

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МИНЕРАЛАХ, ПРЕТЕРПЕВШИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНУЮ УДАРНУЮ НАГРУЗКУ

Ивлиев А.И., Бадюков Д.Д., Кашкаров Л.Л., Куюнко Н.С.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва

ugechem@geochem.home.chg.ru

Вестник Отделения наук о Земле РАН, № 1(20)'2002

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/informbul-1.htm#planet-3

Введение

В истории формирования планет земной группы столкновения твердых тел играли решающую роль при аккреции и на ранней стадии их геологической эволюции. Эти же события оказали значительное влияние на развитие коры планет земной группы. На поверхности геологически активных планет, подобных Земле, при столкновении с телом, движущимся с космической скоростью, образуется кратер, который эродирует со временем. Поэтому, образовавшиеся ударные структуры, в большинстве случаев, можно распознать только по изменениям породы, произошедшим в процессе удара. При исследованиях ударных структур на земной поверхности важную роль играют полевой шпат, кварц и кальцит как одни из наиболее распространенных минералов.

Важное значение при исследованиях ударного воздействия на природные объекты имеет постановка модельных экспериментов. Наиболее распространен метод индивидуальной ударной нагрузки каждого исследуемого образца, в котором применяются плоские ударные волны, генерируемые с помощью накладных зарядов взрывчатого вещества, либо ударом алюминиевой пластиной, разогнанной продуктами детонации [1, 2]. Модельная постановка экспериментов по нагружению шаров, заполненных поликристаллическим природным веществом, сферически сходящимися волнами [3] открывает новые возможности изучения вещества, претерпевшего различные стадии ударного метаморфизма в пределах одного исследуемого образца. Исследование вещества, нагруженного в таких экспериментах, может оказаться полезным при интерпретации результатов изучения физико-химических превращений различных минералов, обусловленных воздействием высоких давлений и температур.

Экспериментальная часть.

Термолюминесценция (ТЛ), наведенная от внешнего источника радиоактивного излучения, исследовалась в образцах олигоклаза, кварца и кальцита, претерпевших ударное нагружение в различных модельных экспериментах. В качестве исходного материала для проведения ударных экспериментов использовались следующие образцы:

1. Кристаллы олигоклаза, содержавшие 18 моль% анортита, сдвойникованные по альбитовому закону с шириной двойников около 2 мм.
2. Кристаллы оптически чистого природного кварца.
3. Полосчатый желтовато-белый мрамор, сложенный ромбоэдрическими блочными агрегатами довольно монолитного кальцита с ярко выраженными спайностью и штриховкой. В образцах олигоклаза и кварца ударно-волновое нагружение проводилось либо с использованием накладных зарядов взрывчатого вещества, либо ударом высокоскоростной пластины о крышку ампулы, устройство которой обеспечивало однократное прохождение ударной волны. Образец кальцита в виде шара диаметром 48 мм был упакован в стальной гермочехол, который затем нагружался сферически сходящимися ударными волнами.

Регистрация ТЛ проводилась на усовершенствованном приборе, подробное описание которого приведено в [4]. Кривые свечения регистрировались в образцах с ударными нагрузками: олигоклаз – 9, 13, 22.5, 25.5 и 27 ГПа; кварц – 8.4, 9, 12.2, 20, 24, 27, 31.5, 34 и 49 ГПа. Образцы кальцит, выделенные из различных участков шара претерпели ударное нагружение в областях – 27.6-29.6, 29.6-31.7, 31.7-35.0, 35.0-39.1, 39.1-47.5, 47.5-53.1, 53.1-83.1 ГПа. Полученные результаты измерений характеристик ТЛ в этих образцах сравнивались с аналогичными результатами в исходных образцах олигоклаза, кварца и кальцита, которые не подвергались экспериментальному ударному нагружению.

Результаты и обсуждение.

Регистрация наведенной ТЛ показала высокую чувствительность интенсивности свечения в зависимости от величины ударной нагрузки, которую претерпели исследованные образцы. Кривые свечения образцов олигоклаза и кварца были обработаны с помощью специальной математической программы [5]. Последняя позволяла представить кривые свечения в виде набора из 11-ти гауссовых пиков с постоянной величиной полной ширины пика на половине его высоты (ПШПВ) и рассчитать интенсивность ТЛ каждого пика (I_p) [6, 7]. Проведенные вычисления позволили обнаружить линейную зависимость величины отношения интенсивности ТЛ различных гауссовых пиков от давления ударной нагрузки. В качестве примера, на рис. 1 приведена зависимость величины отношения I_{p9}/I_{p3} от давления ударной нагрузки в образцах олигоклаза. Где I_{p9} – интенсивность свечения 9-го пика, находящегося в температурном интервале 350-380 °С и I_{p3} – 3-го пика, находящегося в интервале 165-195 °С. Обнаруженная линейная зависимость в области давлений удара 0-25.5 ГПа, показанная на рис. 1 в виде прямой линии соответствует уравнению $I_{p9}/I_{p3} = 0.205 + 0.036 P$, где P – давление удара в ГПа, с коэффициентом корреляции (r), равным 0.99.

