

*В.В. ПЕГЛОВСКИЙ,  
кандидат технических наук  
ИБЦ «АЛКОН» НАН Украины*

## Исследование влияния содержания оксида алюминия в химическом составе природных камней на их физико-механические свойства

*Проведено дослідження впливу вмісту оксиду алюмінію в хімічному складі природних каменів на їх твердість за Моосом та щільність.*

*The effect of aluminum oxide on the Mohs hardness and density of some types of natural stones has been discussed.*

**В** настоящее время в производственно-технических и художественно-декоративных целях используется около 150 видов природных камней [1]. При механической обработке таких камней некоторые из них, например мраморные ониксы и мраморы, могут обрабатываться обычными лезвийными инструментами, а другие, например халцедон, жадеит, являются труднообрабатываемыми даже с применением алмазного инструмента.

При исследовании трудоемкости обработки, являющуюся нормативным показателем качества изделий из природного камня [2], обычно определяют трудоемкость обработки одних камней относительно других [3–5] или распределяют природные камни в группы по обрабатываемости [6] в зависимости от физико-механических свойств, трудоемкости и энергоемкости обработки.

В настоящее время достоверно не ясно, какие именно факторы приводят к формированию у природных камней тех или иных физико-механических свойств, хотя известно, что определенную роль в формировании этих свойств играют: условия образования природ-

ного камня (температура, давление, время образования, взаимодействие образовавшегося субстрата с внешней средой); вид камня (минерал или горная порода); вид минерала (монокристалл или поликристалл); вид кристаллической решетки, присущей тому или иному минералу; минералогический и химический состав природного камня и некоторые другие.

Поэтому исследование влияния компонентов химического состава природных камней на их физико-механические свойства является актуальной задачей для повышения эффективности камнеобрабатывающего производства.

В качестве исследуемых физико-механических свойств природного камня возьмем те, которыми пользуются при оценке и диагностике полудрагоценных камней [7], а именно твердость по Моосу и плотность минералов или пород.

Если считать, что большинство природных камней являются силикатными системами с различным содержанием разнообразных элементов, то по аналогии с другими силикатными системами, например

стеклом или керамикой, можно выявить определенное совпадение закономерностей.

В частности, при изучении физико-механических свойств силикатных систем (стекла) в работе [8] приводятся выражения для расчета физических (плотность) и прочностных (прочность на сжатие и растяжение) свойств различных видов стекол, в которых физико-механические свойства стекла зависят от наличия в их составе различных оксидов, степень влияния которых определяется соответствующими коэффициентами.

На влияние различных компонентов состава некоторых поликристаллических систем, например технической керамики, указывают также авторы работы [9].

По аналогии со стеклом [8] можно предположить, что на выбранные свойства природных камней также оказывают влияние количество и процентное содержание химических соединений, входящих в состав природных камней:

$$T_M, \rho = f(\rho_m, c_m),$$

где:  $T_M$  – твердость по Моосу;  $\rho$  – плотность;  $p_m$  – содержание химических соединений в определенном виде камня;  $c_m$  – выбранные виды химических соединений;  $m$  – количество химических соединений, учитываемое при проведении исследования.

В составе природных камней присутствуют две основные большие группы химических компонентов – оксиды и карбонаты. Если рассматривать оксиды, то наиболее широко распространенными в составе природных камней, безусловно, являются: оксиды кремния ( $SiO_2$ ), алюминия ( $Al_2O_3$ ), железа ( $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ), кальция ( $CaO$ ) и магнезия ( $MgO$ ), калия ( $K_2O$ ), натрия ( $Na_2O$ ), которые занимают наибольшую в процентном отношении часть в химическом составе природных камней.

Кроме того, в составе природных камней присутствуют и другие оксиды: титана ( $TiO_2$ ), марганца ( $MnO$ ), меди ( $CuO$ ), фосфора ( $P_2O_5$ ) и некоторые другие.

Оксиды титана, магнезия и фосфора содержатся в незначительных количествах, как правило, до 1 %, некоторые другие содержатся только в редких видах камней, например оксид меди в малахите или оксид марганца в родоните.

В данной статье рассматриваются изменения двух основных показателей физико-механических свойств природных камней, а именно – твердости по Моосу ( $T_M$ ) и плотности ( $\rho$ ), в зависимости от процентного содержания в их составе оксида алюминия:  $T_M, \rho = f(Al_2O_3)$ .

