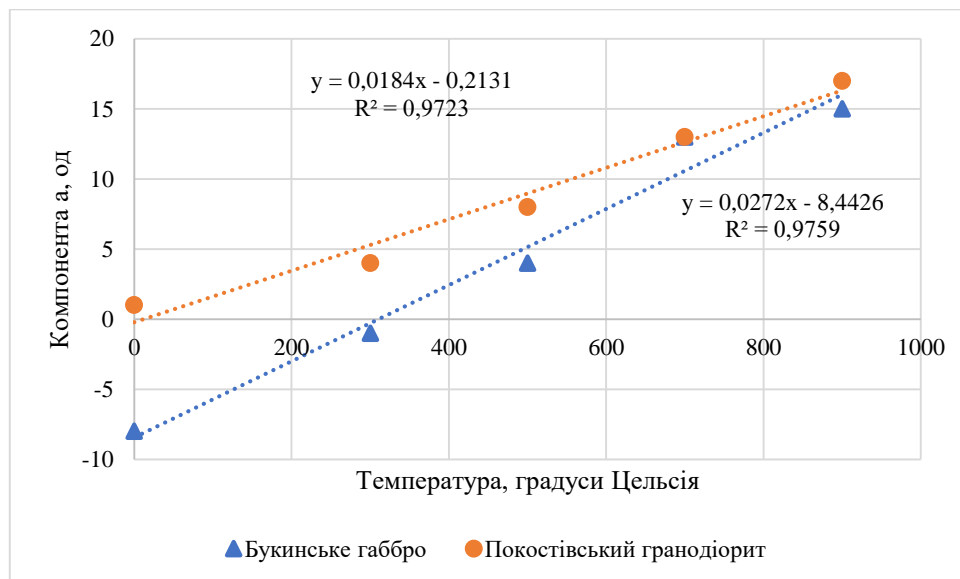
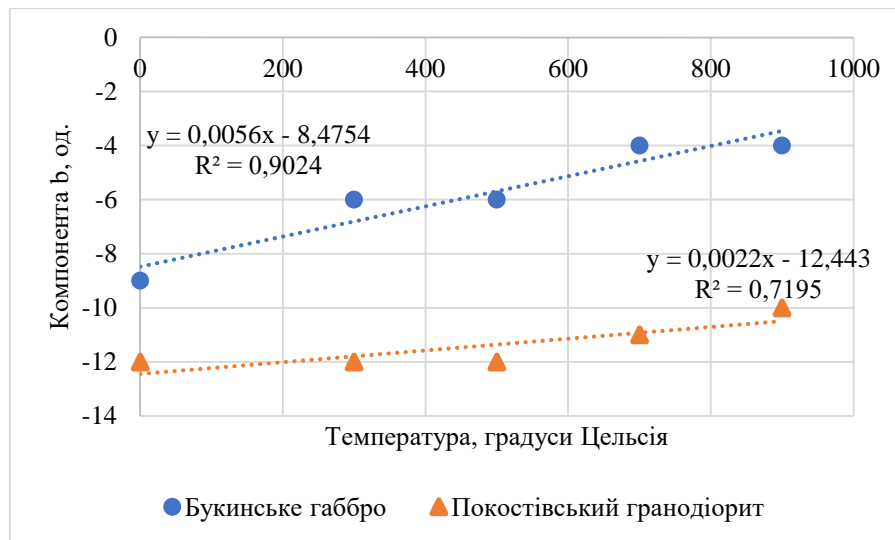


Рис. 7. Залежність компоненти a системи CIE Lab від температури

Також відбувається зміна компоненти b за лінійною функцією в напрямі жовтого кольору після нагрівання (рис. 8).

Рис. 8. Залежність компоненти b системи CIE Lab від температури

Аналіз міцності природного каменю на стиск показав зниження міцності природного каменю при збільшенні температури нагрівання зразка. При нагріванні до 900 °C Букинське габбро втрачає міцність на стиск на 42,5 %, а Покостівський гранодіорит – 81 % (рис. 9).

