

УДК [679.8:622.02:504](043.3)

ВСТАНОВЛЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ КІНЕТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РУЙНУВАННЯ ЛАБРАДОРИТУ**О. В. Камських**

Житомирський державний технологічний університет

вул. Черняхівського, 103, 10005, м. Житомир, Україна. E-mail: kamskihaleksandr@rambler.ru

Розглянуті фактори навколишнього середовища, що впливають на міцнісні характеристики декоративного каменю, зокрема, лабрадориту: низькотемпературні, хімічні, сольові й механічні вивітрювання; поперемінне зволоження та висушування; зміна температури за абсолютної вологості; збільшення тріщинуватості за рахунок наявних внутрішніх дефектів власне мінералу та вже готових виробів із нього. Експериментально встановлено, що у кристалічних породах також спостерігається зона «зтискування–розтягування», як й у виробках із металу, однак із зовсім іншими кількісними та якісними характеристиками. Доказана зміна міцності лабрадориту залежно від умов навколишнього середовища – хімічної агресивності, вологості. Встановлені фізико-хімічні та кінетичні залежності між швидкістю руйнування лабрадориту, зміною ступеня його тріщинуватості та границь міцності на зтискування.

Ключові слова: руйнування, лабрадорит, фактори навколишнього середовища, фізико-хімічні кінетичні закономірності.

УСТАНОВЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ ЛАБРАДОРИТА**А. В. Камских**

Житомирский государственный технологический университет

ул. Черняховского, 103, г. Житомир, 10005, Україна. E-mail: kamskihaleksandr@rambler.ru

Рассмотрены факторы окружающей среды, влияющие на прочностные характеристики декоративного камня, в частности, лабрадорита: низкотемпературное, химическое, солевое и механическое выветривание; попеременное увлажнение и высушивание; изменение температуры при абсолютной влажности; увеличение трещиноватости за счет имеющихся внутренних дефектов самого минерала и уже готовых изделий из него. Экспериментально установлено, что в кристаллических породах также наблюдается зона «сжатия–растяжения», как и в изделиях их металла, однако с совершенно другими количественными и качественными характеристиками. Доказано изменение прочности лабрадорита в зависимости от условий окружающей среды – химической агрессивности, влажности. Установлены физико-химические и кинетические зависимости между скоростью разрушения лабрадорита, изменением степени его трещиноватости и границ прочности на сжатие.

Ключевые слова: разрушение, лабрадорит, факторы окружающей среды, физико-химические кинетические закономерности.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Значна частина продукції, яка постійно знаходиться в контакт з агресивними агентами зовнішнього середовища, виготовляється із базальтоїдів, до яких належать лабрадорити, габро, базальт, анортозит, норит, габронорит та їх аналоги, тобто породи з незначним вмістом сполук кремнію [1]. На кам'яні вироби, що експлуатуються під відкритим небом впливають температурні фактори, рух води й повітря, чинники механічного й хімічного впливу [2].

З урахуванням того, що атмосфера й води з кожним роком стають усе агресивнішими, за рахунок надходження до них оксидів Сульфуру, Нітрогену, Карбону та інших інгредієнтів, то й кам'яні вироби піддаються корозії, в окремих випадках значній. Кам'яні вироби з високоміцних габроїдних порід в агресивному середовищі належать до найбільш уразливих. Значною мірою потерпають від корозії споруди, на кам'яне облицювання яких чи на вироби потрапляє багато атмосферної води та солей, які використовуються в зимовий період дорожньо-комунальними службами. В останньому випадку мова йде про солестійкість порід. На камені утворюється корозійна кірка товщиною 2–6 мм, яка легко руйнується [3].

При виготовленні продукції для зовнішнього облицювання постає досить актуальна проблема довговічності кам'яних виробів. Довговічність характеризує стійкість породи проти дії руйнуючих факторів. Довговічність облицювального каменю визначається за методикою, яка базується на результатах петрографічного аналізу [4].

Вихідними показниками при розрахунку довговічності [5] є мінералогічний склад природного каменю; наявність у камені мікротріщин і пор; характер зчеплення зерен у породі.

За загальноприйнятою класифікацією за довговічністю всі породи підрозділяються на чотири класи [6]. Лабрадорити належать до другого класу, тобто є довговічними.

