

УДК 552.12

М.Ю. Поваренных¹, Е.Н. Матвиенко², В.А. Рассулов³

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
"Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН"
117861, г. Москва, Россия, ул. Обручева, 30а, корп. В
E-mail: mpovarennykh@mail.ru

² Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН
117071, г. Москва, Россия, Ленинский пр., 18, корп. 2
E-mail: ematvienko@mail.ru

³ Федеральное государственное унитарное предприятие
"Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н.М. Федоровского"
119017, г. Москва, Россия, Старомонетный пер., 31
E-mail: rassulov@mail.ru

О СКРЫТОЙ ТЕКСТУРЕ (ФРУСТУМАЦИИ) ПРОСТЫХ ПО МИНЕРАЛЬНОМУ СОСТАВУ ГОРНЫХ ПОРОД

Развитие в синергетическом смысле идей В.И. Драгунова и академика Д.В. Рундквиста об элементарных ячейках горных пород и академика М.А. Садовского о дискретности геофизической среды ("естественной кусковатости") привело к установлению нового макроскопического горнопородного явления — первичной кусковатости или фрустумации (*лат.* "фрустум" — кусок), сначала для простых по минеральному составу и генезису, а затем и для полиминеральных и сложных по генезису горных пород. Предпосылки этого содержатся в работах С.М. Бескина, А.Г. Жабина, И.С. Делицина, А.Н. Никитина, О.А. Суставова, Н.З. Евзиковой, В.В. Индутного, М.Ю. Поваренных, а еще ранее в статье Д.С. Коржинского о локальном ("мозаичном") равновесии в неравновесных геологических процессах и в работах В.Ф. Левинсон-Лессинга. Для выявления петрологической сущности фрустумации горных пород проведен комплекс разномасштабных исследований (от нано- до дециметрового уровня) наиболее простых по минеральному составу и генезису пород с использованием традиционных минералогическо-петрографических методов и нейтронографического изучения текстур (метод малоуглового рассеяния нейтронов *SANS*), лазерно-ультразвуковой спектроскопии, УФ-люминесценции и сканирующей электронной микроскопии. Предполагается, что изучение этого нового макроскопического свойства горных пород даст возможность по-новому рассмотреть проблему их дробимости и обогатимости (включая крупнокусковую) связанных с ними металлических руд и неметаллических полезных ископаемых.

Ключевые слова: элементарная ячейка горных пород, фрустум, кусок, агрегат минеральных зерен, УФ-люминесценция, лазерно-ультразвуковая спектроскопия, метод малоуглового рассеяния нейтронов, сканирующая электронная микроскопия.

Вступление. Идея о том, что горные породы сложены не только минеральными зёрнами, но и минимальными по размеру закономерными их агрегатами, трансляцией которых при помощи симметричных операций можно полностью воспроизвести строение породы ("элементарными ячейками"), была высказана в конце 1970-х гг. (Драгунов [10]; Васильев,

Драгунов, Рундквист [5]). К выводу о сущностном значении при классификации редкометалльных гранитов их *макрооблика* ("структурной формулы") пришли С.М. Бескин, В.И. Ларин и Ю.Б. Марин [2, 32]. Они феноменологически установили закономерную приуроченность разнотипного редкометалльного оруденения к гранитам трех *макрофизиографических типов* (так называемым, А-, Б- и В-гранитам). *Закономерную агрегативность* зерен кварца в мономинеральных кварцевых поро-

© М.Ю. ПОВАРЕННЫХ, Е.Н. МАТВИЕНКО,
В.А. РАССУЛОВ, 2014

дах (наличие устойчивых их ансамблей, содержащих не менее 25 минеральных зерен), начиная от осадочных нецементированных песков и песчаников до метаморфогенных кварцито-песчаников, установил И.С. Делицин [7, 8]. Результаты наблюдений взаимной ориентировки кварцевых зерен и образования *закономерных агрегатов* в мономинеральных кварцевых жилах приведены в статьях А.Н. Никитина [21] и О.А. Суставова [37]. Попытки визуализировать пространственную регулярность в гранитах и ряде других горных пород с помощью дифракции субмиллиметрового радиоволнового излучения предпринимались Р.Л. Бродской и др. [3, 4]. В работах В.В. Индугного и его коллег [15, 16] по структурной петрологии описана примечательная *макрофизиография* ("каркасное строение") кальцифиров Завалья, карбонатитов Черниговской зоны Украинского щита (Приазовье), а также апатит-карбонат-магнетитовых руд Ковдорского месторождения (Кольский п-ов).

В более общем плане академиком М.А. Садовским [33—36] высказана идея о дискретности геофизической среды ("*естественной кусковатости*"). Для горных пород суть ее состоит в установленном квантовании размера продуктов их разрушения путем взрыва. Им же установлена так называемая иерархическая шкала кусковатости с "преимущественными" размерами кусков. Подобные выводы об иерархичности структурной организации геологических тел сделали Н.З. Евзикова [11], Н.П. Юшкин и А.Г. Жабин — о разноуровневом квантовании геологического пространства — времени (Жабин [13]; Жабин, Юшкин [14]). Д.С. Коржинским [17] выдвинуто положение (не конкретизированное в минерально-структурном плане и без указаний на возможность его визуализации в горных породах) о "*локально-мозаичном*" равновесии в неравновесных природных геологических процессах.

Нам с помощью минералого-петрографических методов изучения вещества удалось установить ранее не известное макроскопическое горнопородное явление — *первичную кусковатость* (или скрытую текстуру) сначала для простых по минеральному составу и генезису, а затем и для полиминеральных и сложных по генезису визуально однородных и нетрещиноватых горных пород [22, 27, 52]. В отличие от установленного дробления горных пород на дискретные гранулометрические фракции (это

явление названо "*естественной кусковатостью — блочностью*") (Садовский [35—37]; Садовский и др. [38]), нами в *неразрушенных* горных породах обнаружена *первичная кусковатость* — скрытая текстура, существующая до разрушения и, возможно, регулирующая его. Поэтому установленное явление предлагается называть *фрустумацией* (от лат. *frustum* — кусок) (М.Ю. Поваренных [23], М.Ю. Поваренных, Бескин [27], Povarennykh et al. [52], М.Ю. Поваренных [24]). Способы обнаружения этого явления описаны нами ранее [22]. Фрустумация, в отличие от текстуры горных пород, которая наблюдается невооруженным глазом, — это в большинстве случаев скрытое (неочевидное) их свойство, выявляемое специальными методами. По масштабу проявления (от долей миллиметра до дециметра—полтора) она меньше или равна текстуре. Природа фрустумации в породах различного генезиса в настоящее время изучается и, по видимому, может быть связана с такими явлениями, как ликвация, синнезис (Жабин [10, 11]; Жабин, Юшкин [12, 13]), трибо-эффект (Делицин [7]), образование ячеек Бенара (вихрей) (Nicolis, Prigogine [51] и др. [45, 49]), природными электромагнитными эффектами (М.Ю. Поваренных [22] и вследствие теории ДЛФО для коллоидных систем), а также с внешними стрессовыми напряжениями.

Методика исследований. Фрустумация горных пород была нами впервые выявлена при воздействии коротковолнового (*SWUV*) ультрафиолетового (УФ) излучения ($\lambda = 254$ нм) на некоторые образцы каррарского статуарного мрамора и другие горные породы различного генезиса. Люминесцентные исследования были проведены с использованием ртутно-кварцевой лампы высокого давления СВД120 ($\lambda = 365$ нм) как источника возбуждения. Фрустумы в каррарском (Тоскана, Италия) и кибик-кордонском (Башкирия, Россия) кальцит-доломитовых мраморах, большетагнинском кальцитовом карбонатите (Россия) и амзонит-альбитовом этыкинском танталоносном граните (Восточное Забайкалье, Россия) были визуализированы по ярко-голубому свечению люминесценции с полосой в районе 490 нм, которое может быть приписано [47] излучению дефектных кислородных комплексов (рис. 1).