В образцах кварца обнаружена линейная зависимость величины $I_{p(3+4)}/I_{p8}$ от давления ударной нагрузки во всем диапазоне наведенных давлений: 0-49 ГПа, показанная на рис. 2. На этом рисунке $I_{p(3+4)}$ – суммарная интенсивность свечения 3-го и 4-го пиков, находящихся в температурном интервале 175-235 °С и I_{p8} – интенсивность 8-го пика, находящегося в интервале 335-365 °С. Обнаруженная линейная зависимость, показанная на рис. 2 в виде прямой линии соответствует уравнению $I_{p(3+4)}/I_{p8} = 6.05 - 0.10 P$, с величиной r , равной 0.96.

В образцах кальцита, претерпевших нагружение сферически сходящимися ударными волнами, обнаружены линейные зависимости интегральной интенсивности ТЛ ($I_{ТЛ}$) в области 80-340 °С от величины давления ударной нагрузки, показанные на рис. 3. Из приведенных на рисунке результатов видно, что величина $I_{ТЛ}$ уменьшается с ростом ударной нагрузки до ~ 35 ГПа в образцах относительно исходного образца. В области ударных нагрузок от ~ 35 до ~ 83 ГПа наблюдается увеличение величины $I_{ТЛ}$. Проведенные вычисления показали, что изменения величины $S_{ТЛ}$ в указанных интервалах ударной нагрузки носят линейный характер и описываются уравнениями:

$$I_{ТЛ} = -0,020 P + 1.00 \quad (1)$$

$$\text{и } I_{ТЛ} = 0,022 P - 0.44 \quad (1a),$$

где уравнение (1) соответствует области 0-35 ГПа, а уравнение (1a) - 35-83 ГПа, величины $I_{ТЛ}$ выражены относительно исходного образца, значение которого принято за 1, а P - давление удара в ГПа. Величины достоверности r равны 0.998 и 0.976 соответственно. На рис. 3 прямая, проведенная согласно уравнению (1), показана сплошной линией, а уравнению (1a) - пунктиром. Таким образом, впервые при исследовании образцов, претерпевших ударную нагрузку, наведенную в модельных экспериментах, получена барометрическая шкала в двух областях ударных давлений методом измерения величины площади под кривыми свечения ТЛ.

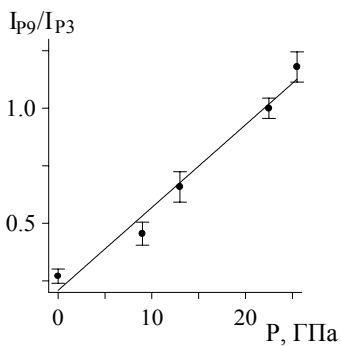


Рис. 1. Зависимость величины отношения интенсивностей ТЛ в образцах олигоклаза от давления ударной нагрузки.

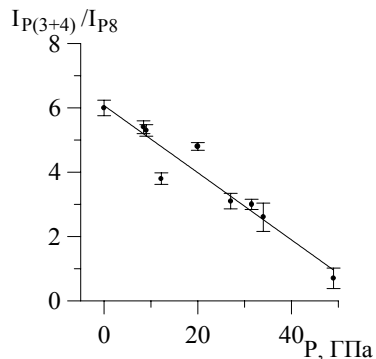


Рис. 2. Зависимость величины отношения интенсивностей ТЛ от давления ударной нагрузки в образцах кварца.

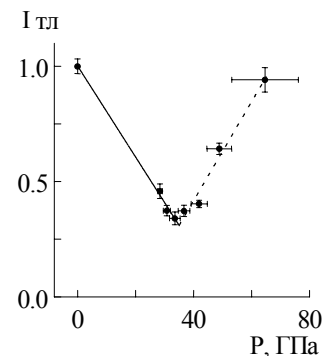


Рис. 3. Зависимость величины интенсивности ТЛ от давления удара в образцах кальцита.

Литература

1. *Ананьин А.В., Бреусов О.Н., Дремин А.Н. и др.* Воздействие ударных волн на двуокись кремния. 1. Кварц // Физика горения и взрыва. 1974. №3. С.426-436.
2. *Бадюков Д.Д.* Воздействие ударных волн на основные типы породообразующих минералов. Метеоритика // М.: Наука. 1986. С.122-130.
3. *Литвинов Б.В., Козлов У.А., Жигун Ю.Н. и др.* О новых экспериментальных возможностях изучения полиморфных и фазовых превращений, твердофазных химических реакций в минералах и горных породах // ДАН СССР. 1991. Т.319. №6. С.1428-1429.
4. *Ивлиев А.И., Иванова М.А., Афанасьев С.А., Куюнко Н.С., Скрипник А.Я.* Исследование метаморфизма неравновесных обыкновенных хондритов термолюминесцентным методом // Геохимия. 2002. (в печати).
5. *Николаев В.И., Русаков В.С.* Мессбауэровское исследование ферритов // М.: МГУ. 1985. 224с.
6. *Ивлиев А.И., Бадюков Д.Д., Кашкаров Л.Л.* Исследования термолюминесценции в образцах, подвергнутых экспериментальной ударной нагрузке. I: Олигоклаз. // Геохимия. 1995. №9. С.1368-1377.
7. *Ивлиев А.И., Бадюков Д.Д., Кашкаров Л.Л.* Исследования термолюминесценции в образцах, подвергнутых экспериментальной ударной нагрузке. II: Кварц. // Геохимия. 1996. №10. С.1011-1018.