

УДК 551.311.22

О.Л. ГЕЛЕТА, кандидат геологічних наук

О.В. ГОРОБЧИШИН

ДГЦУ

Н.В. ЗУЄВСЬКА, доктор технічних наук, НТУ КПІ

В.М. ЗАГНІТКО, доктор геолого-мінералогічних наук, КНУ ім. Т. Шевченка

А.М. КІЧНЯЄВ, В.І. ЛЯШОК, І.А. СЕРГІЄНКО, А.М. ТКАЛЕНКО

ДГЦУ

В.В. ШУНЬКО, кандидат геолого-мінералогічних наук, КНУ ім. Т. Шевченка

# ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ВИВІТРЮВАННЯ НА ЗБЕРЕЖЕНІСТЬ АРХІТЕКТУРНИХ ПАМ'ЯТОК З ПРИРОДНОГО КАМІННЯ У СХІДНІЙ ТА ПІВДЕННІЙ ЧАСТИНАХ УКРАЇНИ

В результате исследования сохранности поверхности архитектурно-строительных изделий из различных видов декоративного камня установлено, что современные эколого-климатические условия эксплуатации натуральных каменных декоративных материалов в пределах южного и восточного регионов Украины являются весьма сложными из-за существенной природной и антропогенной агрессивности вод атмосферных осадков, а также высокой активности иных биогенных и антропогенных факторов.

The study of safety surface architectural building products from various kinds of decorative stone, found that modern ecological and climatic conditions of use of natural stone decorative materials within the southern and eastern regions of Ukraine are very complex because of the significant natural and anthropogenic aggressive water precipitation, and the high activity of other biogenic and anthropogenic factors.

Декоративні гірські породи Українського щита видобувають і використовують у будівництві та архітектурі вже майже два сторіччя [4]. За цей час з декоративних гірських порід в Україні та за її межами було створено велику кількість монументальних творів і пам'яток архітектури, які сьогодні, зважаючи на свій поважний вік, досить часто потребують часткової або повної реставрації.

У ході виконання досліджень щодо особливостей вивітрювання об'єктів, виконаних з вітчизняного декоративного каміння у південних та східних регіонах України, було проведено кваліметричні, інструментальні, мікроскопічні та склерометричні дослідження стану

збереженості матеріалів типових архітектурно-будівельних виробів, у тому числі історико-архітектурних пам'яток з декоративного каміння та датованих XIX–XXI сторіччям.

**Граніти і гранітоїди.** Під час обробки наукових матеріалів, отриманих у процесі дослідження вивітрювання архітектурно-будівельних виробів з граніту, було встановлено, що гранітні декоративні матеріали виявляють вельми значний ступінь опору шкідливим факторам зовнішнього впливу під час експлуатації. Переважна більшість гранітних виробів суттєво не змінює свої фізико-механічні та декоративні властивості протягом десятків і сотень років. Проте, у разі наявності нестійких мінеральних

фаз, вироби з певних торгових марок також зазнають деяких пошкоджень під час їх експлуатації.

Дрібнозернисті класичні граніти з масивною текстурою без включень залізистих мінералів, насамперед сульфідів, характеризуються винятковою стійкістю до шкідливих зовнішніх впливів. До них належать насамперед граніти Лезниківського, Танського, Токівського, Крошнянського, Межирицького родовищ, які не зазнають помітних змін під дією шкідливих факторів навколишнього середовища протягом 100–150 років.

До цієї групи також можна віднести гранодіорити Покостівського родовища, для яких також характерна значна стійкість. Але внаслідок порівняно незна-

чного терміну експлуатації (20–30 років) залишається недослідженою їх поведінка на значних часових проміжках.

Для гранітів і гранодіоритів з крупною гігантозернистою структурою також характерна значна стійкість до зовнішніх впливів. Однак на значних часових проміжках (40–50 років) спостерігаються розтріскування поверхні другорядних та темноколірних мінералів у складі цих гірських порід. Внаслідок значних розмірів зерен мінералів гранітів таке розтріскування призводить до візуально помітного зменшення блиску поверхні виробів та до появи мікроскопічних зон ерозії і тріщиноутворення. Такі поверхневі механічні пошкодження найбільш характерні для гранітів Корнинського, Капустинського, Омелянівського, Горіхівського, Войнівського, Ташлицького родовищ.