Интенсивность люминесценции в соседних фрустумах (темно-фиолетового цвета) в этих

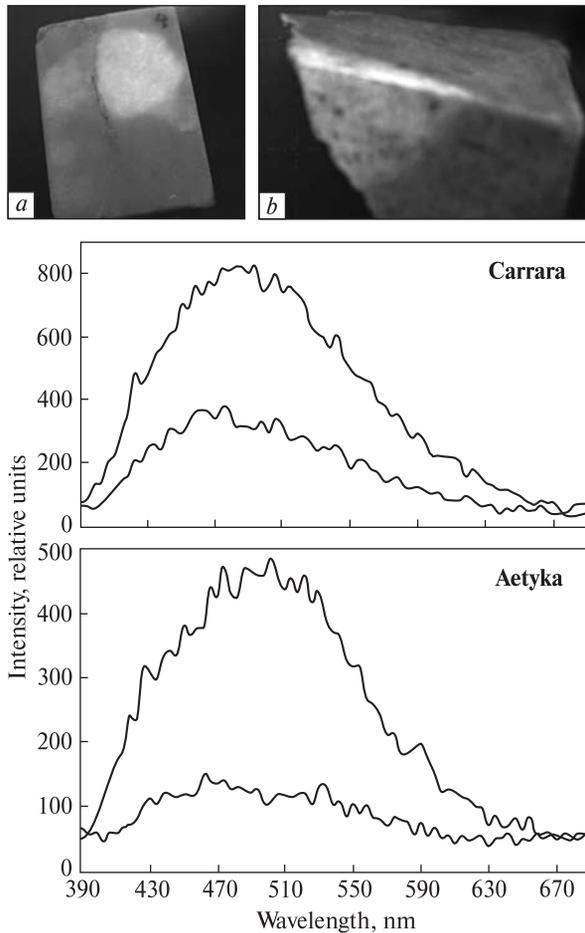


Рис. 1. Фрустумация: *a* — в каррарском доломит-кальцитовом мраморе (Тоскана, Италия) и *b* — этыкинском мелкозернистом равномерном граните (Восточное Забайкалье, Россия). Два типа фрустумов, выявленных при жестком УФ-облучении: светящийся ярко-голубым и темно-фиолетовым цветом люминесценции. Длина короткой грани образца на левом снимке — 3 см. Верхний спектр люминесценции на каждом графике относится к светло-голубому фрустуму, нижний — к темно-фиолетовому

Fig. 1. Frustumation in the Carrara dolomite-calcite marble (Toskana, Italy) (*a*) and Aetyka (Eastern Transbaikalia, Russia) fine-grained equal-grained amazonite-albitic granite (*b*). Frustums of two types revealed through SWUV irradiation: bright blue and dark violet colours of luminescence. Scale of the left photo: length of the sample edge — 3 cm. Upper spectrum of luminescence at both figures shows the bright blue frustum and lower one — dark violet

образцах горных пород была в два–три раза меньше, чем у фрустумов, визуализированных по их ярко-голубому свечению (рис. 1). Фрустумы в датолитовом скарне Дальнегорского (Россия) борного месторождения визуализированы по светло-желтому свечению Mn^{2+} с максимумом в районе 580 нм, люминесцен-

ции Eu^{2+} с полосой в районе 445 нм и Ce^{3+} с двумя полосами в районе 350 и 370 нм.

На дериватографах Q1000 (ИГЕМ РАН) и STA449 С "Jupiter" (МИСИС) в диапазоне температуры 100–900 °С получены дифференциально-термические характеристики вещества фрустумов, составляющих визуализированные ранее в жестком УФ-излучении образцы кибик-кордонского (КК) кальцит-доломитового и каррарского (К) доломит-кальцитового мраморов. Отмечена неэквивалентность минерального вещества разных фрустумов, составляющих КК- и К-мрамор: установлены значимые отличия в потере веса вещества из люминесцировавших голубым цветом фрустумов КК-мрамора от люминесцировавших темно-фиолетовым цветом: 43,3 и 45,1 % соответственно и 48,1 и 46,3 %, соответственно, для К-мрамора (рис. 2).

Порошковые образцы фрустумов, составляющих КК- и К-мрамор, исследованы на дифрактометрах ДРОН-3М (НПО "Буревестник") и "Rigaku" (химфак МГУ). При совмещении дифрактограмм вещества люминесцировавших светло-голубым и темно-фиолетовым цветом фрустумов отмечена идентичность по положению основных отражений доломита (как преобладающей минеральной фазы) и отличие их относительной интенсивности (наиболее явные на дальних углах по 2θ как для базальных, так и для hkl -отражений), что свидетельствует о разном содержании изоморфных между собой Ca^{2+} и Mg^{2+} [44] (рис. 3).

С помощью метода лазерной ультразвуковой эхоскопии (ультразвуковой импульсный метод отраженных волн) (Черепецкая, Шкурятник [39]) на установке, смонтированной в Международном лазерном центре МГУ им. М.В. Ломоносова, просканировано 26 отшлифованных внешне нетрещиноватых и однородных образцов горных пород дециметрового размера. В качестве источника возбуждения использовано излучение импульсного твердотельного Nd: YAG-лазера. По акустическому треку, полученному от образцов в режиме эхоскопии, и значению их толщины с учетом плоскопараллельности вычислена скорость распространения в них продольных упругих волн и глубины залегания дефектов, картина расположения которых в обработанном с помощью компьютерной программы виде выводилась на дисплей (рис. 4). Для всех исследованных образцов наблюдались разные картины неодно-

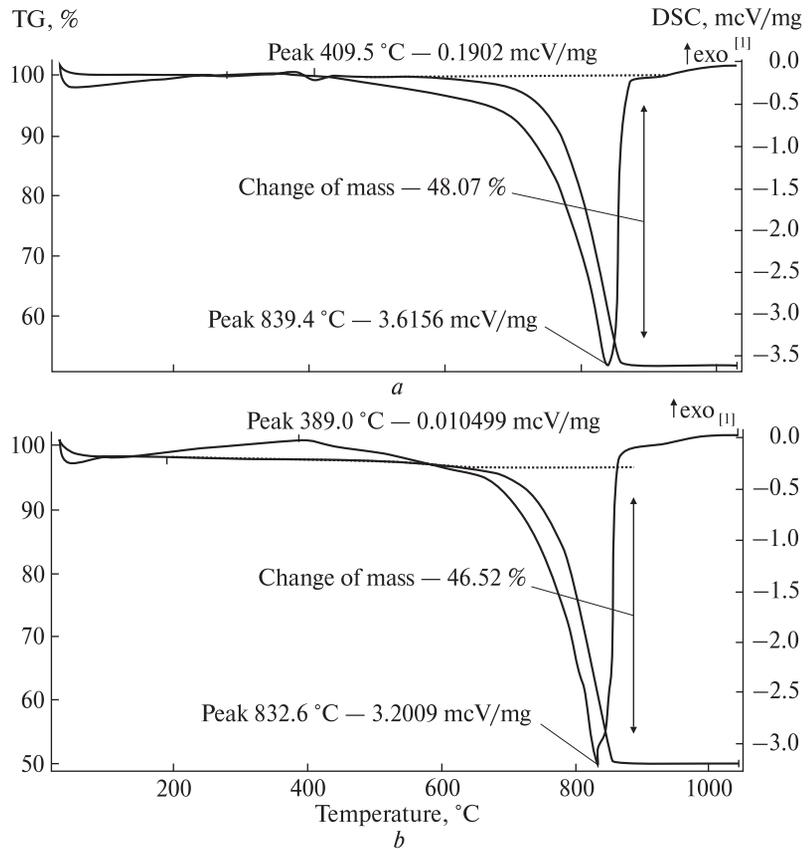


Рис. 2. Кривые ДТА вещества светло-голубого (а) и темно-фиолетового (б) фрустумов каррарского доломит-кальцитового мрамора

Fig. 2. Differential-thermic analysis curves of the mineral matter belonging to the bright blue (a) and dark violet (b) frustums of the Carrara (Italy) dolomite-calcite marble

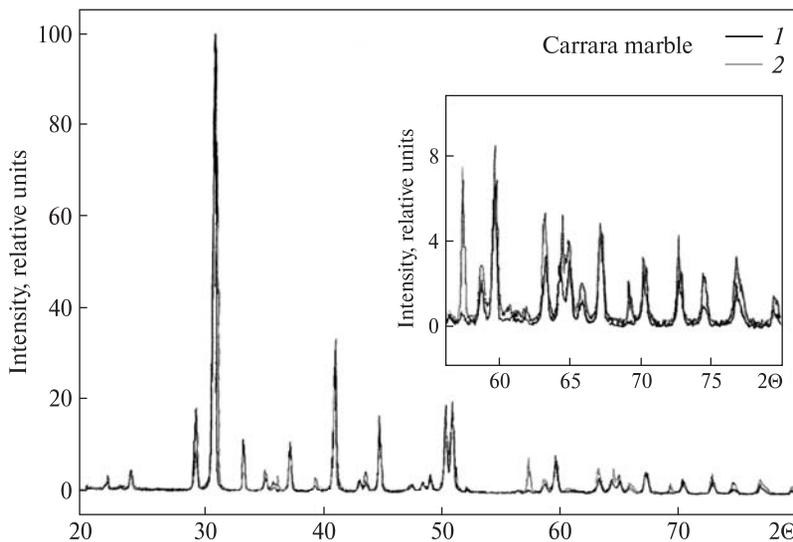


Рис. 3. Дифрактограммы двух типов фрустумов: светло-голубого (1) и темно-фиолетового (2) (по данным коротковолнового УФ-люминесцентного исследования) из образца каррарского доломит-кальцитового мрамора

Fig. 3. Diffraction patterns of two types of frustums: bright blue (1) and dark violet (2) (according to the results of SWUV-luminescence investigation) from the sample of the Carrara dolomite-calcitic marble

родного внутреннего строения, интерпретируемые как наличие закономерных агрегатов минеральных зерен (фрустумов), разграниченных между собой системами макроскопической трещиноватости (рис. 4).

