

**С.В. Кальчук, к.т.н., доц.  
С.М. Шишко, аспірант  
О.М. Гнітецький, аспірант  
Д.П. Побігайло, аспірант**

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

**І.В. Савич, головний інженер  
ПП «Спецтехсервіс»**

## **Геометризація якісних параметрів та іризація покладу лабрадориту з метою визначення оптимальних напрямів розробки**

*У статті розглядається питання геометризації якісних параметрів та іризації покладу лабрадориту з метою визначення оптимальних напрямів розробки. Основною метою дослідження є створення ряду моделей родовища, що дозволять визначити просторовий розподіл різновидів лабрадориту з різними рівнями іризації та іншими якісними параметрами. У процесі дослідження аналізуються закономірності іризації, що залежать від орієнтації кристалів плагіоклазу та інших структурних особливостей породи. Запропоновано оптимізовані методи видобутку та обробки каменю, які зберігають іризаційні властивості лабрадориту та мінімізують втрати цінного матеріалу. Використання інформаційно-комп'ютерних технологій для обробки даних і моделювання процесів дозволяє підвищити точність та ефективність досліджень. Результати роботи сприятимуть розробці стратегії видобування, яка враховує анізотропні властивості породи, забезпечуючи економічну ефективність та високу якість продукції з мінімальними втратами.*

**Ключові слова:** лабрадорит; іризація; геометризація; декоративні властивості.

**Вступ.** Одним із цінних різновидів природного каменю є лабрадорит, що відомий своїми унікальними декоративними властивостями та широким спектром застосувань. Цінність лабрадориту обумовлена його декоративними властивостями, що робить його популярним матеріалом для використання в архітектурі та інтер'єрному дизайні. Камінь використовується для облицювання фасадів будівель, створення пам'ятників, виготовлення підлогових і настінних плиток, стільниць, камінних порталів та інших декоративних елементів. Його здатність до полірування дозволяє досягти гладкої, блискучої поверхні, що підкреслює іризацію і робить його надзвичайно привабливим.

Однією з головних характеристик лабрадориту є його іризація – яскраві, веселкові переливи, які надають каменю особливого шарму та привабливості. Іризація виникає завдяки особливому структурному розташуванню мінералів у природному камені, що призводить до розсіювання світла і створення спектральних ефектів. Іризація лабрадориту вирізняється яскравістю та веселковими переливами. Іризують кристали великого розміру, таблитчастої форми, розміром в середньому від 0,5–1,6 до 5–6 см та більше. Для лабрадоритів саме Коростенського плутону притаманне забарвлення кристалів у кольори холодної частини спектра та розташування концентричних полізональних кіл від жовто-зеленого до зеленувато- та яскраво-блакитного. Кристали, що іризують, змінюють свій зовнішній вигляд залежно від освітлення та кута зору. Під кутом 90° і 45° вони мають сріблястий блиск, а вже під кутом 45° з протилежного боку – металевоматовий. У тесаній фактурі такі кристали мають маслянистий блиск.

Переважають іризують сірі та темно-сірі анортозити та лабрадорити, переважно в синіх і голубих, рідше в зеленувато-синіх і золотисто-жовтих тонах. А ось в групі габро-норито-анортозитів переважають крупнозернисті різновиди, що не іризують, з неорієнтованим складом, яким кількісно підпорядковані різновиди, що іризують. Рідше зустрічаються порфіровидні різновиди з досить великими зернами плагіоклазу, які надають габро-норито-анортозитам виразну зональну іризацію.

Дослідження факторів іризації має безпосереднє практичне значення для вирішення геолого-структурних питань, технології видобутку, обробки каменю та відповідно визначення напрямів анізотропії. Використовуючи інформаційно-комп'ютерні технології обробки відеозображень, можна визначити площини, в яких найбільше проявляються закономірності іризації. Це дозволяє видобувати блоки з необхідним рівнем іризаційних властивостей, а також визначити напрямки площин розколювання та розпилювання, в яких найкраще виражена декоративна властивість іризації. Все це максимально підвищить декоративні властивості лабрадоритової сировини та суттєво збільшить її вартість.