Темнозабарвлені граніти та гранітоїди, насамперед зелені та сіро-зелені, зазнають змін у колористичних характеристиках, що виражається у загальному освітленні кольорового фону поверхні виробів. У деяких випадках також спостерігається поява жовтуватих відтінків, що пов'язано з дією кислотомісних вод атмосферного і ґрунтового походження на нестійкі мінеральні фази у складі граніту, зокрема на сульфідні заліза (пірит) та слюдисті мінерали (флогопіт, біотит, мусковіт). Під дією кислих розчинів відбуваються процеси багатостадійного окиснення і розчинення нестійких мінеральних компонентів з виділенням нерозчинних оксидів і гідроксидів тривалентного заліза. До гранітів цієї групи перш за все можна віднести граніти Маславського, Човнівського, Нерязького, Рогівського родовищ.

Таким чином, за загальною атмосферостійкістю граніти українських родовищ можна розділити на три групи: – граніти вельми значної стійкості (дрібнозернисті, масивні Лезниківського, Танського, Токівського, Крошнянського, Межирицького родовищ); – граніти значної стійкості (крупно- та гігантозернисті граніти Корнинського, Капустинського, Омелянівського, Горіхівського, Войнівського, Ташлицького родовищ); – граніти середньої стійкості (зеленкуваті та сіро-зелені граніти Маславського, Човнівського, Нерязького, Рогівського родовищ).

Проте, за винятком зовнішньої дії непереборних механічних навантажень, які набагато перевищують міцність виробів з граніту, або дії непередбачуваних антропогенних впливів, насамперед вандалізму, всі досліджені змінені виробу з граніту зазнали зниження лише суто декоративних параметрів (окиснення, освітлення, зменшення блиску тощо). Слід зазначити, що протягом усього часу експлуатації, який нерідко становить 50–150 років, виробу з граніту не зазнають суттєвих структурних змін та повністю зберігають свої фізико-механічні властивості і здатність витримувати навантаження. Тому жоден з українських гранітів не може бути віднесено до гранітів низької стійкості. Однак серед імпортованих гранітів та гранодіоритів нерідко зустрічаються нестійкі відміни, насамперед серед гранітів, завезених з Індії та Китаю, які нерідко характеризуються порівняно незначною атмосферостійкістю, що насамперед виражається у швидкій зміні колористичних ознак виробів з цих матеріалів (освітлення, іржавіння, намокання, виділення солей тощо) та у розтріскуванні поверхні.

**Габро і габроїди.** Головними факторами впливу деструктивних чинників на архітектурно-будівельні виробу з габроїдів є дія кисне- та кислотомісних вод атмосферного та ґрунтового походження на нестійкі залізовмісні мінеральні фази у складі габро, зокрема на залізисті силікати (олівіни, піроксени, амфіболи). Під дією цих розчинів проходять процеси багатостадійного окиснення та розчинення нестійких мінеральних компонентів з виділенням нерозчинних карбонатних висолів та іржавих плям оксидів і гідроксидів тривалентного заліза.

Суттєво прискорює деструктивні процеси поширення на поверхні виробів з габро наявність біогенної плівки з нижчої рослинності, особливо з лишайників та мохоподібних.

Крім того, така темна за кольором гірська порода, як габро, зазнає суттєвого перегріву під дією сонячних променів, що призводить до механічних деформацій, тріщиноутворення та фізичного руйнування виробів.

За своїм мінеральним складом габроїди є поєднанням основного плагіоклазу та моноклінного і ромбічного піроксенів у різних пропорціях. У незна-

чній кількості містяться також олівіни, амфіболи, рудні мінерали (ільменіт і піротин).

У результаті мікроскопічного дослідження зразків поверхні виробів з габроїдів, датованих XIX–XX сторіччям, встановлено, що найбільшого руйнування зазнали зерна піроксенів. Поверхня цих зерен набула матового вигляду з розширеними і поглибленими тріщинами спайності, виділеннями оксидів і гідроксидів заліза у товщі мінерального індивіду, виколами на краях зерен. Поверхня деяких зерен зруйнована з утворенням віспин розміром до 1–3 мм.

Зерна другорядних мінералів (олівін, амфібол) також зазнали руйнування, але внаслідок незначного вмісту цих мінералів у гірській породі такий процес у жодному зі зразків не призвів до зниження декоративних властивостей матеріалу.