Изучение разномасштабной трещиноватости проведено в образцах разных горных пород на малоугловом нейтронном спектрометре ЮМО реактора ИБР-2 (Дубна, Россия) с помощью метода *SANS* (малоуглового рассеяния

нейтронов) в двухдетекторном варианте. В качестве дальнего использован новый позиционно-чувствительный детектор. Измерения проведены в стандартной геометрии. Образцы закрепляли в держателе, который помещали в бокс с контролируемой температурой. Обработка данных проведена с помощью пакета программ *SAS* (Куклин и др. [18]). Рассеяние нейтронов идет на пористо-трещиноватых структурах внутри вещества изученных образцов гор-

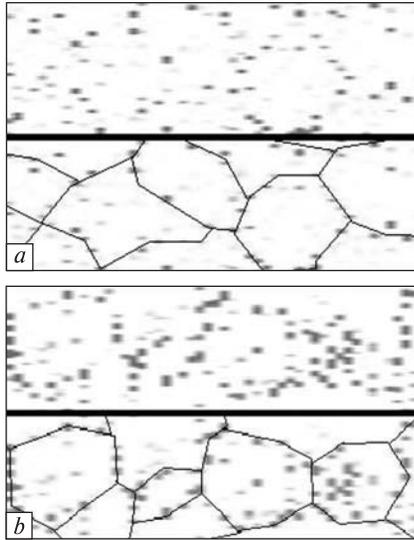


Рис. 4. Визуализация скрытой текстуры (фрустумации) простых по минеральному составу горных пород: *a* — кибик-кордонского мелко-среднезернистого кальцит-доломитового мрамора (Башкирия, Россия), *b* — кыштымского (Урал, Россия) мелко-среднезернистого гранулированного кварцита. Толщина образцов: 13 и 12 мм соответственно. Верхняя часть каждого рисунка — исходная картина, нижняя — ретушированная

Fig. 4. Visualization of cryptic structure (frustumation) of rock samples simple in mineralogical composition: *a* — Kibik-Kordonsky fine-medium-grained calcite-dolomite marble (Bashkiria, Russia), *b* — Kyshtymsky (Ural, Russia) fine-medium-grained granulated quartzite. Sample thicknesses: 13 and 12 mm, respectively. Upper part of each figure shows the real picture and the low one — retouched

ных пород. Такой сценарий подсказывает, правда косвенным образом, наличие как массового, так и поверхностного фрактала.

Наличие разных коэффициентов массовых фракталов свидетельствует о разной внутренней структуре минерального вещества на раз-

мерном уровне приблизительно от 4 до 60 нм для двух типов мрамора, но одним типе (массовом) фракталов (рис. 5; табл. 1).

Результаты исследований и их обсуждение. Вывод об обнаружении фрактальности (в области размеров ~4–60 нм) внутреннего строения исследованных внешне однородных нетрещиноватых равномерно- и мелкозернистых горных пород может быть интерпретирован следующим образом. Система **первичной ростовой зеренной** нанотрещиноватости (в области размеров ~4 нм), возникающая в приповерхностных частях зерен минералов *внутри фрустумов* в результате структурных напряжений из-за совместного и синхронного (так называемого стесненного, с индукционными поверхностями) роста, *наследуется на другом масштабном уровне* (в области размеров ~60 нм) системой **первичной ростовой агрегатной** (фрустумационной) *субмикротрещиноватости*, связанной с соприкосновением минеральных зерен, составляющих *разные фрустумы*.

Характерные размеры и форма фрустумов в исследованных горных породах существенно различаются. Наименьшие по числу их составляющих минеральных зерен фрустумы из мономинеральных горных пород (в частности, из силицитового кварцевого ядра танталоносного гранитного пегматита Калбы, Центральный Казахстан): около 20–30 зерен в сечении (площадь 1–2 см²) и 70–110 зерен в объеме. Фрустумы в исследованных полиминеральных танталоносных гранитах (этыкинском амазонит-альбитовом и зашихинском щелочном) содержат более 1000 минеральных зерен калиевого полевого шпата, кварца, альбита, литиевой слюды и аксессуарных минералов. Соотно-

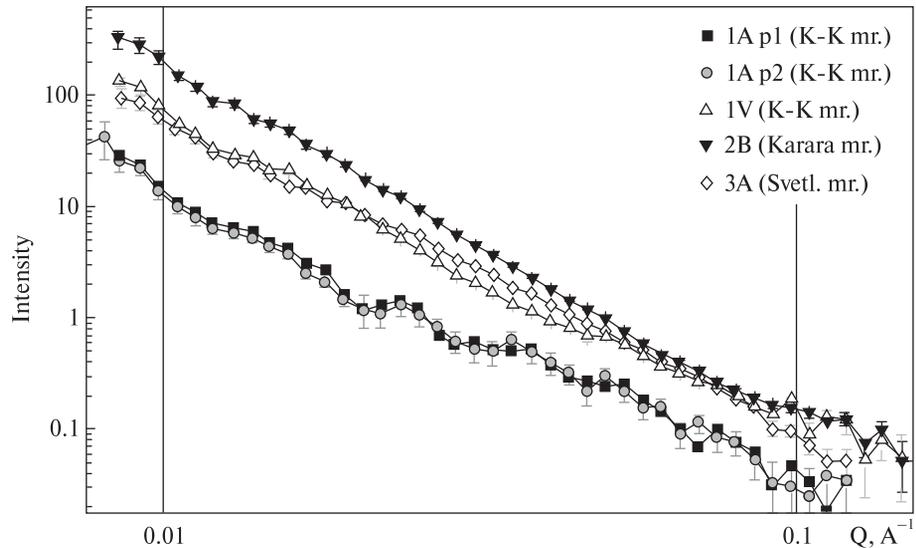
Таблица 1. Фрактальная размерность образцов горных пород по данным SANS (метод малоуглового рассеяния нейтронов)

Table 1. Fractal dimension of rock samples according to the results of the SANS (small-angle neutron scattering) investigation

Номер п/п	Образец горной породы и месторождение	Толщина образца, мм	Фрактальная размерность (± 0,1)	Тип фрактала
1	1А р1 (мрамор, Кибик-Кордон, Россия)	6,2	2,5	Массовый
2	1А р2 (мрамор, Кибик-Кордон, Россия)	6,2	2,4	"
3	1V (мрамор, Кибик-Кордон, Россия)	11,2	2,9	"
4	4В р1 (кварцит, Овруч, Украина)	10,35	2,3	Поверхностный
5	4В р2 (кварцит, Овруч, Украина)	11,8	2,4	"
6	6А (обсидиан, оз. Севан, Армения)	14,15	1,6	Линейно-поверхностный
7	2В (мрамор, Каррара, Тоскана, Италия)	12,4	2,7	Поверхностный
8	3А (мрамор, Светлинское, Россия)	5,85	2,7	Массовый

Рис. 5. Результаты исследования образцов кибик-кордонского (Башкирия, Россия) кальцит-доломитового, каррарского (Тоскана, Италия) кальцит-доломитового и светлинского (Урал, Россия) доломитового мраморов (метод SANS — малоугловое рассеяние нейтронов)

Fig. 5. Comparative data on the results of the SANS investigation of Kibik-Kordon-sky calcite-dolomite (Bashki-ria, Russia), Carrara (Tosca-na, Italy) calcite-dolomite and Svetlinsky (Ural, Russia) dolomite marble samples



шение между усредненными размерами фрустумов ("элементарных ячеек" горных пород) и выполняющих их минеральных зерен (элементарных компонентов) для большинства из исследованных наиболее простых по минеральному составу и генезису пород составляет $K_{\text{фруст}} = 100\text{--}150$ ("иерархический шаг"). Морфология фрустумов и способ выполнения ими горнопородных тел, судя по исследованным образцам, весьма прихотливая (рис. 6) и для ее описания, возможно, придется применять теорию фракталов (Mandelbrot [50], Шумков и др. [42]) и высшую симметрию — гомологию (Михеев [20], Шафрановский [40]).

Нами показано, что наиболее благоприятными модельными горными породами для изучения явления фрустуляции будут такие супертонкозернистые их представители, как опки, мергели и опалы (включая благородные) (М.Ю. Поваренных и др. [25, 26, 28, 29], Денискина и др. [9], Кульчицкая и др. [19], Тишкина [38], Sanders [43, 54] и другие [46]). С помощью просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии выяснено, что благородные опалы из осадочных и вулканогенных пород сложены однородными по размеру частицами кремнезема почти сферической формы диаметром 150—450 нм. Сферы эти по внутреннему строению не однородны, а сложены мелкими глобулами, т. е. являются вторичными образованиями.