Отже, **актуальність та необхідність тематики** є очевидними.

**Мета роботи** – дослідження зміни якісних параметрів та іризації покладу лабрадориту з метою визначення оптимальних напрямів розробки. Таким чином, дослідження спрямоване на максимальне використання природних декоративних властивостей лабрадориту та забезпечення економічної

ефективності його видобутку і обробки. Це дозволить отримати високоякісну продукцію з мінімальними втратами та максимально зберегти якісні декоративні властивості лабрадориту.

Об'єкт дослідження – процес геометризації якісних параметрів та іризації покладу лабрадориту з метою визначення оптимальних напрямів розробки родовища.

Методи дослідження: в роботі було використано сучасні інформаційно-комп'ютерні технології обробки відеозображень поверхні природного каменю для визначення інтенсивності іризації, її відносної площі та декоративних властивостей лабрадориту Добринського-1 родовища. Моделювання, геометризація та аналіз просторового розподілу якісних властивостей було здійснено з використанням програмного забезпечення «Surfer». Статистична обробка результатів здійснювалась за допомогою MS Excel.

**Викладення основного матеріалу.** Дослідження склалися з двох блоків:

1. Дослідження явища іризації в лабрадоритовій сировині;
2. На основі одержаних даних здійснення геометризації та моделювання якісних властивостей лабрадориту.

#### Дослідження явища іризації

Під час дослідження було доведено залежність іризації від орієнтації основних мінералів. Для дослідження було використано 20 полірованих зразків лабрадориту Добринського-1 родовища розміром 10 x 10 см. Методику оцінки іризації зразків розроблено на основі матеріалів [1–4] та наведено на рисунку 1.

На рисунках 2–3 представлено підготовку зразків для визначення мінливості іризації залежно від напрямку сканування (для маркування було використано коректор). При маркуванні одна крапка відповідає північному напрямку орієнтації зерен, дві крапки – східному, три – південному, чотири – західному.

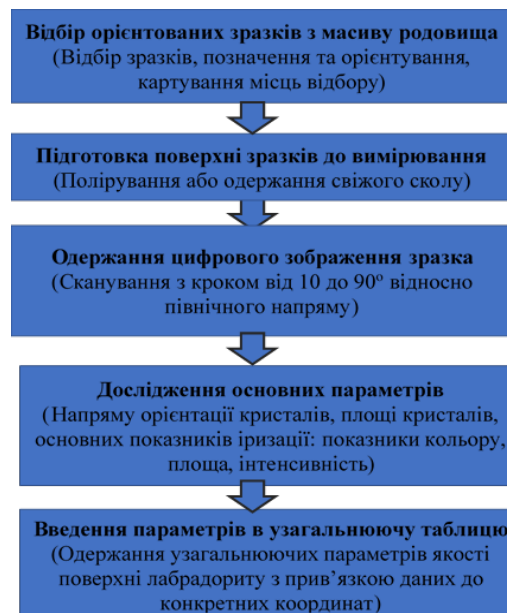


Рис. 1. Методика уточнення декоративних властивостей лабрадориту та визначення основних параметрів іризації



Рис. 2. Підготовка зразків для визначення мінливості іризації при скануванні

Лицьову поверхню зразків природного каменю оцифрували за допомогою сканера «Epson IP 1500». Для калібрування та корекції можливих похибок передачі кольору було застосовано продукт IT-8 фірми «Agfa». Це дозволяє використовувати такий пристрій для точного вимірювання різних показників кольору.



Рис. 3. Результати сканування зразків

Використання сканера для оцінки площі іризації показало залежність площі іризації від орієнтації зразка відносно каретки сканера і зумовлено конструктивними особливостями останнього.

Відносну площу іризації визначали для різної орієнтації зразка відносно північного напрямку з накладанням масок у програмному середовищі «MdiStone» (рис. 4).