На основі всього вищевикладеного можна зробити висновки щодо основних руйнуючих факторів навколишнього природного середовища. До них належать:

- низькотемпературне, хімічне, сольове й механічне вивітрювання;
- поперемінне зволоження та висушування;
- зміна дії температури за абсолютної вологості;
- зсування земної поверхні та осідання будівель, які призводять до збільшення тріщинуватості за рахунок збільшення існуючих у виробі тріщин.

Не менш важливим фактором за сучасного стану атмосфери є солестійкість, оскільки кристалізація солей у порах і відкритих тріщинах каменю призводить до передчасного його руйнування. Таким чином, на основі всього вищезазначеного можна зробити наступний висновок: корозія базальтоїдних кам'яних виробів у зовнішньому облицюванні споруд залежить від вмісту в оточуючому середовищі техногенних агресивних речовин, від хімічних і петрографічних властивостей каменю, від часу експлуатації кам'яного виробу, від ступеня полірування, а також від погодно-кліматичних умов [8–11].

Вивчення закономірностей хімічного вивітрювання дає змогу вибрати камінь для зовнішнього облицювання в умовах певних кліматичних зон, забезпечувати певний рівень відповідного виду полірування каменю, узгоджувати терміни експлуатації споруд і корозії каменю.

У зв'язку із вищезазначеним метою роботи є вивчення фізико-хімічних кінетичних закономірностей руйнування лабрадориту задля встановлення шляхів зміцнення виробів з цього декоративного каменю.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Слід зазначити, що у першій фазі руйнування каменю пружні деформації збільшуються зі зростанням навантаження, причому кожний компонент кристалу піддається деформації в існуючому пружно-анізотропному полі напруження, що визначається особливими пружно-анізотропними властивостями елементарних фрагментів кристалів, що утворюють породу.

У другій фазі при зростанні напруження з'являються залишкові деформації, які супроводжуються утворенням тріщин і „тікучістю”. Крім зовнішнього орієнтованого розташування елементарних кристалічних фрагментів породи в певних переважних напрямках, у гірських порід, що складаються з більш пластичних мінералів, можуть з'являтися ефекти внутрішнього орієнтування кристалічної решітки, її фрагментів і природних мікро- та макротріщин.

Руйнування лабрадориту під дією навантажень відбувається у тому випадку, коли викликані навантаженням деформації та напруження досягнуть деякої граничної величини, що призведе до утворення тріщин унаслідок формування неоднорідності структури мінералу. Тріщини можуть утворюватись також із-за наявності включень, різних за хімічним складом і місцем їх знаходження. Це впливає також на вид розповсюдження тріщин.

Слід зазначити, що руйнування є прогресуючим розривом атомних або, у більшості, іонних зв'язків, оскільки мінеральні породи складаються з хімічних речовин, де у вузлах кристалічної решітки знаходяться позитивно заряджені іони металів (кальцію, магнію, заліза, натрію, цинку, міді і ін.) і негативно заряджені аніони як багатоатомні (сульфат, карбонат, силікат, нітрат), так і одноатомні (хлорид, бромід, йодид, фтори). Руйнування починається у „дефектах кристалічної структури” – граничні тріщини, які швидко розповсюджуються за лініями найменшого опору зв'язків.

Явища руйнування, які виникають при перевищенні міцності породи, дозволяють розпізнавати: руйнування відривом (крихке руйнування) під час подолання опору розриву (руйнування при розтягненні, при поперечному розширенні); руйнування зсувом під час подолання сил зв'язку решітки та внутрішнього тертя, головним чином, процесу ковзання, що відбувається внутрішньо (руйнування під час сколювання).

Крихке руйнування відривом відбудеться тоді, коли найбільше розтягуючи нормальне напруження досягне значення міцності відриву σ_0 . При досягненні дотичним напруженням в елементі кристалічної решітки, що навантажується, напруження зсуву відбудеться пластичне або крихке руйнування зсуву σ_s . Відповідно до теорії міцності Мора умову міцності можна записати як

$$\tau = \tau_0 + f(\sigma) \leq F, \quad (1)$$

де $f(\sigma)$ – функція напруження, що визначається експериментально;

F – зменшення міцності породи внаслідок тріщинуватості, природної та утвореної під дією корозії.