Укладка первичных глобул внутри вторичных может быть как нерегулярной, хаотичной, так и правильной, закономерной. Известно, что "в осадочных благородных опалах первич-

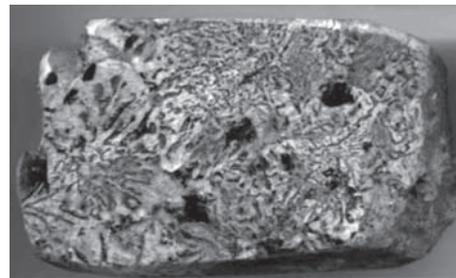


Рис. 6. Фрустумы в гранит-пегматите, состоящие из микроклина и дымчатого кварца (Корнинский гранитный массив, Украина), визуализируемые при обычном освещении. Длина образца — 7 см. Фото В.В. Морошкина (ФГУП "ВИМС", Москва, Россия)

Fig. 6. Frustums in granite-pegmatite consisting of microcline and smoky quartz (Korninsky granitic massif, Ukraine) visible under common light. Length of the sample — 7 cm. Photo by V.V. Moroshkin (FSUE "VIMS", Moscow, Russia)

ные глобулы имеют размер около 50 нм и укладываются внутри вторичной сферы правильными концентрическими слоями (таких слоев в сфере может насчитываться до шести). В благородных опалах из вулканических пород первичные глобулы имеют размеры около 10 нм и расположены внутри вторичной сферы беспорядочно" [9]. А уже эти вторичные сфероподобные частицы кремнезема слагают участки (кластеры, фрустумы) с однородным по объему (монодисперсным) распределением их по размеру. Свет дифрагирует в соответствии с преобладающим размером вторичных сфер и расстояниями между соседними интерстициями на своеобразной дифракционной решетке (при ~400—550 нм — цвета в холодных тонах, при ~555—770 нм — в теплых). Эти фрустумы,

однородно дифрагирующие свет и дающие, таким образом, иризацию однородного цвета (игру цвета — "play of colour"), могут варьировать в широких пределах как по своим размерам (0,05—5,5 мм), так и по форме (от сфероподобной, "грануломорфной" до прихотливой амёбовидной и перистой, рис. 7). Соответственно, будут называться "структуры и текстуры" (*patterns*) разных благородных опалов: *pin-fire* (мелкие разноцветные точечные цветовые пятна, по размеру похожие на булавочные уколы), *harlequin* (более крупные цветовые пятна, как лоскутное одеяло), *rolling flash* (цветовые сполохи, как бы перекатывающиеся по телу опала). Вариации размеров и форм фрустумов зависят, возможно, от условий консервации и "созревания" геля кремнезема (периоды без сильных землетрясений и локальных перепадов давления). Для искусственных благородных опалов (приготовленных по технологии "Накадзуми", Япония) размер фрустумов, визуализированных с помощью длинноволнового (LWUV) УФ-излучения, варьировал в плане от 0,3 до 1,3 мм, а их форма была прихотливой в плане и столбчатой в поперечном сечении (рис. 8, 9).

Отмечено, что наложенные процессы (альбитизация и окварцевание в гранитах, а также развитие рудной минерализации — колумбит-танталита, пирохлора и торита — в щелочном граните Зашихинского месторождения) наследуют границы фрустумов в качестве ослабленных зон в них и в какой-то степени подчеркивают их своим преимущественным распространением, в отличие от распространения циркона. Это свидетельствует о синхронном с фрустумацией в гранитах образовании циркона и более позднем и, возможно, постмагма-

тическом и автометасоматическом — тантало-ниобатов и торита (рис. 10).

Эти закономерности фрустумационного строения горных пород и руд могут быть использованы после их соответствующего предварительного исследования как при прогнозе дробимости, так и для возможного крупнокускового обогащения (табл. 2) и изменения схем технологического передела руд из этих месторождений (М.Ю. Поваренных [23, 25, 26]; М.Ю. Поваренных, Рассулов, Иньков, Коваленко, Вересов [30]; М.Ю. Поваренных, Матвиенко, Рассулов [29]).

В рамках вещественно-структурного подхода для горнопородного уровня организации вещества (УОВ), где исходным элементом (компонентом) — объектом предыдущего, минерального, УОВ служит минерал, а видом — парагенезис минералов (закономерный агрегат — "горнопородный индивид", по А.И. Белоусову [1]), или первичный кусок — *фрустум* (по М.Ю. Поваренных [23—26]), возникает настоятельная необходимость употребить помимо структурной характеристики еще и текстурную, вне зависимости от того, имеем ли мы дело с моноили полиминеральной горной породой (Геологический словарь, 1973 [6], Шахов [41]). Тогда текстура будет описываться на языке топологии парагенезисов минеральных зерен — фрустумов (их формы, размеров, связности, элементов высшей симметрии — гомологии заполняемого пространства) (Жабин, Юшкин [14] и др.; М.Ю. Поваренных, Жабин [26]). В этой связи получает новое подтверждение известное ранее положение о большей мобильности структурных рисунков агрегатов и значительно большей инертности (консервативности при метаморфизме) текстур и их

Таблица 2. Гранулометрический фракционный состав руд Зашихинского редкометалльно-гранитового и Большетагнинского редкометалльно-карбонатитового месторождений и преобладающий размер фрустумов в них
Table 2. Granulometric fraction analysis of the ores with the most abundant frustum dimension in it of the Zashikhinskoye rare-metal granitic and Bol'shetagninsky rare-metal carbonatitic deposits

Граниты Зашихинского месторождения (после дробления в щековой дробилке до 10 см, средний размер фрустумов 45—75 мм)						
Класс, мм	100 + 75	75 + 50	50 + 30	30 + 20	20	Сумма
Выход, %	0	59,9	29,8	7,0	6.3	100
Кальцитовые карбонатиты Большетагнинского месторождения (после дробления в щековой дробилке до 50 мм, преобладающий размер фрустумов 25—45 мм)						
Класс, мм	+50	50 + 25	25	Сумма		
Выход, %	8,01	61,02	30,97	100		

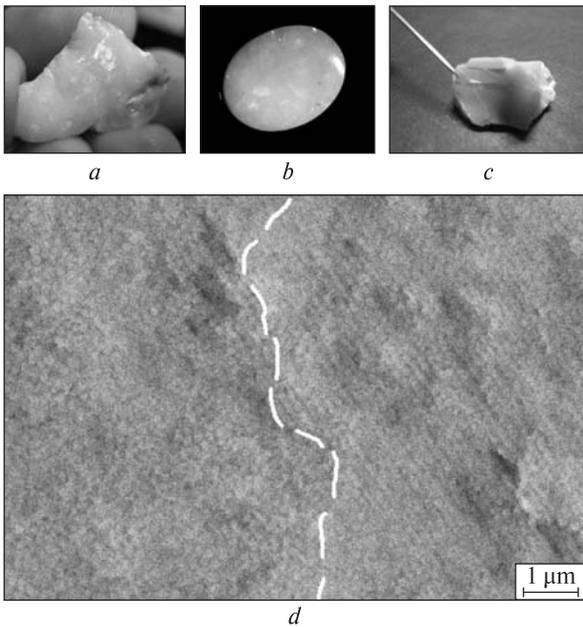


Рис. 7. Игра цвета (иризация) — естественная визуализация фрустуационного внутреннего строения благородного опала из месторождения Кубер-Педи, штат Южная Австралия. Размер фрустумов варьируется от 0,4 до 4,5 мм в диаметре. Длина необработанного образца (а) — 2,3—2,9 см и кабошона (b) — 1,5 см; с — две генерации опала (ранняя — обыкновенный, серовато-голубого цвета и поздняя — благородный, с иризацией в голубовато-синей гамме). Фрагмент опализированной раковины двустворчатого моллюска, длина — 2,4 см. Сбор одного из авторов (МЮП). Фото А.А. Евсеева (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН); d — нижняя граница I порядка прожилка благородного опала в обыкновенном опале (рис. 7, c) (ретуширована белым пунктиром). Растровый электронный микроскоп LEO SUPRA 50VP в режиме низкого вакуума (40 Па азота) во вторичных электронах при ускоряющем напряжении 20 кВ. Поверхность образца протравлена в 15%-м растворе HF в течение 60 с. Фото А.В. Кнотко (химический факультет МГУ)

Fig. 7. Play of colours (irisation) — natural visualization of the frustumation inner fabric of precious opal (Coober Pedy deposit, state South Australia). Frustum dimensions — 0.4—4.5 mm. Unprocessed sample (a) — 2.3—2.9 cm; length of cabochon (b) — 1.5 cm; c — two generations of opal (common grayish-blue colored — earlier and precious with irisation in blue-green tone — later). Fragment of completely opalized shell. Length — 2.4 cm. Gathered by one of the authors (MYP). Photo by A.A. Evseyev (Fersman Mineralogical Museum RAS); d — lower I-st rank boundary of the precious opal veinlet within the common opal (see Fig. 7, c), retouched with white dotted line. Scanning electron microscope LEO SUPRA 50VP in low (40 Pa of nitrogen) vacuum, secondary electrons, accelerating tension 20 kV. Sample etched with HF (15 % solution) during 1 min. Photo by A.V. Knot'ko (Chemical faculty, Moscow State University)

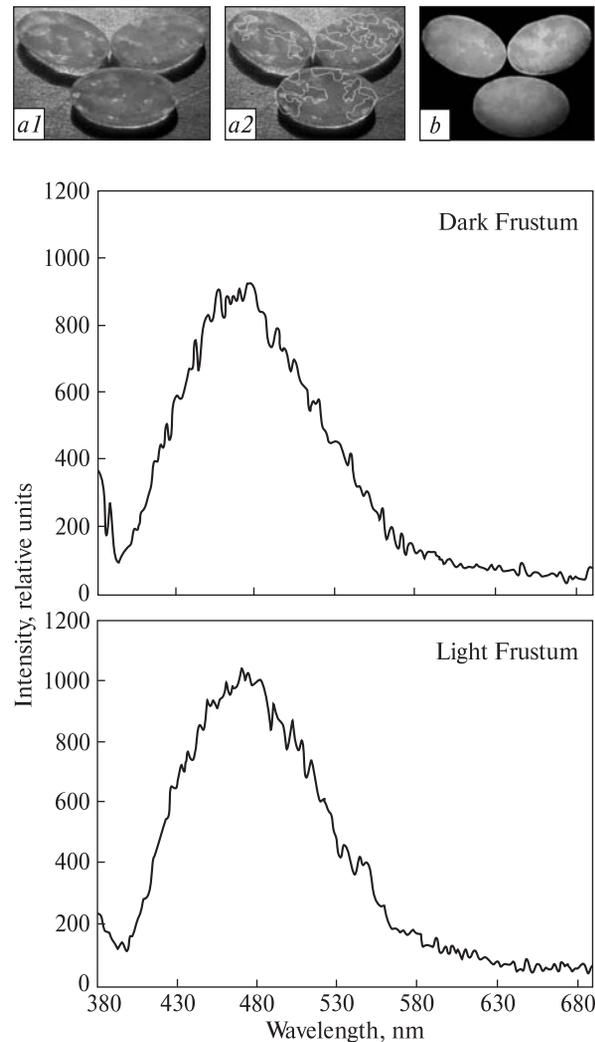


Рис. 8. Фрустуация в образце искусственного благородного опала ИБО-Я-1/13: a1 — иризация (игра цвета) при естественном освещении; a2 — ретушированные границы разных фрустумов в УФ-излучении (белые контуры); b — фрустумы, выявленные в опалах при УФ-излучении. Длина кабошонов — 3 мм. Форма фрустумов прихотливая в плане, их размер в плане — от 0,3 до 1,3 мм, форма в разрезе столбчатая. Фото В.В. Морошкина (ФГУП "ВИМС", Москва, Россия). Отличающиеся друг от друга спектры УФ-люминесценции темно-фиолетового (*Dark Frustum*) и светло-голубого (*Light Frustum*) фрустумов

Fig. 8. Frustumation in the sample of synthetic precious opal ИБО-Я-1/13: a1 — irisation (play of colors) under common light; a2 — retouched boundaries of different frustums in UV-irradiation (white contours); b — frustums revealed in opals in UV-irradiation. Cabochon lengths — 3 mm. Frustum form is capricious in plane, their dimensions in plane vary from 0.3 to 1.3 mm, and their form in cross-section is columnar. Photo by V.V. Moroshkin (FSUE "VIMS", Moscow, Russia). Spectra of UV-luminescence of dark violet (*Dark Frustum*) and bright blue (*Light Frustum*) differ significantly

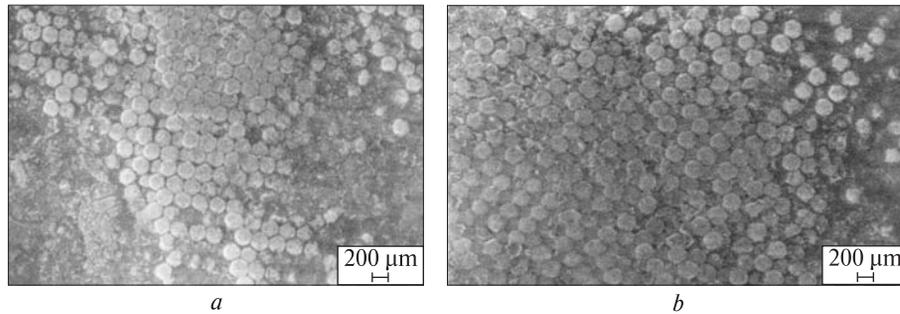


Рис. 9. Отличие в 3D расположении и размере монодисперсных слабогрануломорфных вторичных глобул кремнезема по разные стороны от границы II порядка (между фрустумами, иризирующими синим и зеленым цветом) — "гексагональная" упаковка (а не "квадратная") и их размер (242 против 230 нм): *a* — расстояние между соседними интерстициями (221 нм) соответствует в оптическом диапазоне синему цвету ($\lambda = 440\text{--}485$ нм); *b* — расстояние между соседними интерстициями (примерно 248 нм) соответствует зеленому цвету ($\lambda = 495\text{--}565$ нм). Образец искусственного благородного опала ИБО-Я-1/13. Растровый электронный микроскоп *LEO SUPRA 50VP*, режим низкого вакуума (40 Па азота), вторичные электроны, ускоряющее напряжение 20 кВ. Поверхность образца протравлена (15 %-й раствор HF в течение 60 с). Фото А.В. Кнотько (химический факультет МГУ)

Fig. 9. Difference in 3D arrangement and dimensions of monodisperse slightly granulomorphous secondary silica globules from different sides in relation to the II-order boundary (between the frustums with iridescence in blue and green color tone): "hexagonal" arrangement (and not "square") and their dimension (242 nm against 230 nm): *a* — distance between the voids (221 nm) corresponds in the optical range to the blue color ($\lambda = 440\text{--}485$ nm); *b* — distance between the voids (approximately 248 nm) corresponds in the optical range to the green color ($\lambda = 495\text{--}565$ nm). A sample of synthetic precious opal ИБО-Я-1/13. Scanning electron microscope *LEO SUPRA 50VP* in low (40 Pa of nitrogen) vacuum, secondary electrons, accelerating tension 20 kV. Sample etched with HF (15 % solution) during 1 min. Photo by A.V. Knot'ko (Chemical faculty, Moscow State University)

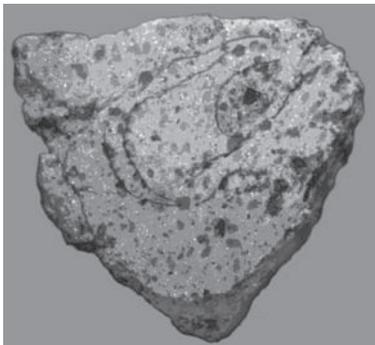


Рис. 10. Равномерное распределение циркона (яркие светлые мелкие точки) и резко неравномерное — тантало-ниобатов и торита в образце щелочного гранита Зашихинского Та-Nb месторождения. Фото М.Ю. Поваренных в жестком ультрафиолетовом излучении

Fig. 10. Uniform distribution of zircon (bright light fine dots) and sharply uneven distribution of tantalum-niobates and thorite in the sample of alkaline granite of the Zashikhinskoye Ta-Nb deposit. Photo made under SWUV-irradiation by M.Yu. Povarennykh

составляющих единиц парагенезисов минералов (фрустумов).

Объяснение описанного явления возможно, по нашему мнению, лишь при использовании **синергетического подхода** в науке о горных породах и представлении их как результата возникновения фрустумов (первичных ансамблей, парагенезисов минеральных зерен) и их коо-

перативного поведения, в отличие от представления о горной породе как о простом наборе минеральных зерен. Рассмотрение фрустумации горных пород как их синергетического свойства, по сути, может способствовать включению теории Д.С. Коржинского в более общую теорию диссипативных структур И.Р. Пригожина [51] и теорию Ф.Л. Рамсея [48].

Фрустумация, возможно, — это макроскопическая визуализация так называемого локально-мозаичного равновесия в заведомо неравновесных горных породах. Она дает представление не только о нижнем размерном пределе этих отдельных элементов "мозаики", но и о форме и характере границ этих своеобразных **горнопородных фаз**. Аналогом (из неравновесной термодинамики) первично возникших ансамблей минеральных зерен, т. е. фрустумов, в горных породах служат ячейки (вихри) Бенара с их когерентным скоррелированным поведением миллионов молекул жидкости, охватывающим макроскопические расстояния и объем в несколько сантиметров, с чувствительностью к пространственным граничным условиям.

Авторы выражают свою глубокую признательность за помощь в инструментальном изучении особенностей минерального вещества образцов горных пород О.Г. Пилюяну (ИГЕМ РАН), А.Г. Вересову и

А.В. Кнотько (химфак МГУ им. М.В. Ломоносова), С.А. Коваленко и В.Н. Инькову (МГГУ), А.Н. Никитину и А.И. Куклину (ОИЯИ, Дубна) и доброжелательное обсуждение — академиком РАН Н.П. Юшкину (ИГ НЦ Коми НЦ УрО РАН), В.А. Ярмолюку (ИГЕМ РАН) и Д.В. Рундквисту (ГГМ им. В.И. Вернадского РАН), профессорам А.Г. Жабинку и С.М. Бескину (ИМГРЭ), А.Ф. Белоусову (Новосибирск), Н.З. Евзиковой (Санкт-Петербург), И.Ф. Зубкову (РУДН), В.Н. Ларину (ГИН РАН), В.И. Старостину и А.А. Бурмистрову (геологический факультет МГУ), В.А. Дрицу (ГИН РАН), Р.В. Галиулину (ИКАН РАН), В.М. Крочуку и В.В. Индутному (Киев, Украина), А.Т. Айруни (ИПКОН РАН), И.А. Зотову, В.Л. Русинову и Н.Д. Самотоину (ИГЕМ РАН), В.В. Морошкину (ВИМС), Ю.А. Урманцеву (БИН РАН), Станиславу Еленю (Словацкий государственный университет).

Рекомендація рецензента. Стаття підсумовує результати дослідження різних авторів і власних досліджень, які стосуються періодичної будови порід на рівні розмірності, більшої ніж нанометр. Іншими словами, мова йде про ступінь прихованої впорядкованості текстури порід, яка, на мою думку, є функцією умов утворення (перетворення), але, на жаль, у статті не висвітлена. На загал стаття цікава, в певній частині оригінальна, однак через перевантаження термінами сприймається важко і неоднозначно. Тому рекомендую опублікувати її у розділі "Дискусії".

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов А.Ф. К общей концепции горной породы. — Новосибирск : ИГ СО АН СССР, 1987. — 52 с.
2. Бескин С.М., Ларин В.Н., Марин Ю.Б. Редкометалльные гранитовые формации. — Л. : Недра, 1979. — 280 с.
3. Бродская Р.Л. Онтогенический анализ магматических горных пород // Минерал. журн. — 1989. — **11**, № 5. — С. 3—10.
4. Бродская Р.Л., Виноградов Е.А., Голованов В.И. и др. Обнаружение пространственной периодичности в структуре горных пород методами дифракции и радиовидения / АН СССР. Ин-т общей физики. — Препр. 19. — М., 1991. — 7 с.
5. Васильев В.И., Драгунов В.И., Рундквист Д.В. "Парагенезис минералов" и "формация" в ряду образований различных уровней организации // Зап. ВМО. — 1972. — Ч. СІ, вып. 3. — С. 281—289.
6. Геологический словарь : В 2 т. — М. : Недра, 1973.
7. Делицин И.С. Структурообразование кварцевых пород. — М. : Наука, 1985. — 191 с.
8. Делицин И.С. Элементарная ячейка горных пород и механизм их самоорганизации // Идея развития в геологии: Вещественный и структурный аспекты. — Новосибирск, 1990. — С. 273—280.
9. Денискина Н.Д., Калинин Д.В., Казанцева Л.К. Благородные опалы (природные и синтетические). — Новосибирск : Наука, 1987. — 173 с.
10. Драгунов В.И. Онтологические аспекты геологии // Проблемы развития советской геологии. — Л., 1971. — С. 48—69. — (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. серия ; Т. 177).
11. Евзикова Н.З. Общие принципы структурной организации геологических тел // Тр. Конгр. 98 "Фундаментальные проблемы естествознания". Т. II. — СПб., 2000. — С. 24—38.
12. Жабин А.Г. Синнезис и дифференциация течения в магматических расплавах // Зап. ВМО. — 1971. — Ч. 100, № 5. — С. 578—589.
13. Жабин А.Г. Диагностика синхронности продуктов минералообразования // Минерал. журн. — 1979. — **1**, № 1. — С. 42—56.
14. Жабин А.Г., Юшкин Н.П. Синтез и квантование пространства — времени в процессах природного минералообразования // Докл. АН. — 1991. — **318**, № 1. — С. 164—168.
15. Индутный В.В. Существуют ли минеральные индивиды произвольных геометрических очертаний? // Минерал. журн. — 1991. — **13**, № 2. — С. 24—28.
16. Индутный В.В., Кулик Д.А. Пространственное строение минеральных фаз в горных породах // Докл. АН СССР. — 1982. — Вып. 10. — С. 10—13.
17. Коржинский Д.С. О равновесии при процессах минералообразования // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1965. — № 2. — С. 128—131.
18. Куклин А.И., Исламов А.Х., Ковалев Ю.С. и др. Оптимизация двухдетекторной системы малоуглового нейтронного спектрометра ЮМО для исследования нанообъектов // Поверхность. — 2006. — № 6. — С. 74—83.
19. Кульчицкая А.А., Возняк Д.К., Калинин А.М., Павлишин В.И. О природе воды в опале // Минерал. журн. — 1995. — **17**, № 1. — С. 56—70.
20. Михеев В.И. Гомология кристаллов. — М. : Гостехиздат, 1961. — 208 с.
21. Никитин А.Н. Образование пьезоэлектрических текстур в кварцсодержащих горных породах // Физика Земли. — 1996. — № 10. — С. 15—21.
22. Поваренных М.Ю. О пространственной регулярности ("элементарной ячейке") горных пород // Биохимические карбонаты антропогенных озер и источников. — Пермь, 1989. — С. 138—151.
23. Поваренных М.Ю. О фрустумации (свойстве первичной кусковатости, фрагментации) горных пород и ее влиянии на их дробимость и возможность крупнокускового обогащения // Тр. Годич. собр. Рос. Минерал. об-ва. — СПб., 2006. — С. 168—176.
24. Поваренных М.Ю. Об установлении нового свойства горных пород — скрытой текстуры // Докл. АН. — 2008. — 419, № 2. — С. 233—236.
25. Поваренных М.Ю., Бескин С.М. Применение современных технических и аналитических средств выявления первичной кусковатости (фрустумации или образования "элементарной ячейки") горных пород // Тр. I Всерос. сем. по технологической минералогии. — Петрозаводск, 2006. — С. 138—145.

26. Поваренных М.Ю., Жабин А.Г. Фрустуляция (первичная кусковатость) горных пород как проявление квантования–зернистости горнопородного уровня прострвемени // Урал. геол. журн. — 2007. — № 5 (59). — С. 51–60.
27. Поваренных М.Ю., Куликова И.М., Дякин В.И., Погибельный А.А. О составе, физических свойствах, особенностях распределения и взаимоотношениях танталит-колумбита и вольфрамитов в разных фациях массива редкометалльных гранитов // Докл. АН СССР. — 1990. — **314**, № 2. — С. 463–467.
28. Поваренных М.Ю., Матвиенко Е.Н., Кнотько А.В. О фрустумационном (кусковатом) внутреннем строении благородного и обыкновенного опала как супертонкозернистых горных пород (месторождение благородного опала Кубер-Педи, штат Южная Австралия) // Материалы 14-й Междунар. конф. "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле" (7–10 окт. 2013 г.). — Москва-Ярославль, 2013. — С. 218–221.
29. Поваренных М.Ю., Матвиенко Е.Н., Рассулов В.А. О фрустумации наиболее простых по минеральному составу и генезису горных пород на примере благородных опалов // Материалы минерал. сем. с междунар. участием "Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии" (Юшкинские чтения-2013) (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, 19–22 мая 2013). — Сыктывкар : Геопринт, 2013. — С. 363–366.
30. Поваренных М.Ю., Рассулов В.А., Иньков В.Н. и др. Выявление первичной кусковатости (фрустумации) горных пород с помощью лазерной ультразвуковой экоскопии, фотолюминесценции и ряда других методов изучения вещества // Горн. информ.-аналит. бюл. — 2008. — № 6. — С. 223–232.
31. Поваренных М.Ю., Финкельштейн М.Я. Сравнение пород по данным минералогического анализа образцов керна и штуфов Этыкинского гранитного массива // Автоматизированные системы в геологии. Вып. № 1 (67). — М. : ВИЭМС, 1988. — С. 36–46.
32. Принципы расчленения и картирования гранитоидных интрузий и выделения петролого-металлогенических вариантов гранитоидных серий / Ред. Ю.Б. Марин. — СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. — 80 с.
33. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы // Докл. АН СССР. — 1979. — **247**, вып. 4. — С. 829–831.
34. Садовский М.А. О распределении размеров твердых отдельностей // Там же. — 1983. — **269**, № 1. — С. 69–72.
35. Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва : Избр. тр. — М. : Наука, 1999. — 349 с.
36. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойствах дискретности горных пород // АН СССР. ИФЗ. — Препр. — 1981. — Вып. 1. — С. 15–28.
37. Суставов О.А. Структуры кристаллизации кварца в жильных полостях // Тр. Урал. минерал. шк. — Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2005. — 93 с.
38. Тишкина В.Б. Генезис благородного опала в вулканитах северянской свиты (Приморский край) : Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Владивосток, 2006. — 27 с.
39. Черепецкая Е.Б., Шкуратник В.Л. Методика оценки структуры и свойств горных пород на образцах методом лазерной ультразвуковой спектроскопии: Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня. (2004. — № 11). — М. : Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2005. — 24 с.
40. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. — Л. : Недра, 1985. — 168 с.
41. Шахов Ф.И. Текстуры руд. — М. : Изд-во АН СССР, 1961. — 180 с.
42. Шумков С.И., Бунин И.Ж., Терехова С.Е. и др. Фрактальная природа процесса дезинтеграции частиц угля при взаимодействии с метаногенной ассоциацией микроорганизмов // Докл. АН России. — 1998. — **360**, № 5. — С. 652–654.
43. Darragh P.J., Gaskin A.J., Terrell B.C., Sanders J.V. Origin of precious opals // Nature. — 1966. — No 209. — P. 13–16.
44. Drits V.A., McCarty D.K., Sakharov B., Milliken K.L. New Insight into Structural and Compositional Variability in Some Ancient Excess-Ca Dolomite // Can. Miner. — 2005. — P. 1255–1290.
45. Ebeling W., Engel A., Feistel R. Physik der Evolution-sprozesse. — Berlin : Akad.-Verlag, 1990.
46. Eyles W.C. The book of opals. — 7th ed. — Tokyo, 1976. — 225 p.
47. Gotze J., Plotze D., Fuchs H., Habermann D. Defect structure and luminescence behaviour of agate — results of electron paramagnetic resonance (EPR) and cathodoluminescence (CL) studies // Miner. Mag. — 1999. — **63**. — P. 149–163.
48. Graham R.L., Rothschild B.L., Spenser J.H. Ramsey Theory / 2nd ed. Second. — London : John Wiley & Sons, 1990. — 420 p.
49. Karpov E., Ordonez G., Petrosky T., Prigogine I. Microscopic Entropy and Nonlocality. Proc. Workshop on Quantum Physics and Communication. — Dubna, 2002. — P. 31–45 (Russia).
50. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of Nature. — San-Francisco : Freeman, 1982. — 461 p.
51. Nicolis G., Prigogine I. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations. — NY : J. Wiley & Sons, 1977. — 345 p.
52. Povarennykh M.Yu., Rassulov V.S., Lobzova R.V. Frustumation (Fragmentation, Lumpiness, "Rock Unit Cells" Formation) — the First Discovery of the Rock Universal Property // Proc. XI Int. Congr. Mathematic. Geology (Liege, Belgium, Sept. 38, 2006). — CD-ROM D/2006/0480/31.
53. Ray P. Opalisation of the Great Artesian Basin (central Australia): an Australian story with a Martian twist // Austral. J. Earth Sci. : Int. Geosci. J. Geol. Soc. Austral. — 2013. — **60**, Is. 3. — P. 291 — 314.
54. Sanders J.V. Colour of Precious Opal // Nature. — 1964. — No 204. — P. 1151–1153.
55. Segnit E.R., Anderson C.A., Jones J.B. A scanning microscope study of the morphology of opal // Search. — 1970. — **1**, No 1. — P. 349–351.

Поступила 23.10.2013

REFERENCES

1. Belousov, A.F. (1979), IGG SO AN SSSR, Novosibirsk, 1987, 52 p.
2. Beskin, S.M., Larin, V.N. and Marin, Ju.B. (1979), Nedra, Leningrad, 280 p.
3. Brodskaja, R.L. (1989), *Mineralogicheskij zhurnal (Ukraine)*, Vol. 11 No 5, Kiev, pp. 3-10.
4. Brodskaja, R.L., Vinogradov, E.A., Golovanov, V.I., Iri-sova, N.A. and Cherepanov, V.A., (1991), Preprint 19, In-t Obshhej fiziki AN SSSR, Moscow, 7 p.
5. Vasil'ev, V.I., Dragunov, V.I. and Rundkvist, D.V. (1972), *Zap. VMO*, Chast' SI Vyp. 3, Moscow, pp. 281-289.
6. Geologicheskij slovar' (1973), Vol. 2, Nedra, Moscow.
7. Delicin, I.S. (1985), Nauka, Moscow, 191 p.
8. Delicin, I.S. (1990), Ideja razvitiya v geologii, Veshhes-tvennyj i strukturnyj aspekty, Novosibirsk, pp. 273-280.
9. Deniskina, N.D., Kalinin, D.V. and Kazanceva, L.K. (1987), Nauka, Novosibirsk, 173 p.
10. Dragunov, V.I. (1971), Problemy razvitiya sovetскоj geologii, Tr. VSEGEI, Nov. serija, Vol. 177, Leningrad, pp. 48-69.
11. Evzikova, N.Z. (2000), Trudy Kongr. 98 "Fundamental'nye problemy estestvoznaniya", Vol. II, S.Peterburg, pp. 24-38.
12. Zhabin, A.G. (1971), *Zap. VMO*, Ch. 100 No 5, Moscow, pp. 578-589.
13. Zhabin, A.G. (1979), *Mineralogicheskij zhurnal (Ukraine)*, Vol. 1 No 1, Kiev, pp. 42-56.
14. Zhabin, A.G. and Jushkin, N.P. (1991), *DAN*, Vol. 318 No 1, Moscow, pp. 164-168.
15. Indutnyj, V.V. (1991), *Mineralogicheskij zhurnal (Ukraine)*, Vol. 13 No 2, Kiev, pp. 24-28.
16. Indutnyj, V.V. and Kulik, D.A. (1982), *Doklady AN USSR*, Vyp. 10, Kiev, pp. 10-13.
17. Korzhinskij, D.S. (1965), *Izv. AN SSSR, Ser. Geol.*, No 2, Moscow, pp. 128-131.
18. Kuklin, A.I., Islamov, A.N., Kovalev, Ju.S., Utrobin, P.K. and Gordelij, V.I. (2006), *Poverhnost'*, No 6, pp. 74-83.
19. Kul'chickaja, A.A., Voznjak, D.K., Kalinichenko, A.M. and Pavlishin, V.I. (1995), *Mineralogicheskij zhurnal (Ukraine)*, Vol. 17 No 1, Kiev, pp. 56-70.
20. Miheev, V.I. (1961), Gostoptehizdat, Moscow, 208 p.
21. Nikitin, A.N. (1996), *Fizika Zemli*, No 10, pp. 15-21.
22. Povarennyh, M.Ju. (1989), Biohimich. karbonaty antropogennyh ozer i istochnikov, Perm', pp. 138-151.
23. Povarennyh, M.Ju. (2006), Trudy Godichnogo sobr. Rossijskogo Mineralogicheskogo obshhestva, S.Peterburg, pp. 168-176.
24. Povarennyh, M.Ju. (2008), *Doklady AN*, Vol. 419 No 2, Moscow, pp. 233-236.
25. Povarennyh, M.Ju. and Beskin, S.M. (2006), Trudy I Vserossijskogo seminaru po tehnologicheskoy mineralogii, Petrozavodsk, pp. 138-145.
26. Povarennyh, M.Ju. and Zhabin, A.G. (2007), *Ural'skij geologicheskij zhurnal*, No 5 (59), pp. 51-60.
27. Povarennyh, M.Ju., Kulikova, I.M., Djakin, V.I. and Pogibel'nyj, A.A. (1990), *Doklady AN SSSR*, Vol. 314 No 2, pp. 463-467.
28. Povarennyh, M.Ju., Matvienko, E.N. and Knot'ko, A.V. (2013), Materialy 14-oj Mezhd. konf. "Fiziko-himich. i petrofizicheskie issledovanija v naukah o Zemle", October 7-10, Moskva-Jaroslavl', pp. 218-221.
29. Povarennyh, M.Ju., Matvienko, E.N. and Rassulov, V.A. (2013), Materialy Mezhd. miner. konf. "Jushkinskie chtenija", Maj 19-22, 2013, Syktyvkar, pp. 363-369.
30. Povarennyh, M.Ju., Rassulov, V.A., In'kov, V.N., Kovalenko, S.A. and Veresov, A.G. (2008), *Gornyj informac.-analiticheskij bjulleten'*, No 6, pp. 223-232.
31. Povarennyh, M.Ju. and Finkel'shtejn, M.Ja. (1988), *Avtomatizirovannye sistemy v geologii*, No 1 (67), VIJeMS, Moscow, pp. 36-46.
32. (2007) Principy raschleneniya i kartirovaniya granitoidnyh intruzij i vydelenija petrologo-metallogenicheskikh variantov granitoidnyh serij, Marin, Ju.B. (Red.), Izd-vo VSEGEI, S. Peterburg, 80 p.
33. Sadvskij, M.A. (1979), *Doklady AN SSSR*, Vol. 247, No. 4, Moscow, pp. 829-831.
34. Sadvskij, M.A. (1983), *Doklady AN SSSR*, Vol. 269 No 1, Moscow, pp. 69-72.
35. Sadvskij, M.A. (1999), Izbr. Trudy, Nauka, Moscow, 349 p.
36. Sadvskij, M.A., Bolhovitinov, L.G. and Pisarenko, V.F. (1981), Preprint IFZ AN SSSR, Vyp. 1, pp. 15-28.
37. Sustavov, O.A. (2005), Trudy Ural'skoj mineralogicheskoy shkoly, Izd-vo UGGU, Ekaterinburg, 93 p.
38. Tishkina, V.B. (2006), Avtoreferat dissertacii na soiskanie kand. geol.-min. nauk, Vladivostok, 27 p.
39. Cherepeckaja, E.B. and Shkuratnik, V.L. (2004), Metodika ocenki struktury i svojstv gornyh porod na obrazcah metodom lazernoj ul'trazvukovoj spektroskopii, Otdel'nye stat'i Gornogo informacionno-analiticheskogo bjulletenja, No 11, Izd-vo Mosk. gornogo un-ta, Moscow, 24 p.
40. Shafranovskij, I.I. (1985), Nedra, Leningrad, 168 p.
41. Shahov, F.I. (1961), Izd-vo AN SSSR, Moscow, 180 p.
42. Shumkov, S.I., Bunin, I.Zh., Terehova, S.E., Zverev, I.V. and Dolgova, M.O. (1998), *Doklady AN Rossii*, Vol. 360 No 5, Moscow, pp. 652-654.
43. Darragh, P.J., Gaskin, A.J., Terrell, B.C. and Sanders, J.V. (1966), *Nature*, No 209, pp. 13-16.
44. Drits, V.A., McCarty, D.K., Sakharov, B. and Milliken, K.L. (2005), *Canadian Mineralogist*, pp. 1255-1290.
45. Ebeling, W., Engel, A. and Feistel, R. (1990), Akademie Verlag, Berlin.
46. Eyles, W.C. (1976), Tokyo, 225 p.
47. Gotze, J., Plotze, D., Fuchs, H. and Habermann, D. (1999), *Miner. Mag.*, Vol. 63, pp. 149-163.
48. Graham, R.L., Rothschild, B.L. and Spenser, J.H. (1990), John Willey & Sons, London, 420 p.
49. Karpov, E., Ordonez, G., Petrosky, T. and Prigogine, I. (2002), Microscopic Entropy and Nonlocality, Proc., Workshop on Quantum Physics and Communication, Dubna, Russia, pp. 31-45.
50. Mandelbrot, B.B. (1982), Freeman, San-Francisco, 461 p.
51. Nicolis, G. and Prigogine, I. (1977), J. Willey & Sons, NY, 345 p.
52. Povarennykh, M.Yu., Rassulov, V.S. and Lobzova, R.V. (2006), Frustumation (Fragmentation, Lumpiness, "Rock Unit Cells" Formation) - the First Discovery of the Rock Universal Property", Proc. XI Intern. Congress Mathematic. Geology Proc. XI Int. Congress