Причем из всего многообразия природных камней рассматриваются только те их виды, которые в соответствии с принятой в Украине классификацией [10] относятся к полудрагоценным и декоративным.

В дальнейшем предполагается осветить влияние на рассматриваемые свойства и других, упомянутых выше, компонентов химического состава природного камня, а также рассмотреть влияние этих компонентов на другие показатели физико-механических свойств.

Классифицируя природные горные породы по обрабатываемости [6], их разделяют на 5 групп в зависимости от ряда физико-механических свойств: твердости по Моосу, микротвердости, пределу прочности на сжатие, химическому и минералогическому составу и другим параметрам. Например: кремль и камни халцедоновой группы имеют высокие значения твердости по Моосу (7 у. е.), а нефриты и жадеиты

имеют значительно более высокие значения предела прочности на сжатие (более 300 МПа).

Исходя из имеющегося опыта изготовления изделий из природного камня, из всех его видов были выбраны пять подгрупп (по два вида камня в каждой), близких по обрабатываемости [6], но с различным (по возможности наименьшим и наибольшим) процентным содержанием оксида алюминия.







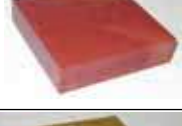





В таблице представлены данные о химическом составе выбранных видов природного камня и содержании оксида алюминия. Данные получены в результате анализа опубликованных материалов [3–6; 11–16].

На рисунке 1 показана зависимость изменения твердости по Моосу от содержания в химическом составе природного камня оксида алюминия, аппроксимированная линейно с использованием метода наименьших квадратов [17]. Обозначения точек на рисунках приведено в соответствии с наименованиями камней в таблице.

Данные о твердости природных камней по Моосу являются усредненными значениями, полученными из известных литературных материалов [3–6; 11–16].

Таблица. Процентное содержание оксида алюминия в химическом составе выбранных видов природных камней

Наименование. Месторождение или торговая марка, страна	$Al_2O_3$ (%)	Прочие оксиды <sup>1</sup> (%)	Прочие компоненты (%)	Внешний вид камня
1.1. Мраморный онисс. Карлюкское, Казахстан	0,0	56,0	44,0	
1.2. Флюорит	29,7	45,6	15,9	
2.1. Мрамор. Кибик-Кордонское, Россия	0,5	58,4	41,1	—
2.2. Мрамор. TISD, Индия	1,0	79,4	19,6	
3.1. Обсидиан. Армения	17,4	77,7	4,9	
3.2. Обсидиан. Арагацкое, Армения	13,5	76,6	9,9	

Наименование. Месторождение или торговая марка, страна	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Прочие оксиды <sup>1</sup> (%)	Прочие компоненты (%)	Внешний вид камня
4.1. Скарн датолитовый. Дальневосточное, Россия	3,5	69,4	27,1	
4.2. Серпентинит. Чусовское, Россия.	25,0	63,8	11,2	
5.1. Лабрадорит. Головинское, Украина	26,2	69,2	4,6	
5.2. Беломорит. Россия	24,3	69,5	6,2	
6.1. Родонит. Россия	16,7	63,8	19,5	
6.2. Амазонит. Россия	20,5	79,0	0,5	
7.1. Кварцит. Шокшинское, Россия	3,1	95,8	1,1	
7.2. Окаменелое дерево. Украина	4,6	94,2	1,2	
8.1. Халцедон. Джамбульское, Казахстан	1,8	98,1	0,1	
8.2. Кварц. Украина	2,5	97,3	0,2	
9.1. Нефрит. Кольское, Россия	5,7	81,6	12,7	
9.2. Нефрит. Восточно-Саянское, Россия	2,5	96,1	1,4	
10.1. Жадеит. Северо-Прибайкальское, Россия	28,0	65,9	6,1	
10.2. Жадеит. Северо-Уральское. Россия	25,2	62,9	11,9	

<sup>1</sup>Оксиды кремния, железа, кальция и магния.