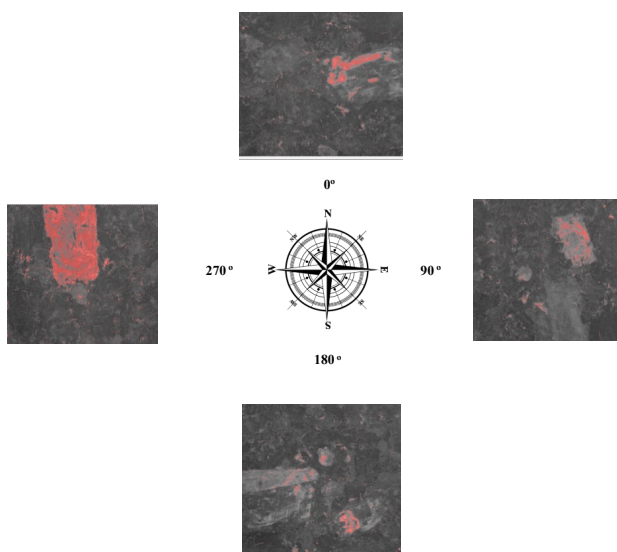


Рис. 4. Визначення відносної площі іризації для різної орієнтації зразка

Проведені дослідження дозволили встановити за усередненими значеннями залежність відносної площі іризації від кута повороту зразка відносно сторін горизонту та охарактеризувати зміну інтенсивності іризації відносно основного напрямку орієнтації мінералів (рис. 5).

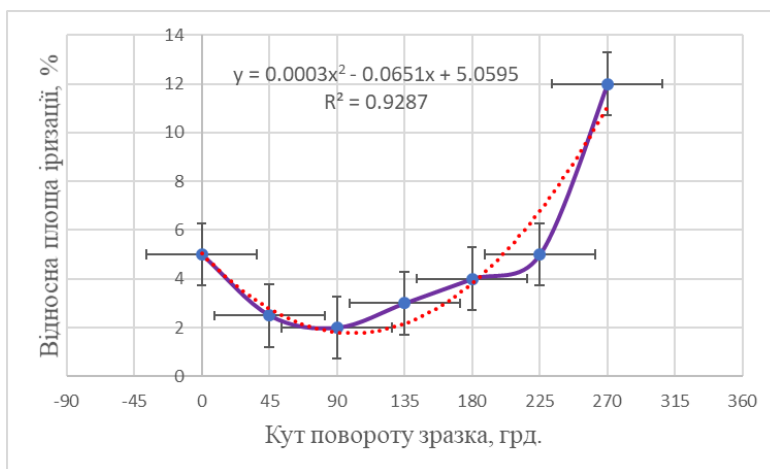


Рис. 5. Залежність відносної площі іризації від кута повороту зразка відносно основного напрямку орієнтації мінералів

Аналітично залежність відносної площі іризації від кута повороту зразка щодо основного напрямку орієнтації мінералів можна описати за допомогою поліному другого порядку:

$$y = 0,0003x^2 \cdot 0,0651x + 5,0595. \quad (1)$$

Оскільки в лабрадоритових масивах Українського кристалічного щита чітко фіксуються площини іризації, які мають близьке орієнтування кристалів лабрадору, що було викликано рухом магми, то при веденні видобувних робіт необхідно узгоджувати напрям розвитку іризації (площину з максимального іризацією) з напрямом розробки вибою і фронтом гірничих робіт (рис. 6).