Зона „розтягування-стискування” властива зонам утворення мікро- та макротріщин, де ця зона пластичних деформацій перетворюється у зону тріщиноутворення. Вона спостерігається також на оголених поверхнях крайових ребер кристалів лабрадориту. При цьому за лінією найменшого опору (вісь симетрії кристалу або зразка моделі) головний напрямок напруження перетворюється в стискуючий та навпаки – із стискуючого в напруження розтягування.

Таким чином, уявлення про характер руйнування твердих середовищ і лабрадоритів у тому числі, що базується на моделі твердих середовищ у вигляді суцільного однорідного середовища, є ідеалізованими та не враховують реальної мікроструктури будь-якого мінералу. У зв'язку з цим необхідно підкреслити, що міцність зразків багатьох мінералів визначається розмірами їх кристалів у природних умовах. Слід також зазначити, що природна тріщинуватість на порядок більша за елементарні мінеральні фрагменти породи.

Таким чином, властивості лабрадоритів визначаються типом зв'язку між окремими компонентами кристала, що утворює масив, а властивості масиву – видом зв'язків між окремими прошарками породи. З цієї причини під час характеристики міцності розрізняють показники міцності власне мінералу (міцність речовини) та масиву, яку оцінюють величиною коефіцієнта міцності, що характеризує міцність зв'язку об'єму мінералу, що досліджується. Крім того, при розмірах масиву, більших за 1,5 м (довжина одного боку умовного зразка) слід урахувати коефіцієнт міцності зв'язків, а не міцність породи.

Задля вивчення впливу тріщинуватості лабрадоритів на їх механічні властивості здійснюють модельні випробування в умовах пласкої деформації. Необхідною умовою є визначення співвідношення між характеристиками лабрадоритів і властивостями та розмірами складових лабрадоритів: орієнтація тріщин, характеристики контактних поверхонь, вла-

стивості структурних елементів, показники міцності та здатності до деформації. Міцність та здатність до деформації змінюються в межах, які імітують сильно тріщинуваті та вивітрені вапняки або граніти.

Основними вихідними поняттями є співвідношення навантажень та показник послаблення під час переходу від структурного елементу до системи цілого кристалу на початку процесу корозії. Співвідношення навантажень і бічного навантаження дорівнює одиниці, тобто здійснюється гідростатичний розподіл тисків. Далі збільшується навантаження до величини, яка відповідає руйнуванню виробу.

Таким чином, це дало змогу знайти вигляд регресії, за якою змінюється межа міцності на стиск залежно від швидкості корозії:

$$y = -56,071 \cdot x^2 + 56,428 \cdot x + 171,45 \quad (2)$$

Отже, між швидкістю корозії й межею міцності на стискання існує залежність, яка характеризується досить тісним зв'язком параметрів (коефіцієнт кореляції $r=0,97$), що досліджуються, і яку можна подати у вигляді поліному другого порядку.

Довговічність лабрадориту буде визначатися моментом часу t^* , коли напруження в будь-якому елементі досягне гранично допустимого значення:

$$\max \{ \sigma_i(\mathbf{A}(t^*)) \} = [\sigma] \quad i = \overline{1, m} \quad (3)$$

Значення t^* не може бути безпосередньо знайдено із рівняння (3). Для його визначення можна застосувати вираз [4]:

$$t^* = \sum_{s=1}^N \Delta t^s + \Delta t^N \cdot \Theta; \Theta \in (0, 1) \quad (4)$$

где Δt – шаг інтегрування системи (3); N – номер ітерації, коли $\max \{ \sigma_i(\mathbf{A}^N) \} > [\sigma]$.

При цьому на кожній ітерації відбувається перевизначення матриці параметрів кристалічної решітки лабрадориту:

$$\mathbf{A}_{ij}^s = \mathbf{A}_{ij}^{s-1} + \Delta t^s \cdot \tilde{\kappa}_0 \cdot (1 + \eta \cdot \sigma_i \cdot (\mathbf{A})^{s-1}) \quad (5)$$

Алгоритм розв'язання задачі передбачає розв'язання задачі визначення напружено-деформованого стану (модуль $\{A\}$) та розв'язання системи диференціальних рівнянь виду (3). Модулі $\{F\}$ і $\{DF\}$ – відповідно формалізація швидкості корозії та визначення часу довговічності природного каменю, як це визначено у [4], але для іншого виду матеріалів.