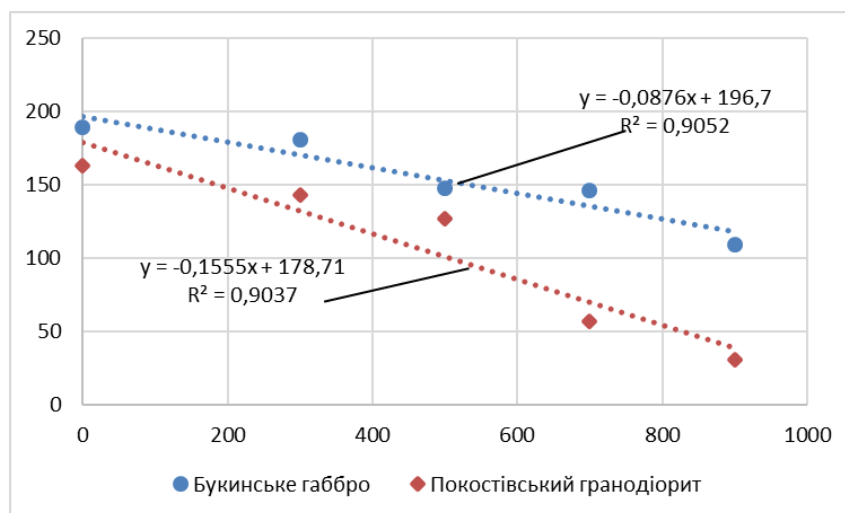


Рис. 9. Залежність міцності природного каменю на стиск від нагрівання

Обговорення. Під час нагрівання габбро та гранодіориту 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, [1] розглянуті зміни фізичних характеристик граніту при нагріванні через фазний перехід кварцу, який відбувається при 573 °C під атмосферним тиском. На відміну від граніту, в габбро кварц відсутній, а отже, окислення Fe, що міститься в піроксенах, є основним джерелом для зміни фізико-механічних властивостей габбро вище 600 °C. Так на основі мікроскопічних досліджень [2] видно, що відбувається окислення зразків габбро при високій температурі. Виявляється, що температура 600 °C є пороговою для початку окислення мінералів при атмосферному тиску. При температурі близько 800 °C, мінерали, що містять включення Fe^{2+} окислюються. Окислені плагіоклази виглядають, як руді плями на поверхні. Габбро та лабрадорити належать до основних порід та містять в собі 55–98 % плагіоклазу.

Відхиленню кольору в гранодіориті сприяє окислення Fe. Високу частку Fe мають феромагnezіальні мінерали біотитової групи і амфіболи. Ці мінерали фактично демонструють найбільш помітну зміну кольору від чорного і зеленого до коричневого й золотистого тонів після нагрівання. Зразки гранодіориту при температурі 300 °C світлішають за рахунок фазового переходу рогової обманки та мінералів біотитової групи від чорного й сірого кольору до біло-сірого. При температурі 700 °C зображення темнішає за

рахунок зміни кольору мінералів з білого кольору на сірий. При 700 °С в кварці проявляються мікротріщини завдяки альфа-бета-переходу при 573 °С. Тріщини стають більш помітними. Кварцові мікротріщини надають біліший тон поверхні, який спостерігався у всіх гранітах, що підтверджується збільшенням компоненти L. Польові шпати також показали розвиток тріщин після нагрівання до цієї температури, що підтверджує роботу [3].

Висновки.

1. Помітні естетичні пошкодження поверхні зразків природного каменю починаються при температурах від 300 до 700 °С. Таким чином, вогонь з температурами нижче цього порогу можна вважати «безпечним» з точки зору естетичного пошкодження, якщо врахувати тільки коефіцієнт нагріву вогню.

2. Всі представлені зразки каменю показують зміну кольору поверхні при температурі від 300 °С і вище. Поведінка природного каменю з нагріванням залежить від їх мінерального складу, структури та текстури.

3. Найбільшу втрату міцності на стиск має Покостівський гранодіорит.