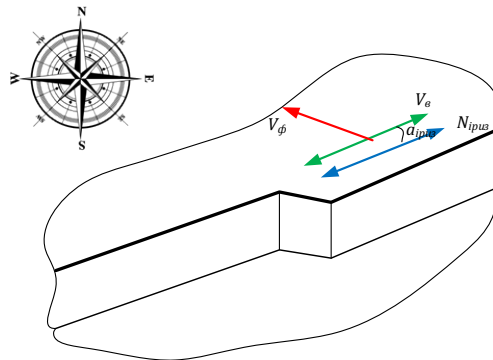


Рис. 6. Узгодження напрямку видобувних робіт з напрямом поширення іризації ( $N_{\text{іриз}}$  – напрям найкращого поширення іризації,  $V_e$  – напрям розвитку вибоїв,  $V_\phi$  – напрям розвитку фронту видобувних робіт)

Залежність загальної довжини контурів кристалів, які іризують, від орієнтації зразка наведено на рисунку 7.

Грані лабрадориту, яким притаманний ефект іризації, є саме ті грані, що надають кристалу плагіоклазу плоску таблитчасту чи пластинчасту форму і безпосередньо співпадають в масиві з площинами течії (руху) магми.

Для лабрадоритових масивів, що приурочені до Коростенського плутону Українського кристалічного щита, можна визначити такі основні характерні особливості ефекту іризації:

- малюнки неоднорідного неодновременного чи хвильового згасання кристалів співпадають з візерунками іризації;
- облямованість іризації приурочена до зон переходу зерен лабрадориту різного хімічного складу.

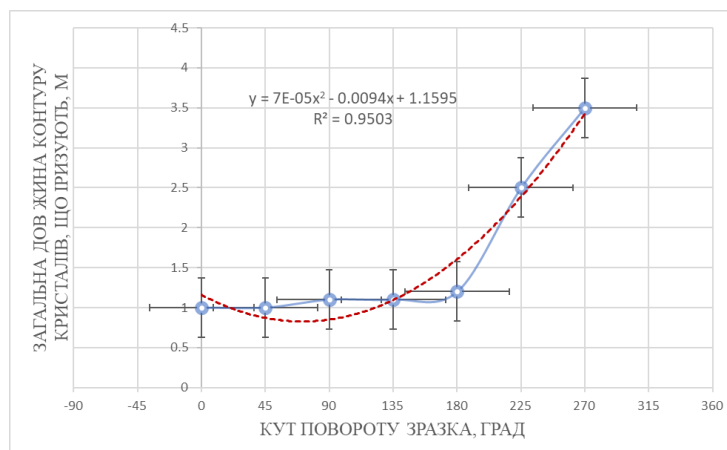


Рис. 7. Залежність загальної довжини контурів іризуючих кристалів від орієнтації зразка

Аналітично одержані залежності було описано також за допомогою поліному другого порядку:

$$y = 7 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0094x + 1,1595. \quad (2)$$

Виконані дослідження довели високу ефективність запропонованої методики та дозволяють підвищити ефективність і достовірність одержаних результатів.

#### Побудова моделей декоративності

У [4–7] було зазначено, що на якість блочної сировини з природного каменю впливає наявність дефектів, енергоємність обробки, декоративність, наявність ефектів (наприклад, іризації) та корозійна стійкість виробів, які виготовлені з неї. Найбільш чітко дефекти та декоративні властивості проявляються

на полірованій фактурі. Тому для оцінки якості покладу лабрадориту найбільш доцільно проводити аналіз та досліджувати поліровані відібрані зразки.

Згідно з чинними вимогами, для оцінки якості найкраще використовувати зразки природного каменю розмірами не менше 40 мм. У роботі запропоновано використовувати ручну кутову шліфувальну машину з відрізним диском максимально допустимого діаметра 230 мм для відбору зразків. Це дає можливість отримати зразки розміром 80 мм, що дозволяє з високою надійністю оцінити основні якісні характеристики масиву природного каменю.

Основою оцінки якості є визначення площі рудних мінералів, орієнтування мінералів і дефектів та кольорових координат відібраних зразків.

Для оцінки всіх зазначених показників необхідно, щоб відібрані зразки лабрадориту мали поліровану фактуру, яку одержують за допомогою шліфувально-полірувальних верстатів (ручних або стаціонарних). Зображення деяких зразків, отриманих за цією методикою, показано на рисунках 2–4.