Результатом розв'язання задачі довговічності є сукупність значень довговічності, яка відповідає сукупності швидкостей корозії. Кінцеве значення довговічності лабрадориту можуть бути отримано після виконання операції формалізації.

Таке розв'язання може бути отримано при допущенні, що із плину часу напруження та деформації в елементах кристалічної решітки (у хімічних зв'язках) є сталими. У [4] отримані аналітичні формули, які можуть бути застосовані для лабрадориту та дозволять визначити довговічність каменю, що кородує, в усіх напрямках від точки ураження агресивним середовищем:

$$t_{ан}^* = t_0 - \frac{2\eta Q}{\kappa_0 d_1} \left\{ \arctg \frac{2a\delta + b}{d_1} - \arctg \frac{b}{d_1} \right\}, \quad (6)$$

$$t_{ан}^* = t_0 - \frac{2\eta Q}{\kappa_0 d_2} \ln \left\{ \frac{(2a\delta + b - d_2)(b + d_2)}{(2a\delta + b + d_2)(b - d_2)} \right\}, \quad (7)$$

де Q – величина напруження у кристалічній решітці; $t_0 = \frac{\delta(t^*)}{\kappa_0}$; $a = s$ – коефіцієнт форми пере-

різу, що піддається корозії; $\delta(t^*)$ – глибина корозійного зносу, що відповідає граничному значенню напруження; F_0, P_0 – площа та периметр перерізу у початковий момент часу.

На наш погляд, у даному випадку можна розглядати подібність у перебігу корозійних процесів для лабрадориту як матеріалу для виготовлення виробів і металевих виробів, оскільки в них із часом під дією факторів навколишнього природного середовища може спостерігатись корозійне розтріскування, подібне тріщинуватості природних мінералів.

Приведений підхід до аналітичного розв'язання задачі визначення довговічності лабрадориту з урахуванням особливостей хімічних зв'язків кристалічної решітки не є чітким результатом, оскільки в кристалах лабрадориту з часом відбувається зміна статичних і динамічних механічних напружень.

Для коректного вирішення поставленої задачі необхідний алгоритм, подібний наведеному у [4], що дозволяє визначити довжину шага інтегрування на базі інформації про початкові фізико- та механо-хімічні характеристики лабрадориту, початкові напруження та швидкість корозії.

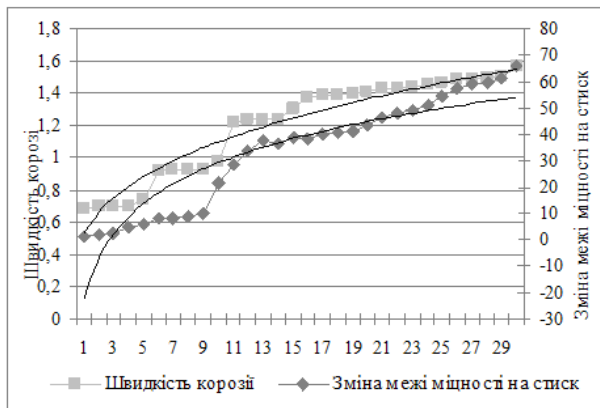
Виходячи із цього було отримано формалізоване значення часу, через який може початись корозійне руйнування лабрадориту – $t_{def} = 2,713$ роки.

Для дослідження взаємозв'язку між зміною межі міцності на стиск та інтенсивністю корозії, визначали межу міцності на стиск зразків, які використовувались у дослідженні впливу типу агресивного середовища на швидкість корозії, за загальноприйнятою методикою. За початкове значення межі міцності на стиск приймемо паспортне значення для породи, що досліджується (для Головинського лабрадориту $\sigma_{cm} = 186,6$ МПа).