Список використаної літератури:

1. *Chaki S.* Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions / *S.Chaki, M.Takarli, W.P. Agbodjan* // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Vol. 22. – P. 1456–1461.
2. *Keshavarz M.* Damage and Changes in Mechanical Properties of a Gabbro Thermally Loaded up to 1,000°C / *M.Keshavarz, F.L. Pellet, B.Loret* // *Pure and Applied Geophysics*. – 2010. – Vol. 167.
3. Sandstone alterations triggered by fire-related temperatures / *Z.Kompaniková, M.Gomez-Heras, J.Michňová, T.Durmeková* and other // *Environmental earth sciences*. – 2014. – Vol. 72. – P. 2569–2581.
4. *Коробійчук В.В.* Метод оцінки тиску, що виникає при тепловому розширенні кристалів солей і льоду в порох природного каменю / *В.В. Коробійчук* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2011. – № 3 (58). – С. 176–179.
5. *Коробійчук В.В.* Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменю / *В.В. Коробійчук* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2012. – № 1 (60). – С. 123–126.
6. *Іськов С.С.* Формування забарвлення декоративного каменю Частина 2. Штучне забарвлення кам'яних виробів / *С.С. Іськов, А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2011. – № 1 (56). – С. 100–108.
7. *Korobiichuk V.* Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / *V.Korobiichuk* // *International Conference on Systems, Control and Information Technologies*. – Springer International Publishing. – 2016. – P. 653–658.
8. *Levytskyi V.* The optimization of technological mining parameters in quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement / *V.Levytskyi, R.Sobolevskyi, V.Korobiichuk* // *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. – 2018. – Vol. 33, No. 2. – P. 83–90.
9. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / *А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїнський, О.О. Ремезова* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2007. – № 1 (40). – С. 186–195.
10. *Shamrai V.* Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades / *V.Shamrai, V.Korobiichuk* // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2014. – Vol. 5, No 5. – P. 71.
11. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / *R.Sobolevskyi, V.Korobiichuk, S.Iskov, I.Pavliuk* and other // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 6/3 (84). – P. 32–40.
12. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / *R.Sobolevskyi, N.Zuievskia, V.Korobiichuk, O.Tolkach* and other // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 5/3 (83). – P. 21–29.
13. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / *V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Iziumova, O.Tolkach* and other // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 4/5 (82). – P. 52–57.
14. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / *I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, M.Nowicki, V.Shamrai* and other // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 114. – P. 241–247.
15. *Коробійчук В.В.* Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю / *В.В. Коробійчук, І.В. Коробійчук, Г.М. Ломаков* // *Вісник КНУ*. – 2014. – № 28.
16. *Коробійчук В.В.* Вплив технологічних чинників на якість лицювального каменю / *В.В. Коробійчук, С.О. Жуков, В.І. Астахов* // *Вісник КНУ*. – 2014. – № 28.
17. *Sobolevskyi R.* A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / *R.Sobolevskyi* // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2017. – № 3 (3). – С. 54–67.
18. *Криворучко А.О.* Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / *А.О. Криворучко* // *Вісник ЖДТУ*. – 2016. – № 3 (78). – С. 150–163.
19. *Korobiichuk I.* Investigation of Leznikovskiy Granite by Ultrasonic Methods / *I.Korobiichuk* // *Archives of Mining Sciences*. – 2018. – Vol. 63, No. 1. – P. 75–82.
20. *Shamrai V.I.* Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine / *V.I. Shamrai, V.V. Korobiichuk, R.V. Sobolevskyi* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2017. – № 2 (80). – С. 234–239.

21. Korobiychuk V. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / V.Korobiychuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 2, No. 5 (92), pp. 20–25.
22. Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure / V.Korobiichuk, V.Shlapak, R.Sobolevskyi and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 1, No. 12 (97). – P.14–20.
23. Analysis of change in the decorative properties of granites under thermal exposure / V.Korobiichuk, V.Shlapak, A.Kryvoruchko, R. Sobolevskyi and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 2, No. 12 (98). – P. 35–43.

References:

1. Chaki, S., Takarli, M. and Agbodjan, W. P. (2008), «Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions», *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp. 1456–1461.
2. Keshavarz, M., Pellet, F.L. and Loret, B. (2010), «Damage and Changes in Mechanical Properties of a Gabbro Thermally Loaded up to 1,000°C», *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 167.
3. Kompaníková, Z., Gomez-Heras, M., Michňová, J., Durmeková, T. and other (2014), «Sandstone alterations triggered by fire-related temperatures», *Environmental earth sciences*, Vol. 72, pp. 2569–2581.
4. Korobijchuk, V.V. (2011), «Metod ocinky tysku, shho vynykaje pry teplovomu rozshyrenni krystaliv solej i l'odu v porah prirodnoho kamenju», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, No. 3 (58), pp. 176–179.
5. Korobijchuk, V.V. (2012), «Zalezhnist' vnutrishn'oporovogo tysku vid pruzhnyh vlastyvostej prirodnoho kamenju», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, No. 1 (60), pp. 123–126.
6. Is'kov, S.S., Kryvoruchko, A.O. and Korobijchuk, V.V. (2011), «Formuvannja zabarvlennja dekoratyvnoho kamenju», Part 2 «Shtuchne zabarvlennja kam'janyh vyrobiv», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, No. 1 (56), pp. 100–108.
7. Korobiichuk, V. (2016), *Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures*, *International Conference on Systems, Control and Information Technologies*, Springer International Publishing, pp. 653–658.
8. Levytskyi, V., Sobolevskyi, R. and Korobiichuk, V. (2018), «The optimization of technological mining parameters in quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement», *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 33, No. 2, pp. 83–90.
9. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Podchashyn's'kyj, Ju.O. and Remezova, O.O. (2007), «Zastosuvannja informacijno-kop'juternyh tehnologij dlja doslidzhennja girnycho-ekologichnyh osoblyvostej rodovyshh rudnyh i nerudnyh korysnyh kopalyn», *Visnyk ZDTU. Tehnichni nauky*, No. 1 (40), pp. 86–195.
10. Shamrai, V. and Korobijchuk, V. (2014), «Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No 5, 71 p.
11. Sobolevskyi, R., Korobiichuk, V., Iskov, S., Pavliuk, I. and Kryvoruchko, A. (2016), «Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control », *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6/3 (84), pp. 32–40.
12. Sobolevskyi, R., Zuievskaja, N., Korobiichuk, V., Tolkach, O. and other (2016), «Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/3 (83), pp. 21–29.
13. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Iziumova, O., Tolkach, O. and other (2016), «Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4/5 (82), pp. 52–57.
14. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Nowicki, M., Shamrai, V. and other (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction and Building Materials*, Vol. 114, pp. 241–247.
15. Korobijchuk, V.V., Korobijchuk, I.V. and Lomakov, G.M. (2014), «Doslidzhennja vplyvu agresyvnogo seredovyshha na kolirne zabarvlennja poverhni kamenju», *Visnyk KNU*, No. 28.
16. Korobijchuk, V.V., Zhukov, S.O. and Astahov, V.I. (2014), «Vplyv tehnologichnyh chynnykiv na jakist' lycjuval'nogo kamenju», *Visnyk KNU*, No. 28.
17. Sobolevskyi, R. (2017), «A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators», *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, No. 3 (3), pp. 54–67.
18. Kryvoruchko, A.O. (2016), «Vyznachennja optimal'nogo naprjamku vedennja girnychyh robit pry vydobuvanni blokiv z prirodnoho kamenju», *Visnyk ZhDTU*, No. 3 (78), pp. 150–163.
19. Korobiichuk, I. (2018), «Investigation of Leznikovskiy Granite by Ultrasonic Methods», *Archives of Mining Sciences*, Vol. 63, No. 1, pp. 75–82.
20. Shamrai, V.I., Korobiichuk, V.V. and Sobolevskyi, R.V. (2017), «Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, No. 2 (80), pp. 234–239.
21. Korobiychuk, V. (2018), «Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 5 (92), pp. 20–25.
22. Korobiichuk, V., Shlapak, V., Sobolevskyi, R., Sydorov, O. and other (2019). «Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 12 (97), pp. 14–20.
23. Korobiichuk, V., Shlapak, V., Kryvoruchko, A., Sobolevskyi, R. and other (2019). «Analysis of change in the decorative properties of granites under thermal exposure», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 12 (98), pp. 35–43.

Коробійчук Валентин Вацлавович – доктор технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- обробка природного каменю;
- гірництво.

Шамрай Володимир Ігорович – кандидат технічних наук, старший викладач Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- фізико-хімічні властивості природного каменю;
- інформаційні технології.

Сидоров Олександр Миколайович – аспірант Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- обробка природного каменю;
- гірництво.

Заруцький Сергій Олександрович – аспірант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- видобування природного каменю.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2019.