



УДК 553.546

ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИКРИСТАЛЛОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ**В.А. Баранов**Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова НАН Украины, ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, 49005, Украина, igtmnanu@yandex.ru, baranov-va@rambler.ru

Представлены результаты исследования условий образования квазикристаллов в горных породах, минералах и минералоидах. Получены новые данные о структурных преобразованиях горных пород и минералов, претерпевших разные энергетические воздействия. Показаны причины и условия формирования сутурных и стилолитовых контактов, кливажа и других деформаций.

Ключевые слова: горные породы, минералы, квазикристаллы, деформации, сутуры, стилолиты, преобразования, энергия, условия.

FORMATION OF QUASICRYSTALS IN ROCKS**V.A. Baranov**M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine, 2a, Simferopolskaya st., Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine, igtmnanu@yandex.ru, baranov-va@rambler.ru

The article presents the results of a study of conditions of formation of quasicrystals in rocks, minerals and mineraloidah. New data on the structural transformation of rocks and minerals that have undergone different energy impact. The causes and conditions of suture and stilolitic contacts, cleavage and other deformations. The formation of quasicrystals found in quartz of sedimentary and igneous rocks, glass, amber, carbon, epoxy resin and other substances. Initial studies were conducted using a transmission electron microscope, in a known manner of two-stage carbon replicas, and later in rock samples using an optical microscope. It was established that quasicrystals formed by the formation of systems of slip bands in minerals and rocks, located at angles of 600 to 900, and the distance between them is sufficient to sustain. Minimum dimensions of quasicrystals installed on chips of different substances is 1 ÷ 3 microns. According to the research of slip bands formed by gradation, which became the cause of suture and stilolitic strain manifested hierarchical formation of these systems of slip planes. For each level of study (from microns to macro- and mega-level) has its own «authorized» parameters organization of these systems. So, for the electron microscopic level characterized quasicrystals with sizes 1 ÷ 3, 6 ÷ 15, 20 ÷ 30 microns. This is followed by a microscopic level with their authorized parameters, macroscopic and so on. D. It was established that in the isotropic stress field is formed by anisotropic system voltages, having subordinate and smaller. Consideration of the scheme of structuring in the isotropic layer anisotropic space can be represented in the following general form. Directed energy flux causes interference energy waves with formation of non-equilibrium zones in which there is structuring material in the form of a bulk grid with regular geometric shapes. Their sizes are functionally dependent on the primary conditions: degree of energy impacts, composition and properties of matter, the scope of the object and the time of implementation. The result of the structuring of matter in these conditions can be regarded as the formation of quasicrystals in rocks, minerals, mineraloidah.

Keywords: rocks, minerals, quasicrystals, deformation, suture, stylolites, conversion, energy conditions.

ФОРМУВАННЯ КВАЗИКРИСТАЛІВ У ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ**В.А. Баранов**Институт геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України, вул. Симферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна, igtmnanu@yandex.ru, baranov-va@rambler.ru

Наведено результати дослідження умов утворення квазікристалів у гірських породах, мінералах і мінералоїдах. Отримано нові дані про структурні перетворення гірських порід та мінералів, що зазнали різних енергетичних впливів. Показано причини й умови формування сутурних і стилолітових контактів, кліважу та інших деформацій.

Ключові слова: гірські породи, мінерали, квазікристали, деформації, сутури, стилоліти, перетворення, енергія, умови.

Введение

С середины 80-х годов прошлого столетия автором статьи выполняются исследования нового свойства вещества – формирование тел правильных геометрических форм при определенных энергетических воздействиях, названных квазикристаллами, представляющих собой вещественные тела в горных породах, минералах, искусственных веществах, имеющие соизмеримые размеры для соответственных уровней, образующиеся под влиянием внешних энергетических факторов, таких как температура, давление, физико-химические, физико-механические, биохимические преобразования.