Виконані вимірювання базувалися на таких основних принципах:

1. Відбір необхідних зразків природного каменю в заданих місцях або безпосереднє вимірювання параметрів поверхні природного каменю у вибої;
2. Використання повсякденних стандартних або ж застосування спеціалізованих апаратних засобів для формування цифрових зображень, якщо це необхідно;
3. Перевірка та налаштування обладнання. Використання програмних продуктів для калібрування та перевірки точності;
4. Використання стандартних або спеціалізованих програмних продуктів та необхідних алгоритмів для обробки вимірних даних;
5. Пошук і вибір відповідних параметрів алгоритмів цифрової обробки зображень поверхні природного каменю, враховуючи специфіку дослідження відібраних зразків;
6. Застосування методів стиснення зображень для зберігання великого обсягу відеоінформації в комп'ютер та її швидкого відтворення за потреби.

Схему відбору зразків для аналізу іризації на Добринському-1 родовищі лабрадориту наведено на рисунку 8.

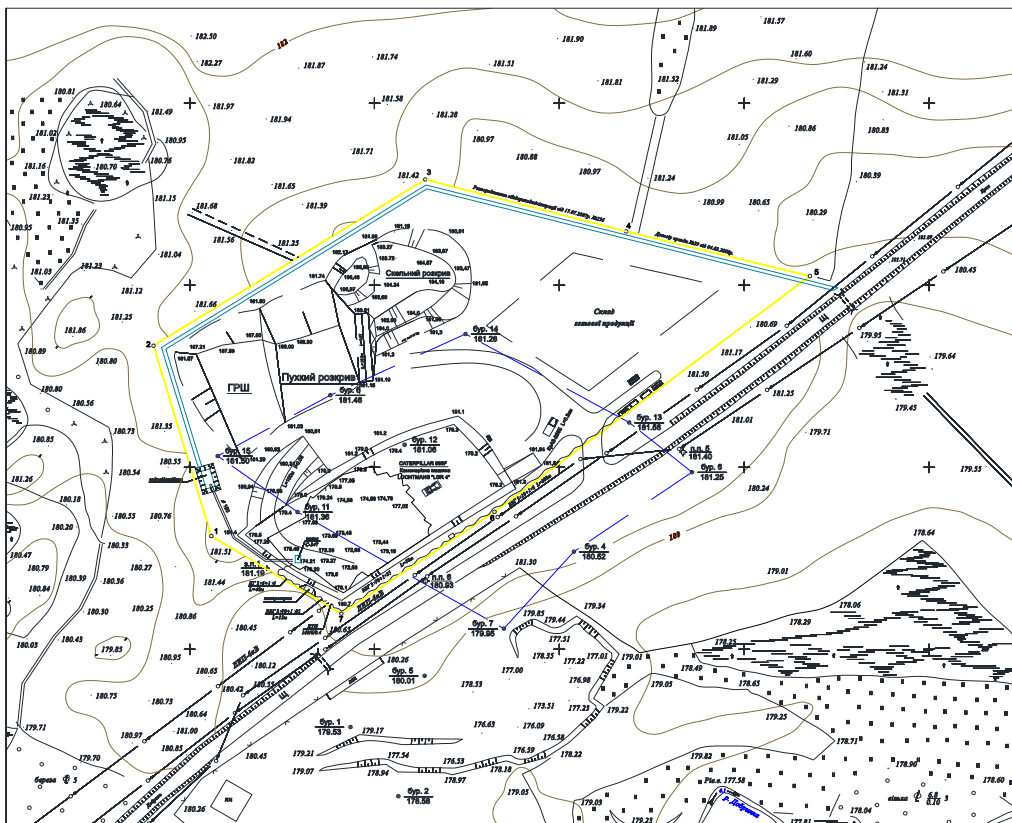


Рис. 8. Точки відбору зразків на Добринському-1 родовищі лабрадориту

Для оцінки просторових змін якісних характеристик природного каменю запропоновано обов'язкове маркування (з відзначенням просторового положення або сторін горизонту) відібраних зразків фарбою і



визначення просторових координат місця відбору за допомогою сучасних геодезичних приладів. Відстань між точками відбору зразків залежить від будови масиву природного каменю, його однорідності, наявності чи відсутності дефектів та масштабу креслення. З урахуванням очікуваної точності координат та їх нанесення на план, відстань між точками відбору зразків може варіюватися від 5 до 25 м.