Рудні мінерали оксидного складу (ільменіт) на поверхні виробів з габро не зазнали будь-яких видимих пошкоджень. Натомість зерна рудних мінералів сульфідного складу повністю зруйновані та заміщені агрегатами вторинних залізистих мінералів.

Кристали плагіоклазу основного складу залишаються майже неушкодженими, блиск полірованої поверхні зберігається, але з плином часу забарвлення зерен мінералу світлішає.

Загальне забарвлення виробів з габроїдів внаслідок процесів руйнування піроксенів та освітлення плагіоклазів поступово набуває сірого забарвлення з коричневим відтінком.

Найвитривалішими до дії зовнішніх шкідливих чинників є різновиди габроїдів з дрібними зернами породотвірних темноколірних мінералів без включень сульфідних мінералів, наприклад габроїди букинського та сліпчицького типів, до яких належить переважна більшість родовищ України.

**Лабрадорити й анортозити.** Класичні гігантозернисті лабрадорити з суттєво плагіоклазовим мінеральним складом є досить стійкими гірськими породами. Лабрадоритові колонії, елементи облицювання та намогильні пам'ятники, встановлені на початку XX сторіччя, збереглися у практично незмінному стані, за винятком деякого по-світління. Проте, у разі наявності додаткових мінеральних фаз, окрім плагі-

оклазу, нерідко спостерігаються прояви швидкого вивітрювання виробів з лабрадориту [6].

Головними факторами впливу деструктивних чинників на архітектурно-будівельні вироби з лабрадоритів є дія кисне- та кислотовмісних вод атмосферного та ґрунтового походження на нестійкі залізовмісні мінеральні фази, зокрема на залізисті силікати (олівіни, піроксени, амфіболи), що є дуже схожим на процеси вивітрювання габроїдів. Під дією кислотних розчинів проходять процеси багатадійного окиснення та розчинення нестійких мінеральних компонентів з виділенням на поверхні виробів нерозчинних карбонатних висолів та іржавих плям оксидів і гідрооксидів тривалентного заліза.

Суттєво прискорює деструктивні процеси поширення на поверхні виробів з лабрадориту наявність біогенної плівки з нижчої рослинності, особливо з водоростей, лишайників та мохоподібних.

Крім того, така майже чорна гірська порода, як лабрадорит, зазнає суттєвого перегріву під дією сонячних променів, що призводить до механічних деформацій, тріщиноутворення і фізичного руйнування виробів.

Класичні лабрадорити являють собою суто плагіоклазові гірські породи, на поверхні яких під час мікроскопічного дослідження не виявлено жодних слідів вивітрювання, за винятком слабкої зміни забарвлення плагіоклазів з набуттям світло-зеленого відтінку. Навіть на поверхні виробів, виготовлених у XIX сторіччі, вторинні зміни виражені дуже слабо. Блиск поверхні залишається майже незмінним. До таких класичних лабрадоритів належать насамперед родовища Турчинської групи (Турчинське, Синій Камінь, Кам'яна Піч).

За наявності у складі лабрадориту другорядних залізистих мінералів, передусім залізистих силікатів групи піроксенів (моноклінні та ромбічні піроксени), спостерігаються збільшення частки слідів вивітрювання, які виражені в руйнуванні зерен цих мінералів та утворенні псевдоморфоз карбонат-слюдистого та залізистого складу, заповнених вторинним кальцитом. До цієї групи родовищ відносять гігантозернисті відміни Кам'янобрідського, Добринського, Андріївського, Осниківського родовищ.

Таким чином, за здатністю до опору чинникам шкідливої дії навколишнього середовища лабрадоритові матеріали можна розділити на дві групи:

1. Лабрадорити високої стійкості (суто плагіоклазові відміни родовищ Турчинське, Синій Камінь, Кам'яна Піч).

2. Лабрадорити середньої стійкості (збагачені темноколірними мінералами гігантозернисті відміни Кам'янобрідського, Добринського, Андріївського, Осниківського родовищ).

**Пісковики і сланці** є міцними гірськими породами, використання яких можливе в широкому діапазоні механічних навантажень, але їх здатність до розшарування паралельно площинам седиментації призводить до поступового руйнування виробів з пісковика і сланцю під дією коливань температури навколишнього середовища. Крім того, з огляду на значну пористість цих матеріалів, вельми актуальною є проблема забруднення поверхні виробів антропогенними аерозолями, насамперед сажею, смолами та вуглистими речовинами.

