

К ВОПРОСУ ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Кашкаров Л.Л.

Институт геохимии и аналитической химии им В.И. Вернадского РАН, (ГЕОХИ РАН)
ugeochem@geochem.home.chg.ru; тел. (095) 137-86-14

Ключевые слова: силикаты лунного грунта, радиационные эффекты, треки

Введение

Вещество лунного реголита подвергается воздействию широкого спектра частиц космического излучения. В зависимости от их заряда, массы и энергии в кристаллах силикатных минералов возможны разного рода радиационные эффекты [1]. Одним из них является изменение химического и фазового составов силикатов, облучаемых на самой поверхности реголита наиболее интенсивным потоком ионов солнечного ветра и солнечных космических лучей.

Моделирование процессов модификации силикатов под воздействием низкоэнергетичных ионов H, D, He и Ar [2,3] показало, что химический состав межпланетного вещества может быть существенно изменен в результате его облучения ядерной компонентой космических лучей. В связи с этим, одной из задач космохимии является исследование процессов ионной модификации элементного состава природных объектов, в частности, силикатов лунного грунта.

Целью настоящего исследования является разработка методики поиска, идентификации и отбора индивидуальных микрокристаллов силикатных минералов из вещества лунного реголита с определенными радиационными и радиационно-термическими характеристиками. Отобранные таким образом кристаллы предназначаются для изучения процессов структурной и химической модификации, происходившей в них при облучении ионизирующим излучением СВ и СКЛ во время нахождения на поверхности Луны.

В работе приводятся наиболее характерные случаи облучения микрокристаллов на поверхности лунного реголита. Для индивидуальных кристаллов силикатных минералов на основании измеренных параметров треков ядер группы Fe ($23 < Z < 28$) СКЛ может проводиться количественная оценка величины доз облучения ионами СВ разных элементов с различной энергией.

Эффекты радиационного воздействия на поверхности Луны.

Вещество, находящееся на поверхности Луны в отсутствии экранирующего слоя подвергается облучению наиболее интенсивным потоком ядер СВ и СКЛ. Из-за огромного различия энергии ядер, входящих в состав СВ и СКЛ, практически в каждом из кристаллов, когда-либо облучаемых на лунной поверхности, присутствуют следы разного рода радиационных микро-нарушений. Наиболее характерными для сильно облученных микрокристаллов силикатов лунного грунта являются аморфные покрытия, образовавшиеся на поверхности кристаллов в результате бомбардировки ионами СВ, а также треки ядер VH-группы СКЛ.

Аморфные покрытия на поверхности кристаллов. Аморфизация верхнего слоя кристаллов происходит в результате имплантации низкоэнергетичных ионов СВ ($E_{\text{ион}} \sim 1 \text{ кэВ} \times \text{нукл}^{-1}$). Толщина аморфного слоя должна соответствовать длине пробега ионов H и He, на долю которых приходится около 99% всего излучения СВ. Однако, как показали многочисленные наблюдения микрокристаллов лунного реголита из колонки "Луны 16", толщина аморфного покрытия изменяется от $\sim 10 \text{ нм}$ до $\sim 100 \text{ нм}$. Можно указать на две основные причины, приводящие к существенному различию толщины аморфного слоя: 1) Геометрия облучения кристалла на поверхности реголита, причем максимальная толщина аморфного слоя будет соответствовать случаю нормально ориентированных к облучаемой поверхности кристалла ионов СВ; 2) Возможное удаление части вещества аморфного покрытия в результате эрозионных процессов. К такому выводу, в частности, приводит обнаружение в некоторых сильно облученных кристаллах лунного грунта, газовых пузырьков, расположенных в приповерхностном тонком ($\leq 0.1 \text{ мкм}$) слое этих кристаллов. Формирование газовых пузырьков, как показали экспериментальные исследования [4], происходит в результате нагрева облученных ионами СВ кристаллов. Существенным при этом оказывается то, что при большой поверхностной плотности пузырьков

часть из них перекрывается друг с другом, пузырьки вскрываются, и это приводит к эффективному удалению вещества с поверхности кристалла. Кроме того, эрозия вещества с поверхности силикатов происходит в результате бомбардировки микрометеоритами, а также при выбивании с поверхности отдельных атомов, происходящем при ядерных столкновениях.