Считавшиеся разнородными факторы образования отдельности, блочности, сутурных и стилолитовых швов в различных горных породах, рудных и нерудных полезных ископаемых, имеют, согласно результатам исследова-

ований, общую природу, заключающуюся в изменении условий нахождения конкретной породы или полезного ископаемого. Упрощенно можно говорить об изменении энергетического состояния вещества, поскольку изменение температуры, давления, химизма вмещаемых вод и другие преобразования, по известному принципу тормозящего противодействия (Ле Шателье – Брауна), приводит к переходу на более высокий или на более низкий энергетический уровень. Формирование квазикристаллов, по мнению автора статьи, является следствием перехода вещества на более низкий уровень. Иначе говоря, избыточная энергия реализуется в формирование своеобразной квазиструктуры (подобие дальнего порядка) в горных породах, минералах, минералоидах.

Исследование нового свойства имеет как научное значение – определение закономерностей формирования квазикристаллов в различных минералах, рудах и

нерудных полезных ископаемых, так и прикладное – прогнозирование нарушенных зон в углях, на границах блоков разных масштабных уровней, приуроченность к этим зонам повышенной рудоносности (особенно в узлах – местах пересечения зон трещиноватости), влияние указанных зон и квазикристаллов на способы обработки и обогащения полезных ископаемых.

История исследований

Исследования выполнялись оптическим и электронномикроскопическим методами, пробоотбор проводился на шахтах Донбасса, Кривбасса, рудниках и карьерах Украинского кристаллического щита. Отобранные пробы использовались для приготовления стандартных шлифов, двухступенчатых углеродных реплик, штуфов и пришлифовок.

Проблема изменения структуры вещества при энергетических воздействиях давно привлекает внимание исследователей. Накапливаемый при литостатических и тектонических воздействиях энергетический потенциал должен реализовываться в изменении структуры вещества, согласно закону термодинамического равновесия. В качестве примеров можно привести: процесс образования клатратов в газогидратах, описанный в [1]; процесс образования правильных групп кратеров с шестиугольными стенками в потухших вулканах, описанный доктором физико-математических наук М.И. Рабиновичем; процесс образования фуллеренов, представляющих собой полое углеродное многогранное тело, подобное футбольному мячу [2]; четырех-, пяти- или шестигранные полигоны поверхности почв как следствие морозных трещин [3] и т. д.

Результаты исследований

Перечисленные процессы можно представить в следующем схематическом виде. Если выразить всю энергию, затраченную на рассматриваемый качественный переход, в процентах и условно представить ее как 100 %, то любое воздействие на эту породу: сжатие или растяжение, воздействие ультразвуком или другим энергетическим полем, является частью этих 100 %. Условно мы можем, к примеру, разрушить кусок породы, затратив 10 % энергии и, далее, расплавить ее, используя на нагрев остальные 90 % энергии.

В работе [4] отмечено образование пластических деформаций типа полосок Бёма в гранитах при всестороннем сжатии в лабораторных условиях. Образованные в результате нагрузок в 30 % от максимальных микротрещины имели извилистый и ступенчатый характер, что указывает на проявление как пластической, так и хрупкой деформации в исследуемом образце. Ступенчатый характер берегов микротрещин, полученный экспериментально в гранитах, интересный и важный результат. Подобные факты при изучении структуры вообще и микроструктуры в частности, достаточно редко описаны в литературе.

Авторы [5] исследовали влияние дислокаций на дисперсию скорости ультразвуковых волн в кристаллах и пришли к выводу о том, что затухание ультразвуковых волн в кристаллах меди и некоторых других связано с микронеоднородностями среды и, в первую очередь, с дислокациями.

Кристаллы подвергались сжатию до образования системы полос скольжения с характерным расстоянием между полосами порядка 300÷600 мкм. Выполненные на ряде образцов измерения полей внутренних напряжений поляризационно-оптическим методом показали, что характерный период изменения полей напряжений примерно соответствует расстоянию между полосами, а их амплитуда – напряжению, при котором деформировался кристалл.

Данный вывод интересен еще и тем, что подобные системы полос скольжения были получены автором статьи под оптическим и электронным микроскопами в джеспилитах Кривого Рога, а позже в кварце осадочных и магматических пород, стеклах, янтаре, угле, эпоксидной смоле и других веществах. Вначале исследования были проведены с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ЭМВ-100Л), по известной методике двухступенчатых углеродных реплик, а позже в образцах горных пород при помощи оптического микроскопа. Расстояния между полосами варьируют, в зависимости от увеличения. Исследования при помощи электронного микроскопа позволили установить средние расстояния между полосами скольжения от 7 до 15 мкм, с максимумом в районе 8÷10 мкм, не зависимо от того, какое по своим свойствам вещество было исследовано. Примечательно то, что минимальные размеры ограниченных частиц, установленных на сколах разных веществ, составляли 1÷3 мкм. Полосы скольжения с такими расстояниями не установлены. Причины этого могут быть различны. Возможно, необходимо было изменить рабочее увеличение не 2000X, а большее. Возможно, применявшийся метод изготовления двухступенчатых углеродных реплик не позволяет достичь желаемого результата и его необходимо совершенствовать, либо менять метод исследования.

В любом случае, факт формирования частиц указанных размеров установлен. Поскольку образование кристаллоподобных частиц может быть следствием только пластически деформированного вещества, не может быть сомнений по поводу существования плоскостей деформаций данного размера.

Исследованные автором статьи плоскости скольжения при помощи оптического микроскопа позволили установить следующее. Плоскости скольжения представлены двумя системами: основной, более четкой и ярко выраженной, и подчиненной (рис. 1). Средние размеры между плоскостями скольжения основной системы изменяются в пределах 60÷100 мкм, с максимумом в районе 80 мкм. Подчиненная система характеризуется средними расстояниями между плоскостями скольжения в пределах 30÷50 мкм, с максимумом в районе 40 мкм. Приведенные расстояния получены эмпири-

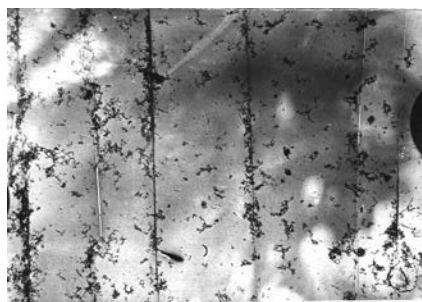


Рис. 1. Система пластических полос скольжения в кварце песчаников Донбасса, реплика, увел. 2000^x
 Fig. 1 The plastic slip bands in quartz sandstones of Donbas, replica, SW. 2000^x

ческим путем в природно деформированных веществах. Полученные исследователями [5] размеры путем приложенных напряжений к кристаллам меди могут быть уже следующим уровнем структурирования вещества.

Указанные преобразования, согласно полученным эмпирическим данным, часто происходят не одновременно, а в результате нескольких переходных этапов. Вначале в породообразующих зернах (обычно наиболее крупных) накапливается значительное количество упругой энергии, реализующейся при прогрессирующем процессе в пластическую деформацию. В зернах начинают возникать, накапливаться и трансформироваться пластические микродеформации: полосы Бёма, пластины и пояса деформации, иррациональный и смятый кварц. В дальнейшем, при усилении внешних воздействий, за счет литостатических, тектонических и температурных воздействий (в основном), по наиболее энергетически нестабильным пластическим деформациям происходит разрыв сплошности, иными словами хрупкая деформация, выражающаяся в дроблении зерен на блоки, последующей грануляции и возникновении энергетически более устойчивой к внешним воздействиям структуры.

Накопленная на контакте зерен энергия реализуется в указанные пластические микродеформации. Вид или подвид ее, а также геометрическая форма зависят от способа приложенной нагрузки. Это может быть сжатие, сжатие со сдвигом, растяжение со сдвигом и другие комбинации. Каждый из механизмов приложения нагрузки (детальное рассмотрение которых выходит за рамки данной статьи) приводит к образованию того или иного вида или подвида структурной микродеформации.

Сформированная плоскость деформации или система плоскостей, равно как и любое нарушение структуры, остается в зерне как своеобразный шрам. Последующая эволюция массива горных пород: дальнейшее опускание или, наоборот, инверсия, вовлечение в процессы сдвигов, надвигов, сбросов и других деформаций на макроуровне, приводит к формированию новых структур минералов и пород.

В результате выполненных экспериментов авторы [6] установили, что энергия, отдаваемая кристаллической решетке, распределяется дифференцированно. Возникает неоднородное (доменное, ячеистое)

распределение механических напряжений. В одном из максимумов рождается трещина. Она испускает продольную волну динамических напряжений, индуцирующую рождение трещины в соседнем максимуме, и т. д. Со скоростью продольного звука рождается «пунктир» из трещин, расположенных в близких плоскостях спайности и срастающихся друг с другом. Они срастаются, создавая одну магистральную трещину, поверхности которой содержат много ламелей следов перехода из одной плоскости спайности в другую, параллельную первой. Такая картина наблюдается при изучении поверхности трещины в микроскопе.

Подобные результаты получены автором статьи при изучении породообразующего кварца джеспилитов, стекол, янтаря и других веществ, под электронным и оптическим микроскопом, но интерпретация полученных результатов носит отличительный характер.

Детальное исследование поверхностей указанных плоскостей, ограничивающих трещину на микроуровне, позволило установить их ступенчатый (лестничный) характер, приводящий при последующей хрупкой деформации к формированию квазикристаллов [7], имеющих правильные геометрические формы. Указанные квазикристаллы имеют четкую зубчатую (ступенчатую, сутуровидную) поверхность во всех изученных веществах как кристаллической, так и аморфной структуры (рис. 2, 3).

По результатам исследований, кроме формирования ступенчатости, проявляется и иерархичность образования указанных систем плоскостей скольжения. Для каждого уровня исследований (от микроуровня до макро- и мегауровня) существуют свои «разрешенные» параметры организации данных систем. Так, для электронномикроскопического уровня характерны квазикристаллы с размерами 1÷3, 6÷15, 20÷30 мкм. Далее следует микроскопический уровень со своими разрешенными параметрами, макроскопический и т. д.

В работе [8] указывается, что когда однородное состояние становится неустойчивым и возникает выделенное направление, пространство перестает быть изотропным. То есть в изотропном пространстве при определенных энергетических воздействиях формируются условия, способствующие образованию анизотропии свойств исследуемой системы.

Рассмотрим подробнее это «выделенное направление» применительно к горным породам. При векторном потоке энергии (независимо от источника: термического, динамического, литостатического и др.) в веществе формируются уровни ее концентрации и рассеивания. Иными словами, поток энергии носит волновой характер с определенной периодичностью, а интерференция проявляется в формировании неравновесных зон (слоев), расположенных нормально потоку энергии, и характеризуется повышенной кинетической составляющей. Последняя реализуется в форме структурирования вещества в выделенной зоне и, подобно известному явлению неустойчивости Бенара [9], порождает пространственную организацию вещества.



Рис. 2. Сутуровидные трещины в кварцевой жиле джеспилитов Кривого Рога. Шлиф, увел. 100^x
Fig. 2. Suture cracks in quartz vein jaspilites of Krivoy Rog. Grinding, SW. 100^x

Указанная организация вещества распространяется только на зону максимальной концентрации энергетического потока, где формируется лестничная (сутуровидная) зона. В случае смены сжимающих напряжений растягивающими или сжимающими со сдвигом возникает классический генеральный шов, имеющий сутуровидную форму (рис. 2).

Таким образом, рассмотренную схему структурирования в изотропном

слое анизотропного пространства можно представить в следующем общем виде. Направленный поток энергии обуславливает интерференцию энергетических волн (волн напряжений) с формированием неравновесных (метастабильных) зон, в которых происходит структурирование вещества в виде объемной сетки с правильными геометрическими формами. Размеры их функционально зависят от первичных условий: степени энергетических воздействий, состава и свойств вещества, масштабов объекта и времени реализации. Результатом структурирования вещества в этих условиях можно считать формирование квазикристаллов в горных породах, минералах, минералоидах.

