

УДК 552.086+552.22+552.23

I.A. Сергієнко, магістр геохімії та мінералогії, керівник науково-дослідної лабораторії

E-mail: sia.gems@gmail.com

О.Л. Гелета, кандидат геологічних наук, член-кореспондент Академії будівництва України, заступник директора – керівник відділу експертизи напівдорогоцінного та декоративного каміння

E-mail: olgel@gems.org.ua

О.В. Горобчишин, кандидат технічних наук, головний фахівець відділу експертизи напівдорогоцінного та декоративного каміння

E-mail: gorol@gems.org.ua

А.М. Ткаленко, директор ДГЦУ

E-mail: antkalenko@ukr.net

Державний гемологічний центр України

вул. Дегтярівська, 38–44, Київ, 04119, Україна

Ідентифікація торгових марок декоративного каміння з родовищ України за допомогою віртуальних еталонів

DOI: [https://doi.org/10.53036/2021-4\(106\)-6](https://doi.org/10.53036/2021-4(106)-6)

Наведено основи методики ідентифікації торгових марок декоративного каміння з використанням віртуальних еталонів хімічного складу гірських порід. Методика є придатною для швидкої та точної ідентифікації матеріалу сировини та виробів з декоративного каміння родовищ України.

Ключові слова: декоративне каміння, ідентифікація, еталони, торгова марка.

У надрах України розвідані великі запаси декоративного каміння, яке активно видобувають, обробляють та експортують [1]. Податкові і митні відрахування від виробництва, торгівлі та експортно-імпорتنних операцій з декоративним камінням є одним з джерел надходжень до державного бюджету. Обсяги використання декоративного каміння для будівництва та оздоблення будівель і споруд як в Україні, так і у світі поступово зростають, що суттєво стимулює видобування і обробку цього природного матеріалу. Декоративне каміння, зокрема граніти, габро, лабрадорити, вапняки, широко використовують у вітчизняному будівництві вже понад два сторіччя [1]. Нерідко трапляються ситуації, коли певні архітектурні об'єкти або архітектурно-будівельні вироби по-

требують ремонту чи реставрації. Під час виконання цих завдань постає питання точної ідентифікації та підбору матеріалів з декоративного каміння ідентичних тим, які були використані раніше. Аналогічні завдання постають у разі виконання судових гемологічних експертиз з визначення походження кам'яних декоративних матеріалів і локалізації місць незаконного видобування корисних копалин [2].

У сучасних умовах головним методом визначення походження та ідентифікації торгових марок декоративного каміння є вивчення експертом макроскопічних і мікроскопічних ознак матеріалу. Насамперед характеру забарвлення гірської породи [5], структури, текстури і мінерального складу [1, 4]. Після отримання таких даних експерт

порівнює їх з певними еталонами торгових марок (матеріальними еталонними зразками у вигляді плиток, еталонними зображеннями тощо), у результаті чого робить висновок щодо віднесення об'єкта, виготовленого з декоративного каміння, до певного різновиду гірської породи, родовища чи торгової марки.

Водночас вищенаведена методика має ряд суттєвих обмежень, що пов'язані з самим процесом ідентифікації, який базується на візуальному порівнянні об'єкта, що вивчається, з певним комплексом еталонів [1, 2]. У ході роботи експерт порівнює ознаки матеріального об'єкта з таким самим матеріальним еталоном [2] або з друкованим зображенням еталонного зразка [4], користуючись при цьому не кількісними, а тільки якісними характеристиками

ками. На рівні декількох еталонів такий метод є досить простим, але у разі подальшої деталізації та ускладнення ідентифікації втрачає свої переваги внаслідок зростання кількості необхідних еталонних зразків [4], що значно уповільнює процес визначення. Сучасні колекції матеріальних еталонів нерідко складаються з декількох сотень плиток або друкованих зображень. Крім того, друковані каталоги зображень еталонних зразків є менш інформативними, ніж еталони у вигляді полірованих плиток. Обмеженість інформації, яку експерт отримує від друкованого еталона, вимагає для проведення ідентифікації об'єктів значно вищої кваліфікації спеціаліста та певного досвіду роботи з такими еталонами. Також необхідно зважати на вартість еталонної колекції, яка є вельми високою як в друкованому вигляді (через складність передачі забарвлення і структури породи), так і у вигляді матеріальних еталонних зразків (через високу вартість декоративного каменю як такого). У літературі ця проблема була зазначена на прикладі ідентифікації торгових марок лабрадоритів [4].