Рис. 9. Маркування моноліту і уступів родовища для визначення параметрів



Рис. 10. Підготовка блоку до вимірювання параметрів

Геометризація декоративності виконана за такою методикою: на всій площі Добринського-1 родовища лабрадориту на горизонті +178 м були відібрані зразки лабрадориту 10 x 10 см (рис. 8) та визначені просторові координати місця відбору зразків.

Крім відбору зразків, вимірювання велись і на гранях блоків та монолітів (рис. 9–10).

Після цього було виконано фактурну обробку відібраних зразків. Поліровані зразки сканували на сканері «Epson IP 1500».

Одержані цифрові зображення передавали в програму «MdiStone», де в кольоровій системі RGB шляхом накладання маски визначали відносні площі зон рівномірного чорного забарвлення.

Визначали показники забарвлення зразків, площу і параметри іризації, вміст включень.

За наявними координатами та вимірними показниками (кольором, відносними площами іризації та рудних елементів) виконано геометризацію та побудовано відповідні моделі, що визначають декоративність природного каменю. Моделі одержані за допомогою програми «Surfer» (рис. 11–13).

Під час дослідження зразків було одержано дані для побудови моделі, що характеризує світлоту лабрадориту в балах.

В результаті дослідження розподілу відносних площ рівномірного забарвлення лицьової поверхні зразків природного каменю було встановлено, що сировина з найвищою декоративною та якістю зосереджена в центральній частині північної зони родовища.

В результаті досліджень були одержані дані, що характеризують динаміку іризації в межах родовища (рис. 12): максимуми – центральна й північна частини, мінімуми – на півдні.

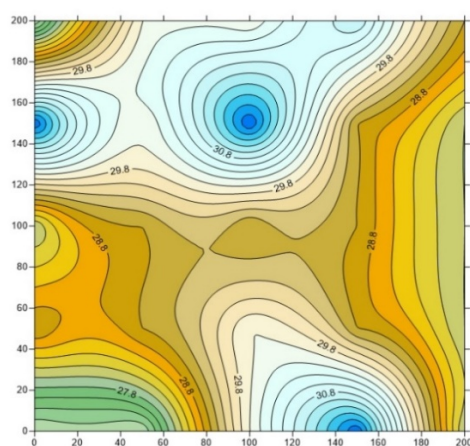


Рис. 11. Геометризація родовища лабрадориту за показником світлоти, бал

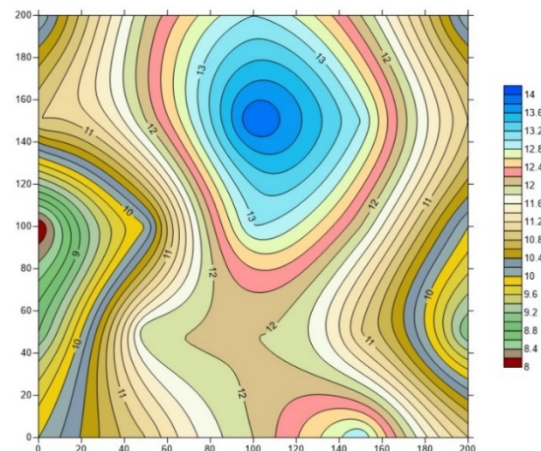


Рис. 12. Динаміка показників іризації в межах родовища, %

За допомогою описаної методики (рис. 1) можна виявити наявність різних включень та кількісно визначити ступінь прояву різних дефектів (пор, тріщин тощо). Проте важливо звертати увагу на якісні властивості елемента, які допоможуть його ідентифікувати. Наприклад, для рудних мінералів – це металевий блиск, для карбонатних та хлоридних включень – це колір, а для дефектів (пористості та тріщинуватості) – сумарна площа невиданого барвника, попередньо нанесеного на лицьову поверхню зразка. В результаті аналізу зразків з врахуванням металевого блиску були одержані дані для побудови моделі рудоносності (так званого прояву рудних елементів) Добринського-1 родовища лабрадориту, що представлено на рисунку 13.

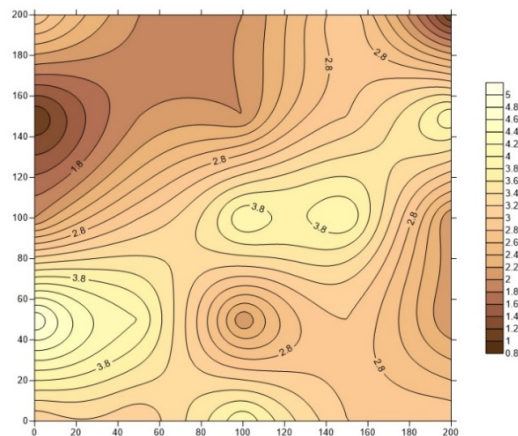


Рис. 13. Геометризація родовища лабрадориту за вмістом рудних елементів, %

Рудононосність змінюється зі сходу на північний захід. Мінімальні показники – на півночі.

#### Висновки:

1. Використовуючи інформаційно-комп'ютерні технології обробки відеозображень, можна визначити площини, в яких би максимально проявлялися закономірності іризації, а отже, з'являється можливість видобувати блоки з необхідним рівнем іризаційних властивостей, визначити напрям площин розколювання та розпилювання, в яких найбільш чітко виражена чудова декоративна властивість – іризація.

2. В результаті дослідження розподілу відносних площ рівномірного забарвлення лицьової поверхні зразків природного каменю було встановлено, що сировина з найвищою декоративністю та якістю зосереджена в центральній частині північної зони родовища.

3. В результаті досліджень були одержані дані, що характеризують зміну іризації в межах родовища: максимумами – центральна й північна частини, мінімумами – на півдні.

4. Рудононосність простягається зі сходу на північний захід. Мінімальні показники – на півночі.

#### Список використаної літератури:

1. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій для дослідження гірничо-геологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / А.О.Криворучко, В.В. Коробійчук, О.О. Ремезова, Ю.О. Подчашинський // Вісник ЖДТУ. – 2007. – № 1. – С. 186–195.
2. Купкін Є.С. Використання апаратних засобів формування цифрових відеозображень для дослідження зразків природного каменю / Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2004. – № 2 (29). – С. 104–112.
3. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації в гірничо-геологічній галузі / А.О. Криворучко, Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2005. – № 1 (32). – С. 107–116.
4. Визначення анізотропності та механічних властивостей природного каменю за допомогою інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеозображень (на прикладі габроїдних порід Коростенського плутону) / А.О. Криворучко, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова, В.О. Шлапак // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2005. – № 4 (35). – С. 128–134.
5. The study of the influence of natural stone surfaces polishing by different methods on the hues of lightness / I.Korobiichuk, V.Shamrai, V.Korobiychuk and other // Mechatronic systems and materials : 11th International Conference. – 2015. – P. 105–106.
6. Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment from the Ukraine by mechanical and chemical methods / V.Korobiichuk, V.Shamrai, V.Levytskyi and other // The Mining-GeologyPetroleum Engineering Bulletin and the authors. – 2018. – Vol. 33, № 4. – P. 15–22. DOI: 10.1177/RGN.2018.4.2.
7. Definition of hue of different types of Pokostivskiy granodiorite using digital image processing / V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Izumova and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4, No. 5 (82). – P. 52–57. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.74849.

