

Взаимодействие солнечного ветра с горными породами на Луне

В. В. Аверин

Институт металлургии и металловедения им. А. А. Байкова РАН
aver@imet.ac.ru, тел.: 8 (499) 135 9448

Ключевые слова: термодинамическое моделирование, солнечный ветер, восстановление оксидов лунных пород

Ссылка: Аверин, В. В. (2011), Взаимодействие солнечного ветра с горными породами на Луне, *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ6001, doi:10.2205/2011NZ000131.

Взаимодействие электрически заряженных частиц, составляющих основу солнечного ветра, с горными породами на Луне представляет несомненный теоретический и практический интерес в связи с международными программами освоения спутника Земли. На протяжении миллионов лет при практическом отсутствии защитной газовой атмосферы (давление 10^{-6-8} Нг) поверхность Луны подвергается воздействию солнечного ветра, ультрафиолетового излучения, а также галактического космического излучения (ГКИ). В составе ГКИ, как и в солнечном ветре основную часть корпускулярных частиц составляют протоны (94%) и α -частицы (5%) при незначительном количестве других относительно легких элементов (С, О и пр.). [Адамович, 1997] Энергия протонов оценивается в несколько электрон-вольт, а при повышенной активности Солнца достигает значительно больших значений. Световое давление, приведенное выше, а также температура, достигающая 150 °С и сохраняющаяся в течение нескольких суток, дают возможность производить термодинамическую оценку воздействия протонов как основной составляющей солнечного ветра на поверхностные слои горных пород, а также на реголит. В настоящее время считается установленным, что проникновение частиц солнечного ветра проявляется на определенную глубину, как по трещинам в минералах, так и по поверхности порошкообразного реголита.

В работе [Махлин, 1995] по воздействию ионов водорода с энергией 5 кэВ на мишень (Fe_3O_4) установлено, что прямое восстановление железа в поверхностных слоях оксида происходит при температурах более низких, чем при химическом восстановлении, т. е. проявляется фактор активации процесса при проникновении ионов водорода в кристаллическую решетку магнетита. Следует заметить, что в пробах лунного грунта оксиды железа в чистом виде не обнаружены, а существуют в растворенном виде (базальт, оливин и пр.), а также в виде химического соединения (ильменит– FeTiO_3) из которых восстановление железа затруднено, что было показано работами автора [Аверин Резниченко, 2006; Аверин, 2007; Аверин и др., 2008]. Для термодинамической оценки процессов взаимодействия водорода в разреженном состоянии была использована программа Терра (термодинамические расчеты), [Трусов, 2002] успешно использованная в проведенных работах. автора [Аверин, Резниченко, 2006; Аверин, 2007; Аверин и др., 2008]. В основу программы положен принцип установления минимума свободной энергии (максимума энтропии) для рассматриваемой многокомпонентной системы, с учетом известных данных о термодинамических потенциалах возможных химических соединений. Принцип электронейтральности позволяет фиксировать количество и состав образующихся ионов и электронов при диссоциации молекул в высокотемпературной области. Результаты представляются в молях/кг, мольных долях, массовых долях, парциальных давлениях газов.

На рис. 1а приведены известные данные об изменении свободной энергии некоторых оксидов FeO , SiO_2 с ростом температуры, что отражает снижение химического сродства элементов и рост равновесного парциального давления кислорода в результате диссоциации оксидов. Пунктирными линиями показано изменение свободной энергии при образовании газообразных продуктов реакции диссоциации в виде низших оксидов CO , SiO .

Металлургия широко использует принцип снижения парциального давления продукта реакции раскисления стали углеродом (CO). Процессы диссоциации оксидных фаз лунных пород в результате ударов крупных метеоритов сопровождается последующим снижением давления и температуры. На Рис.1б показано изменение температуры распада кремнезема на монооксид и кислород со снижением давления. Из графика следует, что устойчивый при атмосферном давлении кремнезем используемый в качестве огнеупора при сталеплавильных температурах в области низких давлений термодинамически неустойчив и, например, при давлении 10^{-6} атм. (10^{-3} мм.рт.ст.) происходит его распад уже при 1600 К

(1300°C). В процессе удара метеорита развиваются высокие давления, температура и образуется облако паров, состоящее из продуктов распада оксидных фаз, в том числе в атомарном и частично ионизированном состоянии.