Удосконалення методики визначення торгових марок декоративного каміння має базуватися на порівнянні об'єкта, що вивчається, з комплексом не матеріальних, а віртуальних, математичних моделей, які характеризують певні властивості декоративного каміння [3, 4]. Основне завдання побудови шляхів прийнятного вирішення вищезазначеної проблематики полягає у визначенні цифрових особливостей об'єкта та узагальненні процесу вирішення завдання ідентифікації таким чином, щоб цей спосіб було можливо застосувати взагалі без використання матеріальних еталонів.

Концепція використання віртуальних еталонів різних типів набуває сьогодні дедалі більшої популярності [1], характеризується простотою та значною аналітичною гнучкістю, оскільки один і той самий аналітичний комплекс даних може містити велику кількість функцій, допомагати вимірювати значення різних за своєю суттю фізичних і хімічних величин, опрацьовувати і передавати результати вимірювань, виводити дані у зручній для сприйняття формі. У порівнянні з комплексами матеріальних еталонів комплекси віртуальних еталонів

характеризуються також нижчою вартістю та вищою універсальністю використання.

Основний шлях прийнятного вирішення вищезазначеної проблематики полягає в абстрактному, цифровому визначенні основних мінералогічних та/або хімічних особливостей об'єкта ідентифікації та опорного еталона, а також в узагальненні і стандартизації процесу ідентифікації торгових марок декоративного каміння без використання матеріальних еталонів, з заміною останніх їх математичними моделями («віртуальний еталон»).

Для початкової, елементарної оцінки подібності меж декількома об'єктами в петрохімії широко використовують метод Шоу [4] із застосуванням уявного багатовимірного евклідового простору точок, кожна з яких відповідає певному об'єкту (зразку, еталону) гірської породи. Основою методу ідентифікації торгових марок авторами було обрано представлення результатів аналізу валового хімічного складу гірських порід у вигляді віртуального багатовимірного дійсного векторного евклідового простору з кількістю вимірів, що дорівнює кількості компонентів хімічного складу, які виражені у стандартній оксидній формі.

Проблема порівняння результатів хімічного аналізу еталонних зразків та рядових зразків також є досить складною, особливо в тому разі, коли реєструється значна кількість елементів-домішок у сотнях зразків й еталонів. Для автоматичного виконання такого порівняння нами було застосовано метод визначення відстаней в уявному n -вимірному евклідовому просторі з кількістю просторових вимірів, що дорівнює кількості елементів, які були визначені. У такому разі координатою виміру є концентрація елементу в матеріалі зразка або еталона. Подібність зразків до еталонів визначається як відстань у цьому багатовимірному просторі.

Відстань між елементами « x » та « y » координатного евклідового простору (R) з n -вимірами визначається за формулою (1):

$$d(x,y) = \|x-y\| = [(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2]^{0,5} \quad (1)$$

Відповідно, для визначення ступеня подібності «еталон–зразок» формула (1) набуває вигляду (2):

$$L = [(C_{E1} - C_{S1})^2 + (C_{E2} - C_{S2})^2 + \dots + (C_{En} - C_{Sn})^2]^{0,5} \quad (2),$$

де:

L — ступінь подібності (умовна відстань у n -вимірному евклідовому просторі);

n — кількість хімічних елементів, що були визначені;

C_E — концентрація хімічного елементу в еталонному зразку;

C_S — концентрація хімічного елементу в рядовому зразку.

Чим меншою є відстань L між зразком та еталоном, тим більш подібним є їхній хімічний склад. У ідеальному варіанті за повної подібності ця відстань має дорівнювати нулю. Похибки вимірювань будуть дещо впливати на ступінь подібності, але в будь-якому разі мінімальні відстані свідчать про подібність чи про практично повну ідентичність хімічного складу еталона і зразка.

З огляду на це є вельми важливим достатня, з позицій статистики, вибірка як еталонних зразків торгових марок, так і вибірка тих ознак, які формують матрицю багатовимірного простору. Оскільки під час валового аналізу хімічного складу гірських порід використовують десять головних петрохімічних компонентів (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5), кількість вимірів такого евклідового простору також буде дорівнювати десяти. Причому концентрація кожного з компонентів є координатою точки у цьому десятивимірному просторі. Таким чином, кожен зразок, що досліджується, або віртуальний еталон торгової марки також матиме десять значень координат, що дорівнюють концентраціям певних петрохімічних компонентів.

Подібність зразка, що досліджується, до еталона торгової марки визначається як відстань у цьому десятивимірному просторі, а саме, як корінь квадратний суми квадратів різниць координат «еталон–зразок» для кожного з петрохімічних компонентів.