#### References:

1. Kryvoruchko, A.O., Korobiichuk, V.V., Remezova, O.O. and Podchashynskiy, Yu.O. (2007), «Zastosuvannia informatsiino-kompiuternykh tekhnolohii dlia doslidzhennia hirnycho-heolohichnykh osoblyvostei rodovyshch rudnykh i nerudnykh korysnykh kopalyn», *Visnyk ZhDTU*, No. 1, pp. 186–195.

2. Kupkin, Ye.S., Podchashynskyi, Yu.O. and Remezova, O.O. (2004), «Vykorystannia aparatnykh zasobiv formuvannia tsyfrovyykh videozobrazhen dlia doslidzhennia zrazkiv pryrodnoho kameniu», *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky*, No. 2 (29), pp. 104–112.
3. Kryvoruchko, A.O., Kupkin, Ye.S., Podchashynskyi, Yu.O. and Remezova, O.O. (2005), «Zastosuvannia informatsiino-kompiuternykh tekhnolohii obrobky videoinformatsii v hirnycho-heolohichnii haluzi», *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky*, No. 1 (32), pp. 107–116.
4. Kryvoruchko, A.O., Podchashynskyi, Yu.O., Remezova, O.O. and Shlapak, V.O. (2005), «Vyznachennia anizotropnosti ta mekhanichnykh vlastyvoستي pryrodnoho kameniu za dopomohoiu informatsiino-kompiuternykh tekhnolohii obrobky videozobrazhen (na prykladi habroidnykh porid Korostenskoho plutonu)», *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky*, No. 4 (35), pp. 128–134.
5. Korobiichuk, I., Shamrai, V., Korobiychuk, V. et al. (2015), «The study of the influence of natural stone surfaces polishing by different methods on the hues of lightness», *Mechatronic systems and materials*, 11th International Conference, pp. 105–106.
6. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Levytskyi, V. et al. (2018), «Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment from the Ukraine by mechanical and chemical methods», *The Mining-Geology/Petroleum Engineering Bulletin and the authors*, Vol. 33, No. 4, pp. 15–22, doi: 10.1177/rgn.2018.4.2.
8. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Iziumova, O. et al. (2016), «Definition of hue of different types of Pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No. 5 (82), pp. 52–57, doi: 10.15587/1729-4061.2016.74849.

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

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

Наукові інтереси:

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

**Шишко** Сергій Михайлович – аспірант кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геометрія надр;
- видобування природного декоративного каменю.

**Гнітецький** Олександр Миколайович – аспірант кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0009-9806-6924>.

Наукові інтереси:

- вимірювання параметрів з використання безпілотних літальних апаратів;
- вимірювання параметрів з використання GPS;
- створення цифрових моделей поверхні.

**Побігайло** Діана Петрівна – аспірант, асистент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- супутникова навігація.

**Савич** Ігор Володимирович – головний інженер ПП «Спецтехсервіс».

Наукові інтереси:

- обробка природного декоративного каменю;
- видобування природного декоративного каменю.

**Kalchuk S.V., Shyshko S.M., Hnietetskyi O.M., Pobihailo D.P., Savych I.V.**  
**Geometrization of quality parameters and iridescence of a labradorite deposit in order to determine the optimal directions of development**

The article deals with the issue of geometrization of quality parameters and iridescence of a labradorite deposit in order to determine the optimal directions of development. The main goal of the study is to create a number of deposit models that will allow determining the spatial distribution of labradorite varieties with different levels of irization and other quality parameters. The study analyzes iridescence patterns that depend on the orientation of plagioclase crystals and other structural features of the rock. Optimized methods of stone mining and processing are proposed that preserve the iridescence properties of labradorite and minimize the loss of valuable material. The use of information and computer technologies for data processing and process modeling allows increasing the accuracy and efficiency of research. The results of the work will contribute to the development of a mining strategy that takes into account the anisotropic properties of the rock, ensuring economic efficiency and high quality products with minimal losses.

**Keywords:** labradorite; iridescence; geometrization; decorative properties.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2024.