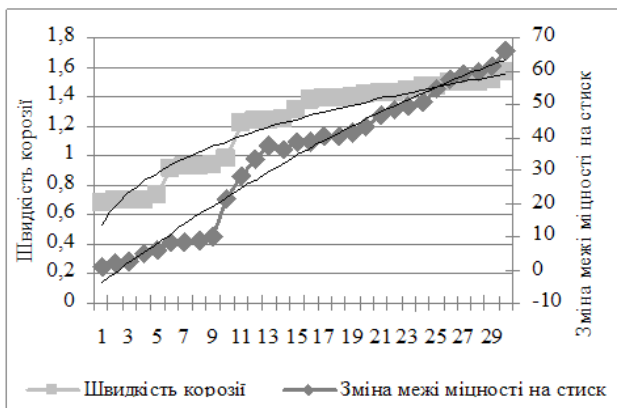
Дослідження із визначення корозійної стійкості зразків проводились при температурі 50 ± 5 °C у розчині сульфатної кислоти з концентрацією 100 г/л. Тривалість випробувань склала 1440 годин (60 діб). Перед зануренням в агресивне середовище зразки знежирювались спиртом, а вийняті з розчину після випробувань ретельно промивалися дистильованою водою й промокалися м'якою серветкою.

Вага зразків визначалась зважуванням на аналітичних вагах з похибкою не більше 0,01 г. Перед зважуванням зразки витримувалися в ексикаторі з силікагелем протягом 24 годин.

Швидкість корозії визначалась із співвідношення, наведеного у [8]. Під час випробувань низка зразків після визначення втрати ваги піддавався випробуванню з метою визначення межі міцності на стиск. Результати проведених досліджень наведено на рис. 1, а, б.



а) у кислому середовищі



б) у лужному середовищі

Рисунок 1 – Взаємозв’язок між впливом шкідливих факторів навколишнього середовища та міцністю лабрадориту

Зміна межі міцності на стиск – в кислому середовищі – $y=22,544\ln(x) - 22,594$, $r = 0,8443$; в лужному середовищі – $y = -0,0278x^2 + 3,1829 - 7,0636$, $r = 0,9673$.

Серед експлуатаційних властивостей найбільше значення має межа міцності на стиск, так як цей показник у більшості випадків визначає міцнісні характеристики декоративного каменю, а, значить, дозволяє оцінити загрозу, яку може створити виріб, який не відповідатиме експлуатаційним вимогам внаслідок агресивного впливу навколишнього середовища.

Це пов’язано із тим, що на першому етапі руйнування виробу пружні деформації збільшуються зі зростанням навантаження, причому кожний компонент кристалу піддається деформації в існуючому пружно-анізотропному полі напруження, що визначається особливими пружно-анізотропними властивостями елементарних фрагментів кристалів, що утворюють лабрадорит.

На другому етапі при зростанні напруження з’являються залишкові деформації, які супроводжуються утворенням тріщин і „текучістю”. Крім зовнішнього орієнтованого розташування елемента-

рних кристалічних фрагментів породи в певних переважних напрямках, у мінералів, що складаються з більш пластичних мінералів, можуть з’являтися ефекти внутрішнього орієнтування кристалічної решітки, її фрагментів і природних мікро- та макро-тріщин.

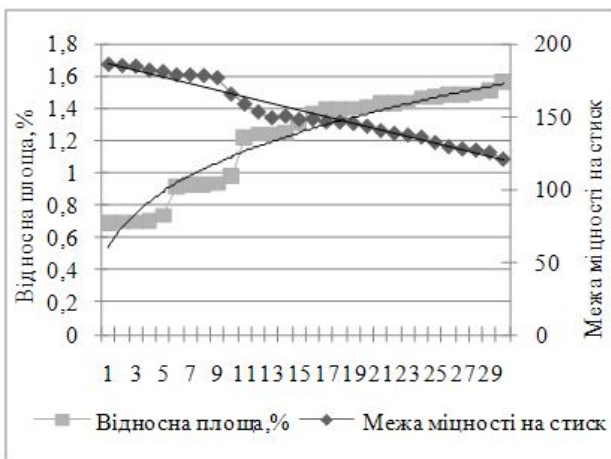
При корозійному руйнуванні лабрадориту важливого значення набуває площа ураження, або поверхня, що піддалась впливу.

У зв’язку із цим, експериментально були встановлені залежності між відносною площею ураження та межею міцності на стиск, що приведені на рис. 2,а,б.