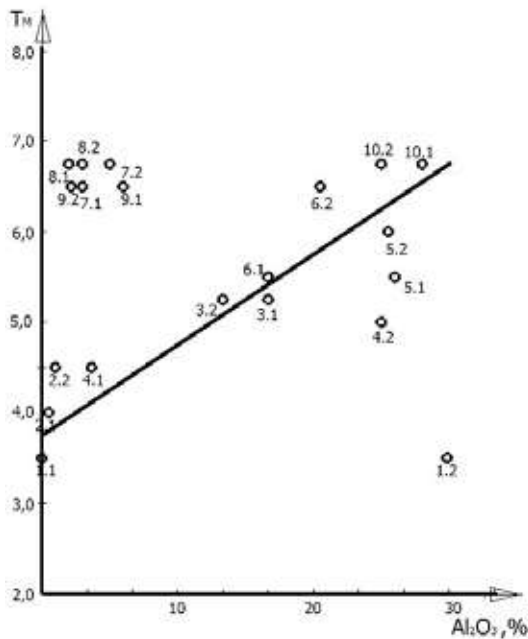


Рисунок 1. Зависимость твердости по Моосу ( $T_M$ ) некоторых видов природных камней от наличия в их химическом составе оксида алюминия

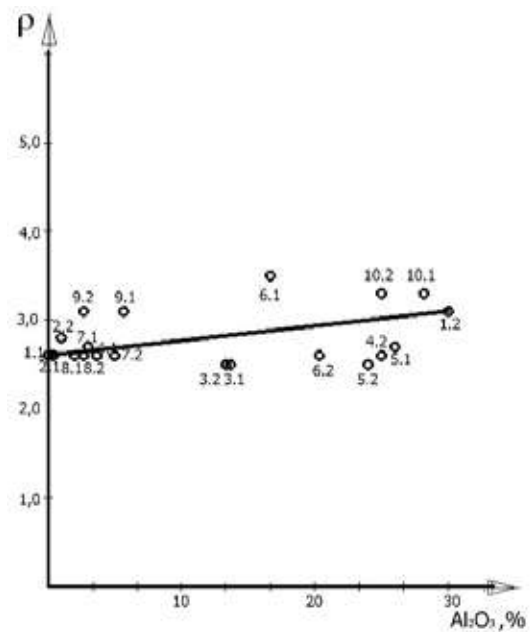


Рисунок 2. Зависимость плотности ( $\rho$ ) некоторых видов природных камней от наличия в их химическом составе оксида алюминия

Рассматривая зависимость  $T_M = f(\text{Al}_2\text{O}_3)$ , можно установить, что с возрастанием оксида алюминия в химическом составе исследуемых видов природного камня твердость по Моосу значительно возрастает. Возрастание составляет около 80 %.

Несовпадение этой общей зависимости для кремниев и халцедонов (точки 7.1–8.2) можно отнести на счет влияния высокого содержания в их составе оксида кремния.

Отклонение значений для нефритов (точки 9.1–9.2) обусловлено пересечением влияний оксидов кремния и алюминия, а отклонение значений для флюорита (1.2) – влиянием других компонентов, исследование которых предполагается провести в дальнейшем.

Угол наклона прямой может быть определен известными методами [17; 18].

Возрастание твердости по Моосу с увеличением содержания оксида алюминия выявлено в подгруппах мраморов, серпентинитов, яшм, кремниев и халцедонов.

На рисунке 2 показана зависимость изменения плотности природного камня от содержания в его химическом составе оксида алюминия аналогично первому случаю. Данные о плотности природных камней являются усредненными значениями, полученными так же, как и ранее.

Рассматривая зависимость  $\rho = f(\text{Al}_2\text{O}_3)$  можно установить, что с возрастанием в химическом составе природного камня оксидов алюминия от 0 до 30 % плотность природного камня возрастает примерно на 20 %.

Возрастание выявлено в некоторых из рассматриваемых подгрупп (мраморных ониксах, мраморах, гранитах и халцедонах).

Следует отметить, что, в отличие от содержания в природных камнях, например оксида кремния, интервалы изменения содержания оксида алюминия лежат в пределах от 0 до 30 %. Как влияет дальнейшее возрастание содержания оксида алюминия в химическом составе природных камней, нами не рассматривается из-за отсутствия достаточного количества видов природных камней с содержанием более 30 % этого компонента в остальном интервале. Среди известных камней можно лишь отметить топаз (содержание оксида алюминия 62 %) и корунд (рубин, сапфир) примерно со 100 % содержанием оксида алюминия.

Отсюда можно сделать предварительный вывод о том, что в дальнейшем физико-механические свойства природных камней при возрастании содержания оксида алюминия изменяются следующим образом: твердость по Моосу увеличивается до значения 9,0, а плотность – до 3,95–4,1.