- Mathematic, Geology, Liege, Belgium, September 3-8, 2006, CD-ROM D/2006/0480/31.
53. Ray, P. (2013), *Australian Journal of Earth Science, an International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia*, Vol. 60 Is. 3, pp. 291-314.
54. Sanders, J.V. (1964), *Nature*, No 204, pp. 1151-1153.
55. Segnit, E.R., Anderson, C.A. and Jones, J.B. (1970), *Search*, Vol. 1 No 1, pp. 349-351.

Received 23.10.2013

М.Ю. Поваренных¹, О.М. Матвієнко², В.А. Рассулов³

¹ Федеральна державна бюджетна установа науки "Інститут історії природознавства і техніки ім. С.І. Вавилова РАН" 117861, м. Москва, Росія, вул. Обручева, 30а, корп. В E-mail: mpovarennykh@mail.ru

² Мінералогічний музей ім. О.Є. Ферсмана РАН 117071, м. Москва, Росія, Ленінський пр., 18, корп. 2 E-mail: ematvienko@mail.ru

³ Федеральне державне унітарне підприємство "Всеросійський науково-дослідний інститут мінеральної сировини ім. М.М. Федоровського" 119017, м. Москва, Росія, Старомонетний пров., 31 E-mail: rassulov@mail.ru

ПРО ПРИХОВАНУ ТЕКСТУРУ (ФРУСТУМАЦІЮ) ПРОСТИХ ЗА МІНЕРАЛЬНИМ СКЛАДОМ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Розвиток ідей В.І. Драгунова в синергетичному значенні, академіка Д.В. Рундквіста про елементарні осередки гірських порід і академіка М.О. Садовського про дискретність геофізичного середовища ("природну кускуватість") призвів до встановлення нового макроскопічного гірничопородного явища — первинної кускуватості або фрустумації (лат. "фрустум" — шматок) спочатку для простих за мінеральним складом і генезисом, а потім і для полімінеральних і складних за генезисом гірських порід. Передумови цього є в роботах С.М. Бескіна, А.Г. Жабіна, І.С. Деліцина, А.М. Нікітіна, О.А. Суставова, Н.З. Евзікової, В.В. Індутного, М.Ю. Поваренных, а ще раніше у статті Д.С. Коржинського про локальну ("мозаїчну") рівновагу в нерівноважних геологічних процесах та у роботах В.Ф. Левінсон-Лессінга. Для виявлення петрологічної суті фрустумації гірських порід виконано комплекс різномасштабних досліджень (від нано- до дециметрового рівня) найпростіших за мінеральним складом і генезисом порід з використанням традиційних мінералого-петрографічних методів і нейтронографічного вивчення текстур (метод малокутового розсіювання нейтронів *SANS*), лазерно-ультразвукової спектроскопії, УФ-люмінесценції та сканувальної електронної мікроскопії. Вірогідно, що дослідження цієї нової макроскопічної властивості гірських порід надасть можливість по-новому розглянути проблему їх подрібнення та збагачення (у т. ч. крупнокуськове) пов'язаних з ними металевих руд і неметалевих корисних копалин.

Ключові слова: елементарний осередок гірських порід, фрустум, шматок, агрегат мінеральних зерен, УФ-люмінесценція, лазерно-ультразвукова спектроскопія, метод малокутового розсіювання нейтронів, сканувальна електронна мікроскопія.

М.Ю. Поваренных¹,
Е.Н. Матвієнко², В.А. Рассулов³

¹ S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences 30a, build. B, Obruchev St., 117861, Moscow, Russia E-mail: mpovarennykh@mail.ru

² Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences 18, build. 2, Leninskiy Pr., 117071, Moscow, Russia E-mail: ematvienko@mail.ru

³ Federal State Unitary Enterprise "N.M. Fedorovsky All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources" 31, Staromonetnyi Lane, 119017, Moscow, Russia E-mail: rassulov@mail.ru

ON THE CRYPTIC STRUCTURE (FRUSTUMATION) OF ROCKS SIMPLEST IN MINERAL COMPOSITION AND ORIGIN

It was shown that the primary element of the object-system: "rock as essentially natural mineral paragenesis" one should consider not only a mineral grain (even for the monomineral rock!) but some primary mineral grains aggregate or their ensemble in the synergetic and Mikhail Sadvovsky's with Dmitry Rundqvist sense. It was predicted that such phenomenon should be revealed with the help of various spectroscopic methods of rocks treating (M.Yu. Povarennykh, 1988). The natural phenomenon discussed (cryptic structure or primary lumpiness) was named "frustumation" from the frustum — lump, in Latin. In several rock samples especially chosen the simplest in genesis and mineral composition frustums were discovered and revealed with the help of UV-irradiation and laser-ultrasonic echo-spectroscopy. In order to reveal the petrophysical essence of the rock frustumation (cryptic structure or primary lumpiness), a complex of different scale investigations (from nano- to decimeter levels) of rocks with simplest mineral composition was conducted with the help of traditional mineralogical-petrographical methods (optical microscopy, XRD-analyses) as well as rock thermal resistance determination method, laser-ultrasonic spectroscopy, small-angle neutron scattering (SANS), scanning electron microscopy and UV-luminescence. Features of this firstly discovered macroscopic stereological rock phenomenon and its possible implications to rock crushing and ore dressing are discussed.

Keywords: primary element of the object-system: "rock as essentially natural mineral paragenesis", frustum, lump, aggregate of mineral grains, UV-luminescence, laser-ultrasonic echo-spectroscopy, small-angle neutron scattering, scanning electron microscopy.