Отримані експериментальні дані свідчать, що математичні залежності, яким підкоряються міцність на стиск і площа руйнування, не є ідентичними та залежать від середовища, в якому відбуваються зміни:

а) в кислому середовищі: межа міцності на стиск – $y = -2,311x + 189,07$, $r = 0,9654$; відносна площа, % – $y = 0,5329e^{0,3141x}$, $r = 0,9112$;

б) в лужному середовищі: межа міцності на стиск – $y = 191,86e^{-0,0151x}$, $r = 0,9691$; відносна площа, % – $y = 0,6232e^{0,047x}$, $r = 0,9477$.



а) у кислому середовищі



б) у лужному середовищі

Рисунок 2 – Залежність міцності лабрадориту від площі ураження шкідливими хімічними чинниками

Слід зазначити, що в лужному середовищі спостерігається обернена залежність, тобто на скільки збільшилася маса утворених продуктів корозії, на стільки збільшилась відносна площа ураження поверхні лабрадориту та зменшилась міцність на стиск.

На наш погляд, це пов'язано із тим, що під дією продуктів корозії та безпосереднього впливу агресивних компонентів навколишнього міського середовища щільність кристалічної упаковки атомів і молекул починає „пливти”. Утворені дефекти обумовлюють характер руйнування монолітного середовища мінералу. Внаслідок цього змінюється величина напружень, яка є функцією перерозподілу тріщин в мінералі під дією кінцевих продуктів хімічної взаємодії агресивних компонентів навколишнього середовища: $n_0 = f(\sigma)$. З іншого боку слабкі місця в мінералі, тобто ті, які будуть, перш за все, піддаватися корозії, можна визначити за величиною швидкості корозії та змінами мас зразків у часі, або змінами величини площі руйнування в часі.

ВИСНОВКИ. Виконанні дослідження змін експлуатаційних властивостей декоративного каменю внаслідок дії корозійних процесів дозволило встановити, що між межею міцності каменю на стиск і відносною площею корозійного руйнування поверхні лабрадоритів, а також між швидкістю корозії й межею міцності на стиск існує тісний кореляційний зв'язок експоненційного характеру, що підтверджено значеннями коефіцієнту Пірсона ($r=0,86-0,99$).

Між швидкістю корозії й межею міцності на стиск та між водопоглинанням і швидкістю корозії характер зв'язку описується поліномом другого порядку незалежно від виду декоративного каменю.

Такий підхід дозволяє визначити термін стійкості лабрадориту під дією шкідливих чинників навколишнього середовища залежно від наявних хімічних домішок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Видобування природного каменю. Геолого-промислова і технологічна оцінка родовищ природного каменю: навч. посібник / М.Т. Бакка, О.Х. Кузьменко, Л.С. Сачков. – К., 1993. – 352 с.
2. Клочко И.И. Антропогенное воздействие и изменение параметров физико-механических свойств горных пород при их добыче // Вісник Донецького інституту соціальної освіти. Серія Геогра-

фія. Т. IV. – № 4/2008. – С. 30–35.

3. Архітектурні та технологічні аспекти використання природного каменю в будівництві: ретроспектива і дійсність / М.Т. Бакка, С.О. Жуков, В.І. Єфіменко // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2005. – Вип. 9. – С. 186–191.

4. Зеленцов Д. Г. Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.

5. Екологія гірничого виробництва / М.Т. Бакка, І.Л. Гуменик, В.С. Редчиць. – Житомир: РВВ ЖДТУ, 2004. – 306 с.

6. Наружная и внутренняя облицовка зданий природным камнем [учеб. для проф.-тех.уч-щ] / В.И. Малин, В.И. Дамьё-Вульфсон. – М.: Высшая школа, 1981. – 304 с.

7. Малин В.И. Облицовка поверхностей природным камнем. – М.: Высшая школа, 1981. – 304 с.

8. Камських О.В. Хімічне вивітрювання високоміцних декоративних гірських порід в облицюванні споруд // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир, 2004. – № 4 (31). – С. 216–218.

9. Камських О.В. Дослідження впливу агресивного кислотного середовища на корозійну стійкість декоративного каменю // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир, 2007. – № 1(40). – С. 173–176.