Рассматривая влияние оксидов алюминия на исследуемые свойства природных камней, можно сделать предположение, что и другие физико-механические свойства природного камня (прочность на сжатие, твердость по склерометру, истираемость и обрабатываемость) также существенно зависят от содержания оксида алюминия в их составе.

### Выводы

Рассмотрев влияние содержания оксида алюминия в химическом составе природных камней, установили, что увеличение его содержания приводит к значительному возрастанию твердости природного камня по Моосу и некоторому увеличению его плотности.

**Использованная литература**

1. *Белицкая Э.И.* Художественная обработка цветного камня // Учебник для средн. проф.-техн. училищ. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 200 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-16–95. Строительные материалы. Материалы стеновые каменные. Номенклатура показателей качества. Дата введения 01.07.1995 г.
3. *Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М.* Оброблюваність природного каміння – об'єктивна основа його класифікації. Частина 4. // Коштовне та декоративне каміння. – 2010. – № 1 (59). – С. 12-16.
4. *Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М.* Оброблюваність природного каміння – об'єктивна основа його класифікації. Частина 5. // Коштовне та декоративне каміння. – 2010. – № 2 (60). – С. 4-11.
5. *Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М.* Оброблюваність природного каміння - об'єктивна основа його класифікації. Частина 7. // Коштовне та декоративне каміння. Науково-практичний журнал. – 2010. – № 4 (62). – С. 10-15.
6. *Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М.* Оброблюваність природного каміння – об'єктивна основа його класифікації. Частина 8. // Коштовне та декоративне каміння. – 2011. – № 1 (63). – С. 16-22.
7. *Индутная Т.В.* Полудрагоценные камни / Методическое руководство по диагностике и экспертизе. – Киев: ГГЦ, 1997. – 43 с.
8. *Китайгородский И.И. Сильвестрович С.И.* Справочник по производству стекла. Т. 1. – М.: ГИЛПСАИМС, 1963. – 1026 с.
9. *Ваксер Д.Б., Иванов В.А., Никитков Н.В., Рабинович В.Б.* Алмазная обработка технической керамики. – Л.: Машиностроение, 1976. – 160 с.
10. Постановление Кабинета Министров Украины № 512 от 27.07.1994 «Об общей стоимости и оценке стоимости естественных камней».
11. *Сенкевич Н.Н.* Методические указания по поиску и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 6. – Жадит / Под ред. Е. А. Киевленко. – М.: ЦСПХП Мингеологии СССР ВГФ, 1975. – 56 с.
12. *Замалетдинов Р.С.* Методические указания по поиску и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 3. – Нефрит. / Под ред. Е.А. Киевленко. – М.: Изд. ЦСПХП Мингеологии СССР ВГФ, 1974. – 49 с.
13. *Смертенко В.М.* Методические указания по поиску и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 7. – Берилл и топаз. / Под ред. Е.А. Киевленко. – М.: Изд. ЦСПХП Мингеологии СССР ВГФ, 1975. – 70 с.
14. *Григорович М.Е.* Методические указания по поиску и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 12. – Декоративно-облицовочные камни / Под ред. Е.А. Киевленко. – М.: ЦСПХП Мингеологии СССР ВГФ, 1977. – 90 с.
15. *Григорович М.Е., Арифлулова Т.Е.* Методические указания по поиску и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 14. – Окаменелое дерево и рисунчатый кремень / Под ред. Е.А. Киевленко. - М.: ЦСПХП Мингеологии СССР ВГФ, 1976. – 60 с.
16. Отчет ИСМ НАН Украины по НИР 0932 (арх. №2629) «Исследование процессов взаимодействия алмазноносного слоя разрушаемым материалом и создание эффективных конструкций инструмента и всего технологического цикла обработки природных и искусственных строительных материалов, в том числе на автоматизированных и поточных линиях». Гос. рег. №76099905. / Руководители: Кислый П.С., Александров В.А., Ляхов В.Н. – Киев. – 1979. – 437 с.
17. *Виноградов Ю.С.* Математическая статистика и ее применение к исследованиям в текстильной и легкой промышленности / – М.: Легкая индустрия, 1964. – 320 с.
18. *Кудрявцев Е.М.* Mathcad 2000 Pro. – М.: АМК, 2001. – 572 с.