У разі наявності у пісковика карбонатного або карбонатно-глинистого цементу є значною загроза площинного руйнування поверхні виробів внаслідок розчинення цементу кислими атмосферними водами природного та антропогенного походження.

Для пісковиків є характерними ознаки вивітрювання, пов'язані з руйнуванням нестійких природних цементів, зокрема глинистого та карбонатно-глинистого складу. У разі наявності цементів цього складу на поверхні виробів спостерігаються ознаки ерозії площинного типу з утворенням додаткового рельєфу та розширенням наявних пор і каверн.

Переважає більшість виробів з пісковиків та сланців на теренах східної та південної частин України належить до другої половини XX сторіччя та початку XXI сторіччя, тому статистична обробка даних на значних часових проміжках має певну похибку. Проте слід зазначити, що інтенсивність проявів дефектоутворення різного генезису залежить від віку виробу. Вироби XIX та початку XX сторіччя несуть переважно пошкодження природного генезису з підлеглим значенням пошкоджень антропогенного походження. Вироби кінця XX сторіччя та початку XXI сторіччя несуть

на собі сліди дефектоутворення переважно антропогенного генезису.

**Вапняки, мармури, травертини.**

Найбільшу небезпеку для збереження механічної міцності елементів виробів з карбонатних гірських порід становлять активні міжзернові тріщини, розташовані між структурними фрагментами з неоднорідним за своїми властивостями матеріалом. У глибині та по краях тріщин процеси вивітрювання виробів є найбільш активними, що виражається максимальною швидкістю процесів корозії на свіжих площинах карбонатного матеріалу.

Значний вклад у процеси руйнування поверхні виробів з карбонатних гірських порід вносить гіпсова кірка [7], яка формується внаслідок процесів сульфатизації під час дії на карбонати антропогенних вод і газів з домішками оксидів сірки. Відшарування цієї плівки призводить до прогресуючого осипання поверхневого шару виробів та поступового розвитку мікрокарсту. Локалізація гіпсової кірки суттєво залежить від особливостей мікрорельєфу поверхні виробу. Найінтенсивнішими процеси сульфатизації є у заглибинах поверхні, де затримується волога та атмосферні забруднення.

Біологічна плівка, складена різноманітними мікроорганізмами і їх залишками, є третім за важливістю агентом руйнування поверхні виробів з карбонатних гірських порід. Мікроорганізми (бактерії, гриби, водорості та лишайники) найбільш активно руйнують поверхню виробів внаслідок хімічного та фізичного впливу на субстрат. Вельми агресивними у цьому плані є зелені та синьо-зелені організми, які формуються внаслідок активного розмноження водоростей Chlorophyta і Cyanophyta [3].

Спектральний розподіл типових форм вивітрювання свідчить про те, що на першому часовому етапі експлуатації виробів з карбонатних гірських порід (5–10 років) переважають дефекти антропогенного походження (прояви вандалізму, втрати, тріщиноутворення, стирання поверхневого шару тощо).

На середньому (10–25 років) часовому проміжку на перший план виходять фізико-хімічні джерела шкідливого впливу на поверхневий шар. Насамперед це кислі розчини природного і антропогенного походження, які призво-

дять до втрати полірування, утворення сульфатних нашарувань, ерозії поверхневого шару.

Вироби віком більшим 25 років зазнають комплексного впливу шкідливих чинників різного генезису. У такому разі домінують впливи біогенного походження, насамперед дія органічної плівки на поверхні виробів.

**Методичні засади встановлення ступеня збереженості.** Для точної характеристики руйнування природного декоративного каменю необхідна стандартизація процедури опису та найменування форм вивітрювання. Раніше не існувало класифікації форм вивітрювання, такої докладної, як петрографічна. Робоча група «Природний камінь і вивітрювання» Технічного університету м. Аахен (Німеччина) розробила детальну класифікацію форм вивітрювання як основу для точної, об'єктивної і відтворюваної реєстрації та документації пошкоджень поверхні виробів з декоративного каменю [1]. Класифікація включає чотири ієрархічних рівні, усім її підрозділам та об'єктам приписані літерні символи, авторами також створено кольоровий фотоатлас [2].