Найменша відстань у цьому віртуальному багатовимірному просторі визначає найбільшу подібність еталона і зразка, що і є основою ідентифікації торгових марок декоративного каміння за представленим методом.

Алгоритм розрахунку подібності «еталон–зразок» для зразків декора-

тивних гірських порід складається з таких стадій:

- переведення вмісту хімічного елемента з мольної концентрації у масову в одиницях ррт (для кальцію в карбонатних гірських породах – у проценти);
- переведення результатів аналізу з елементної в оксидну форму;
- переведення оксидів перехідних металів у валентну форму оксиду, аналогічну оксидам еталонів (тривалентне залізо, двовалентний марганець тощо);
- розрахунок відстаней «еталон–зразок»;
- аналіз отриманих результатів з визначенням мінімальних відстаней у наборі еталонів;
- контроль отриманих результатів.

Розрахунок відстаней для стандартних десяти петрохімічних компонентів, характерних для декоративних гірських порід силікатного та карбонатного складу, виконується для кожного зі зразків та еталонів за формулою (3):

$$L = [(C(\text{SiO}_2)_E - C(\text{SiO}_2)_S)^2 + (C(\text{TiO}_2)_E - C(\text{TiO}_2)_S)^2 + (C(\text{Al}_2\text{O}_3)_E - C(\text{Al}_2\text{O}_3)_S)^2 + (C(\text{Fe}_2\text{O}_3)_E - C(\text{Fe}_2\text{O}_3)_S)^2 + (C(\text{MnO})_E - C(\text{MnO})_S)^2 + (C(\text{CaO})_E - C(\text{CaO})_S)^2 + (C(\text{MgO})_E - C(\text{MgO})_S)^2 + (C(\text{K}_2\text{O})_E - C(\text{K}_2\text{O})_S)^2 + (C(\text{Na}_2\text{O})_E - C(\text{Na}_2\text{O})_S)^2 + (C(\text{P}_2\text{O}_5)_E - C(\text{P}_2\text{O}_5)_S)^{2 \cdot 0,5}]^{0,5} \quad (3)$$

Ідентифікація торгових марок декоративного каміння з родовищ України за допомогою віртуальних еталонів виконується шляхом розрахунків умовних відстаней L за вищенаведеними формулами для всіх еталонів тих реєстрів, які було задіяно під час ідентифікації. Не є коректним штучно зменшувати кількість еталонів з тих чи інших причин.

Для контролю достовірності ідентифікації слід провести визначення умовної відстані L за формулою (1) у варіанті «зразок–зразок» без використання віртуальних еталонів. У разі правильної ідентифікації відстань зразка до самого себе повинна дорівнювати нулю.

З метою підвищення точності, збіжності вимірювань та швидкодії під час оцінки результатів досліджень, в тому числі оцінки похибок засобів вимірювальної техніки, а також статистичної обробки результатів даних багатфакторних експериментів, що мають місце в процесі гемологічної експертизи декоративного каміння, доцільним є використання засобів аналітичної та обчислювальної техніки у стаціонарному чи пересувному варіанті. Високий рівень розвитку апаратного та програмного забезпечення персональних комп'ютерів дозволяє створити такий набір віртуальних еталонів, який дозволяє обробляти значну кількість інформації у реальному часі в лабораторних і польових умовах.

У складних випадках, наприклад для торгових марок габро, є доцільним використання більш тонких петрохімічних особливостей складу гірської породи, зокрема, вмісту рідкісних та розсіяних елементів, наприклад, рідкісноземельних елементів. У такому разі кількість вимірів вищенаведеного багатовимірного простору зростає до кількості елементів, що досліджуються.

Єдиним обмеженням цього методу є те, що набір елементів, що досліджуються у зразках, має точно збігатися з кількістю компонентів, що вже досліджені в еталоні. З огляду на це є великим важливим достатня, з позицій статистики, вибірка як еталонних зразків торгових марок, так і вибірка тих ознак, які формують матрицю багатовимірного простору.

На сьогодні робочий реєстр віртуальних еталонів Державного гемологічного центру України містить аналітичні відомості щодо 254 родовищ декоративного каміння. Реєстр віртуальних еталонів включає в себе відомості щодо петрохімічного складу декоративного каміння з родовищ України, які згруповані за мінералого-генетичними особливостями; геолого-петрографічну характеристику порід згідно з сучасною науковою класифікацією; у разі наявності на одному родовищі декількох різновидів декоративних гірських порід – відомості про кожну з них.