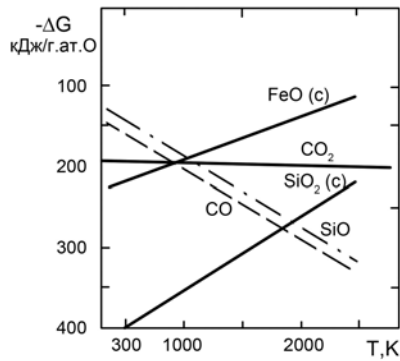


Рис. 1а. Свободные энергии некоторых оксидов FeO, SiO₂

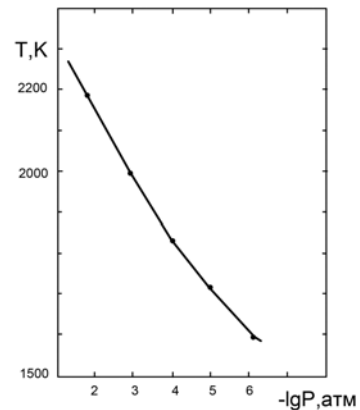
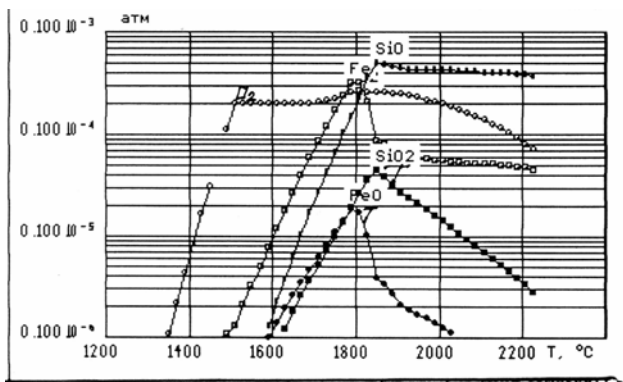


Рис. 1б. Изменение температуры распада кремнезема на монооксид и кислород со снижением давления

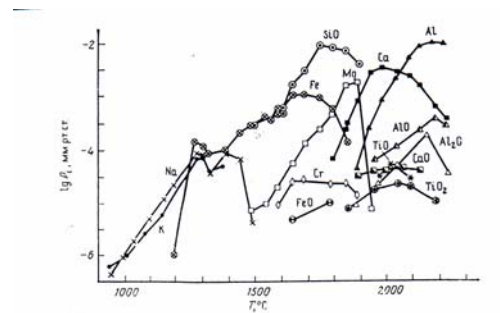
На Рис. 1а, приведены известные данные об изменении свободной энергии некоторых оксидов FeO, SiO₂ с ростом температуры. Рис. 1б, показывает изменение температуры распада кремнезема на монооксид и кислород со снижением давления.

На рис. 2а, б приведены последовательно наши расчетные и экспериментальные данные [Маркова, 1986] об испарении лунного базальта Ар-68415.40 состава: SiO₂ – 45.5, TiO₂ – 0.3, Al₂O₃ – 28.7, FeO – 4.5, MgO – 4.4, CaO – 16.4, Na₂O – 0.4, K₂O – 0.1. Частично эти вопросы были рассмотрены ранее [Аверин, Яковлев, 2010].

Расчетные данные в данном случае приведены избирательно для четкого отображения изменения парциальных давлений кремний и железосодержащих компонентов, а также равновесного давления кислорода. На обоих рисунках характерно образование в области высоких температур, паров Fe, Si, O которые при охлаждении конденсируются с переходом SiO – SiO₂ со снижением давлений кислорода, Fe и SiO₂. Совместная конденсация в области относительно высоких температур приводит к образованию большого количества несмешивающихся глобулей, причем конденсат железа может также приобретать пластинчатую форму при растекании на поверхности крупных частиц грунта.



А



Б

Рис.2. приведены последовательно расчетные и экспериментальные данные парциальных давлений компонентов при испарении лунного базальта

Сопоставление температурных зависимостей парциальных давлений водяного пара как результата взаимодействия солнечного ветра с ильменитом и лунным базальтом. показало, что оно ниже у ильменита. чем у базальта. Табличные данные о стандартных энтальпиях на 1 г.ат кислорода отличаются для титаната и силиката и равны соответственно 419 и 383 кДж/ г.ат.кислорода. [Верятин, 1965]

Литература

Аверин, В. В. (2007). Термодинамическое моделирование взаимодействия водорода с оксидами титана, *Технология металлов*, №3, сс. 40–43.

Аверин, В. В., В. А. Резниченко (2006) Термодинамическое моделирование процессов восстановления оксидов титана углеродом, *Технология металлов*, № 4, сс.46–49.

Аверин, В. В., В. А. Резниченко, Б. Г. Трусов(2008), Термодинамическое моделирование процесса хлорирования оксидов титана. *Технология металлов*, №8.

Аверин, В. В., О. И. Яковлев (2010)б Термодинамическое моделирование процесса испарения лунного базальта. *Труды 11 международной конференции " Физико-химические и петрографические исследования в науках о Земле*, М., ГЕОХИ 11-13 окт.2010, сс. 11–14.

Адамович, Б., В. Горшенин (1997), *Жизнь вне Земли*. Изд. Рау-корпорация, М.

Верятин, У. Д. и др. (1965), *Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник под редакцией Зефирова А.П.* Атомиздат, с. 460.

Маркова, О. М., О. И. Яковлев и др. (1986). Некоторые общие результаты экспериментов по испарению природных расплавов в камере Кнудсена, *Геология*, № 11, сс.1559–1569.

Махлин, Н. А. и др. (1995), Восстановление поверхностных слоев монокристаллов магнетита ускоренными ионами водорода, *ФХОМ*, №5, сс.193–210.

Трусов, Б. Г. (2002), Программная система Терра для моделирования фазовых и химических равновесий в плазмохимических процессах, *Труды III межд. симпозиума по теор. и прикл. Плазмохимии*, Иваново, сс. 217–220.