На самому верхньому ієрархічному рівні виділяють 4 групи форм вивітрювання: 1 – «втрати кам'яного матеріалу»; 2 – «зміна кольору, нальоти»; 3 – «поділ на складові частини, або дезінтеграція»; 4 – «щілини, тріщини, деформації». На другому ієрархічному рівні кожна група поділена на основні форми вивітрювання, всього їх 25. На третьому ієрархічному рівні йде поділ на окре-

мі форми вивітрювання, їх вже 75. На решті, на останньому, четвертому ієрархічному рівні кожна з 75 окремих форм вивітрювання може бути додатково кількісно охарактеризована числом відповідно до інтенсивності (ступеня) вивітрювання каменю.

Прийом стандартизації дає можливість об'єктивно описати дефектність виробів з каменю. Він є інструментом кількісної оцінки процесу та швидкості різних видів руйнування, прогнозування можливих подальших руйнувань каменю і визначення способів їх попередження.

Відповідно до класифікації форм вивітрювання, викладеної у роботі [1], та результатам виконання науково-дослідної роботи «Дослідження впливу процесів вивітрювання на збереженість архітектурних пам'яток з природного каменю України» Державним гемологічним центром України було складено методичну інструкцію «Встановлення ступеня збереженості архітектурних пам'яток з природного каменю», яка визначає перелік і послідовність відповідних дій та операцій щодо кваліметричного встановлення поточного ступеня збереженості поверхні архітектурних та ритуальних пам'яток, окремих їх частин, скульптур і будівельних об'єктів, виготовлених з природного каменю.

Встановлено, що за результатами оцінки категорії дефектності виробів з декоративного каменю України числові значення індексів дефектності мають бути визначені кваліметрично у кооперації з усіма експертами, зайнятими в

роботах з вивчення, реставрації та збереження пам'ятника. Інтенсивність прояву певної форми вивітрювання обчислюється як середнє арифметичне оцінок певної форми вивітрювання, отриманих незалежно від кожного експерта. Розрахунок коефіцієнтів збереженості (К) поверхні архітектурних пам'яток з природного каменю для кожного з видів дефектів обчислюється за формулою:

$$K = (k_1 + k_2 + \dots + k_n) / n,$$

де  $k$  – кваліметричний коефіцієнт дефектності, що був визначений експертом;  $n$  – загальна кількість експертів.

За результатами дослідження стану збереженості виробів з різних видів декоративного каменю України встановлено, що сучасні еколого-кліматичні умови експлуатації кам'яних матеріалів у східній та південній частинах України слід визнати як важкі, зважаючи на суттєву природну й антропогенну агресивність вод атмосферних опадів та активність біогенних і антропогенних чинників.

Послідовне використання методики встановлення ступеня збереженості дає шлях до контролю та сертифікації заходів щодо реставрації пам'яток архітектури і по довгостроковому стеженню за їх збереженням. Методика може бути рекомендована архітекторам, інженерам, реставраторам, консультантам і менеджерам для використання під час складання проектів реставраційними і будівельними компаніями.

#### Використана література

1. *Fitzner B., Heinrichs K.* Damage diagnosis on stone monuments – weathering forms, damage categories and damage indices // Understanding and managing stone decay (Proc. of the Intern. Conf. "Stone weathering atmospheric pollution network (SWAPNET 2001)". Charles University in Prague) / Prague: The Carolinum Press, 2002. – P. 11-56.
2. *Fitzner B., Heinrichs K.* Photo atlas of the weathering forms on stone monuments. // <http://www.stone.twth-aachen.de> .
3. *Власов Д.Ю.* Биогенное разрушение камня в памятниках Санкт-Петербурга // Минералогия, геммология, искусство. – СПб: Изд-во СПбГУ. – 2003. – С. 99–101.
4. *Гелета О.Л.* Ринок декоративного каменю України 2001–2002 рр. // Коштовне та декоративне каміння. – 2003. – № 2 (32). – С. 37–42.
5. *Підлісний А.Л.* Декоративний камінь Житомирщини // Вісник Корпорації „Укрбудматеріали”. ПА „Медіа Світ”. – 2003. – № 4. – С. 34.
6. *Сергієнко І.А.* Стійкість виробів з лабрадориту в умовах сучасного міста // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции "Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании" 2009 // Одесса, 2009. – т. 24 – С. 14-16.
7. *Сычев Ю.И.* Патология природного камня. – М.: Полет Камня и Мы, 2009. – 284 с.