Використані джерела

1. Гелета О.Л., Сергієнко І.А., Горобчишин О.В., Ляшок В.І., Сурова В.М. Атестація та експертна оцінка декоративного каміння: навч. посібник. Київ: ДГЦУ, 2013. 60 с.
2. Гелета О.Л., Горобчишин О.В., Кічняєв А.М., Сергієнко І.А. Експертна оцінка гранітів: навч. посібник. Київ: ДГЦУ, 2011. 48 с.
3. Сергієнко І.А. Лабрадорити України: визначення торгових марок лабрадоритів за їхніми макроскопічними особливостями. *Коштовне та декоративне каміння*. 2004. № 3 (37). С. 18–26.
4. Сергієнко І.А., Гелета О.Л., Горобчишин О.В. Методологічні основи ідентифікації торгових назв декоративного каміння за допомогою віртуальних еталонів. *Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння*: зб. матеріалів Х міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 05-06 листоп. 2020 року. Київ, 2020. С. 28-31.
5. Гелета О.Л., Сергієнко І.А., Терещенко Є.М. Колористичні характеристики декоративного каміння Українського щита. *Коштовне та декоративне каміння*. 2015. № 4 (82). С. 31–34.

References

1. Geleta O., Sergiienko I., Gorobchyshyn O., Lyashok V., Surova V. Attestation and expert assessment of decorative stones: tutorial. Kyiv: SGCU, 2013. 60 p. [in Ukrainian]
2. Geleta O., Gorobchyshyn O., Kichnyaev A., Sergiienko I. Expert assessment of granites: tutorial. Kyiv: SGCU, 2011. 48 p. [in Ukrainian]
3. Sergiienko I. Labradorites of Ukraine: definition of labradorite trademarks according to their macroscopic features. *Precious and decorative stones*. 2004. № 3 (37). P. 18–26. [in Ukrainian]
4. Sergiienko I., Geleta O., Gorobchyshyn O. Methodological bases of identification of trade names of decorative stones by means of virtual standards. *Modern technologies and features of extraction, processing and use of natural stones: materials of the X Internat. scient.-pract. conf.*, Kyiv, 05-06 Novemb. 2020. Kyiv, 2020. P. 28-31. [in Ukrainian]
5. Geleta O., Sergiienko I., Tereshchenko E. Coloristic characteristics of decorative stone of the Ukrainian shield. *Precious and decorative stones*. 2015. № 4 (82). P. 31–34. [in Ukrainian]

УДК 552.086+552.22+552.23

И.А. Сергиенко, руководитель научно-исследовательской лаборатории
E-mail: sia.gems@gmail.com

О.Л. Гелета, кандидат геологических наук, член-корреспондент Академии строительства Украины, заместитель директора – руководитель отдела экспертизы полудрагоценного и декоративного камня
E-mail: olgel@gems.org.ua

О.В. Горобчишин, кандидат технических наук, главный специалист отдела экспертизы полудрагоценного и декоративного камня
E-mail: gorol@gems.org.ua

А.Н. Ткаленко, директор ГГЦУ
E-mail: antkalenko@ukr.net

Государственный геммологический центр Украины
ул. Дегтяревская, 38–44, Киев, 04119, Украина

Идентификация торговых марок декоративного камня из месторождений Украины с помощью виртуальных эталонов

Приведены основы методики идентификации торговых марок декоративного камня с использованием виртуальных эталонов химического состава горных пород. Методика пригодна для быстрой и точной идентификации материала сырья и изделий из декоративного камня месторождений Украины.

Ключевые слова: декоративный камень, идентификация, эталоны, торговая марка.

UDC 552.086+552.22+552.23

I. Sergiienko, Head of the Research Laboratory
E-mail: sia.gems@gmail.com

O. Geleta, Ph.D. (Geol.), Corresponding Member of the Academy of Civil Engineering of Ukraine, Deputy Director – Head of the Department of Semi-precious and Decorative Stones Examination
E-mail: olgel@gems.org.ua

O. Horobchyshyn, Ph.D. (Eng.), Chief Specialist of the Department of Semi-precious and Decorative Stones Examination
E-mail: gorol@gems.org.ua

A. Tkalenko, Director of the State Gemological Centre of Ukraine
E-mail: antkalenko@ukr.net

State Gemmological Centre of Ukraine
38–44 Deghtyarivska Str., Kyiv, 04119, Ukraine

Identification of trademarks of decorative stone from Ukrainian deposits using virtual standards

The basics of the method identification of brands decorative stone with the use of virtual standarts chemical compositions of rocks are presented. The technique is suitable for high-speed and accurate identification of raw materials and decorative stone products from Ukrainian deposits.

Keywords: decorative stones, identification, standards, trademark.