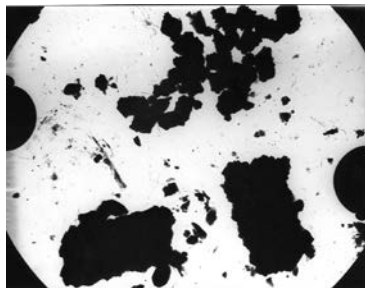


Рис. 3. Квазикристаллы кварца песчаников Донбасса, реплика, увел. 2000^x
Fig. 3. Quasi-crystals of quartz sandstones of Donbas, replica, SW. 2000^x

В случае достаточных по величине, но кратковременных напряжений, указанный процесс не реализуется или реализуется не в полной мере, что может приводить к образованию направленной трещиноватости кливажа, серии сбросов и других направленных деформаций на разных масштабных уровнях.

Выводы

Приведенный материал позволяет наглядно проследить существующую в природе цикличность в преобразовании микроstructures пород и минералов с изменением термобарических условий. Исходя из фактических данных, можно заключить, что этап преобразования породы заключается в формировании значительного объема

пластических микродеформаций, переводящих структуру вещества в метастабильное состояние. Дальнейшее ужесточение термодинамических параметров приводит, в конечном счете, к образованию новой структуры и новой породы (метаморфической, магматической). На этом заканчивается данный этап преобразования структуры и начинается новый. На новом этапе происходят аналогичные изменения: накопление энергетического потенциала, переход структуры из стабильного состояния в метастабильное, развитие пластических микродеформаций и реализация потенциальной энергии, накопленной породой, в новую, более устойчивую структуру.

Дальнейшие исследования планируется выполнять в направлении геологического моделирования и практической реализации изучаемого свойства – разработки методов прогнозирования нарушенных зон (зон повышенной трещиноватости) и мест сочленения нарушенных зон (потенциальных рудоносных узлов).

Список литературы / References

1. Эттингер И.Л. Необъятные запасы и непредсказуемые катастрофы. Москва, Наука, 1988, 175 с.
Ettinger I.L. 1988. Vast reserves and unpredictable catastrophe. M., Science, 175 p. (in Russian).
2. Осадочные породы. Новосибирск, Наука, 1990, 269 с.
Sedimentary rocks. 1990. Science, 269 p. (in Russian).
3. Бланк В., Буга С. Тверже алмаза. Наука и жизнь, 1995, №10, С. 61-65.
Blank V., Buga S. 1995. Harder than diamond. *Science and Life*, vol. 10, pp. 61-65 (in Russian).
4. Волярович М.П., Томашевская И.С., Будников В.А. Механика горных пород при высоких давлениях. Москва, Наука, 1979, 152 с.
Volarovich M.P., Tomashevskaya I.S., Budnikov V.A. 1979. Mechanics of rocks at high pressures. Moscow, Science, 152 p. (in Russian).
5. Кобелев Н.П., Конюхов В.А., Мальшаков А.Н. Влияние дислокаций на дисперсию скорости ультразвуковых волн в кристаллах. Физика твердого тела, 1984, Т. 26, №1, С. 259-261.
Kobelev N.P., Konyukhov V.A., Malshakov A.N. 1984. Effect of dislocations on the velocity dispersion of ultrasonic waves in crystals. *Solid State Physics*, vol. 26, iss.1, pp. 259-261 (in Russian).
6. Вайсбург Д.И., Семин Б.М., Таванов З.Г. и др. Высокоэнергетическая электроника твердого тела. Новосибирск, Наука, 1982, 225 с.
Vaysburd D.I., Semin B.M., Tavanov Z.G. et al. Z.G. 1982. High-energy solid-state electronics. Science, 225 p. (in Russian).
7. Баранов В.А. Квазикристаллы в кварце песчаников Донбасса. Геотехническая механика. 1998, №10, С. 35-40.
Baranov V.A. 1998. Quasicrystals in quartz sandstone of Donbass. *Geotechnical Mechanics*, vol.10, pp. 35-40 (in Russian).
8. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Москва, Прогресс, 1986, 432 с.
Prigogine I., Stengers I. 1986. Order out haosa. Moscow, Progress, 432 p. (in Russian).
9. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. Москва, Мир, 1979, 342 с.
Nicolis G., Prigogine I. 1979. Self-organization in nonequilibrium systems. From dissipative structures for ordering through fluctuations. Moscow, The World, 342 p. (in Russian).

Статья поступила 22.07.2015