10. Дослідження фізико-хімічних властивостей природного каменю та їх зміни / С.О. Жуков, С.В. Тищенко, О.В. Камських // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 8. – С. 32–37.

11. Кратковский И. Л. Совершенствование технологии добычи облицовочного камня с использованием энергии взрыва / И. Л. Кратковский // Збірник «Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва». Науково-виробничий збірник: Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009(3). – С. 40–46.

DETERMINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL KINETICS OF LABRADORITE WEATHERING

A. Kamskikh

Zhytomyr State Technical University

vul. Chernyakhovskogo, 103, Zhytomyr, 10005, Ukraine. E-mail: kamskihaleksandr@rambler.ru

The author has considered the environmental factors affecting the strength characteristics of ornamental stones, in particular, labradorite, such as low-temperature, chemical, salt and mechanical weathering, alternate wetting and drying, temperature variations at absolute humidity, fissuring increase because of inherent flaws of the mineral and its products. It is found experimentally that there is a zone of tension and compression in crystal rocks, akin to those in the metal articles but of different quantitative and qualitative features. It is proved that labradorite strength depends on such

environmental conditions as chemical aggressiveness and humidity. Physical and chemical kinetic correlations between labradorite weathering rate, its fissuring rate and compression resistance limits.

Key words: weathering, labradorite, environmental factors, physical and chemical kinetics.

REFERENCES

1. Bakka, M.T., Kuzmenko, O.Kh., Sachkov, L.S. (1993), *Vydobuvannia pryrodnogo kamenu. Geologo-promyslova i tekhnologichna otsinka rodovysch pryrodnogo kamenu* [Natural stone quarrying. Geological-industrial and technological assessment of natural stone deposits], tutorial, Kyiv, Ukraine.
2. Klochko, I.I. (2008), "Anthropogenic impact and change in physical and mechanical properties of rocks during the rocks production", *Visnyk Donets'kogo Instytutu Sotsialnoi Osvity, series: Geography*, vol. IV, no. 4, pp. 30–35.
3. Bakka, M.T., Zhukov, S.O., Ephimenko, V.I. (2005), "Architectural and technological aspects of natural stone use in construction: retrospective view and reality", *Visnyk Kryvorizkogo Technichnogo Universytetu*, Kryvyi Rig, iss. 9, pp. 186–191.
4. Zelentsov, D.G. (2002), *Rasschet konstruksii s izmeniyuscheisia geometriei v agressivnykh sredakh* [Substatic structural calculations for aggressive environment. Substatic frame systems], UGKhTU, Dnipropetrovsk, Ukraine.
5. Bakka, M. T., Gumenik, I. L., Redchyts, V. S. (2004), *Ekologiya girnychogo vyrobnytstva* [Mining ecology], RVV ZhDTU, Zhytomyr, Ukraine.
6. Malin, V.I., Damje-Vulfson, V.I., (1981), *Naruzhnaya i vnutrenniaya oblitovka zdaniy prirodnyam kamnem* [Outside and inside natural stone dressing of buildings], textbook, Vysshaya Shkola, Moscow, Russia.
7. Malin, V.I. (1981), *Oblitovka poverkhnostei prirodnyam kamnem* [Natural stone facing of surfaces] textbook, Vysshaya Shkola, Moscow, Russia.
8. Kamskikh, O.V. (2004), "Chemical weathering of high-strength ornamental rocks in building facing", *Visnyk ZhDTU. Technichni nauky*. Zhytomyr, Ukraine, no. 4(31), pp. 216–218.
9. Kamskykh, O.V. (2007), "Study of impact of aggressive acid environment on corrosion resistance of ornamental stone", *Visnyk ZhDTU. Technichni nauky*. Zhytomyr, Ukraine, no. 1(40), pp. 173–176.
10. Kamskikh, O.V., Zhukov, S.O., Tyschenko, S.V. (2008), "Study of physical and chemical properties of natural stone and their variations", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 8, pp. 32–37.
11. Kratkovskii I.L. (2009), "Technology improvement for facing stones quarrying using blasting energy", *Modern resource-saving technology of mining industry, collected works*, KrNU, Kremenchuk, Ukraine, iss. 1(3), pp. 40–46.

Стаття надійшла 19.04.2013.