Таким образом, исходя только из факта наличия или отсутствия на поверхности кристаллов аморфного слоя, нельзя сделать однозначный вывод как о вероятном облучении этих кристаллов ионами СВ, так и о суммарной дозе ионного облучения.

Треки ядер VH-группы СКЛ. Глубина проникновения ядер VH-группы, образующих в силикатах видимые следы своего торможения, в зависимости от энергии составляет от ~ 0.1 мкм до ~ 15 мкм для $E_{Fe} \approx (0.1 - 10) \text{ МэВ} \times \text{нуклон}^{-1}$. Ядра с такой энергией входят в состав СКЛ и являются основным источником треков, наблюдаемых в силикатах, когда-либо оказавшихся на лунной поверхности.

В плане рассматриваемой проблемы необходимо указать на следующие характерные особенности трековых исследований: (1). Плотность треков от VH-ядер СКЛ в области низких ($\leq 1 \text{ МэВ} \times \text{нуклон}^{-1}$) энергий достигает $10^{10} - 10^{11} \text{ трек} \times \text{см}^{-2}$. Кристаллы микронных размеров с такой плотностью треков изучаются с помощью высоковольтного электронного микроскопа [5]. Однако условия наблюдения в этом случае не дают возможности для дальнейшего отбора и исследования микрокристаллов с максимальной дозой имплантированных ионов СВ. (2). Кристаллы размером больше ~ 10 мкм, имеющие так же очень высокую ($\sim 10^{10} \text{ трек} \times \text{см}^{-2}$) плотность треков, с помощью описанной выше методики просматриваться не могут из-за поглощения электронов. Для изучения треков с помощью электронного сканирующего микроскопа, однако, необходимо проводить предварительное "мягкое" химическое травление треков.

Заключение

Изложенное выше приводит к необходимости применения следующей методики обнаружения и отбора индивидуальных кристаллов лунного грунта, предназначенных для изучения в них процессов ионной модификации под действием имплантированных ионов СВ и сравнительно низкоэнергетичных ядер СКЛ: (1) Для исследования из вещества лунного грунта отбираются кристаллы силикатов размером не менее $\sim (50 - 100)$ мкм; (2) Кристаллы монтируются в эпоксидные таблетки, шлифуются, полируются и протравливаются в условиях "мягкого" травления с целью выявления наиболее сильно облученных образцов; (3) После предварительного просмотра и идентификации кристаллов с плотностью треков не ниже $\sim 10^8 \text{ трек} \times \text{см}^{-2}$ отобранные таким образом кристаллы монтируются вторично на новую таблетку, с помощью которой проводится детальное измерение параметров треков на электронном сканирующем микроскопе. При этом главным критерием облучения данного кристалла на лунной поверхности становится наличие градиента плотности треков. Характер изменения плотности треков в приповерхностном (около 20 мкм) слое кристалла является, в частности, индикатором степени его эрозионной переработки. Для кристаллов с высокой плотностью треков по всему объему, не обнаруживающих градиента, возможно облучение в течение длительного времени на некоторой глубине от поверхности реголита. В данном случае радиационное воздействие от ионов СВ ставится под сомнение.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 04-05-64930)

Литература

1. Kashkarov L.L. 1996. Advanced Mineralogy. Springer-Verlag, V.3, P. 73.
2. Шиловская С.Н., Кузьмин Л.Е. 2003, Астрон. Вестн. Т.37, №2, с.144;
3. Шиловская С.Н., Кузьмин Л.Е. 2004, Астрон. Вестн. Т.38, №1, с.1.
4. Kashkarov L.L. et al. 1998. Abstr. of the 3rd Internat. Conf. on the explor. and utilizat. of the Moon, 1998, P.24.
5. Borg J. et al. 1976. Earth Planet. Sci. Lett. V.29. P. 161.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(22) 2004

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2004)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/informbul-1/planet-12.pdf

Опубликовано 1 июля 2004 г.

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2004

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна