

УДК 523.34-36

Исследование связанных летучих соединений в лунном грунте методом дифференциального термического анализа

Кучуков Артур Вадимович

artur.kuchukov@cosmos.ru

Кузовчикова Анна Сергеевна

vasilljeva@cosmos.ru

Герасимов Михаил Владимирович

mgerasim@cosmos.ru

Зайцев Максим Андреевич

mzaitsev@cosmos.ru

ИКИ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено применение метода дифференциального термического анализа для исследования связанных летучих соединений в лунном грунте. Представлена математическая модель фазовых превращений, происходящих в грунте при изменении температуры. Составлена тепловая модель пиролитической ячейки, предназначенной для нагрева грунта до температуры 1000 °С. Показана схема установки для проведения эксперимента в лабораторных условиях на грунтовой смеси, моделирующей лунный грунт. Сделано заключение о применимости метода для исследования химического состава лунного грунта на основании вычисленной и экспериментально подтвержденной чувствительности метода.

Ключевые слова: дифференциальный термический анализ, лунный грунт, фазовые превращения, тепловая модель, газовая смесь

Введение. Летучие компоненты в лунном реголите имеют весьма разнообразный состав [1]. В нем присутствует не только вода и углекислый газ, но и органические вещества [2]. Для извлечения адсорбированных лунными породами летучих веществ и изучения их состава предлагается использование дифференциального термического анализа. Для его применения к лунному грунту была разработана пиролитическая ячейка. Она имеет габариты 44×22 мм и систему экранов, защищающих окружающие объекты от теплового излучения ячейки. Это делает ее пригодной для использования на космических аппаратах. Принцип работы пиролитической ячейки заключается в постепенном нагреве исследуемого вещества с помощью электрического нагревателя до 1000 °С. Таким образом, при низких температурах из образца выделяются легколетучие вещества, а при более высоких температурах происходит термодесорбция летучих веществ из лунного реголита. В конструкции ячейки присутствуют две термопары, измеряющие температуру грунта в центре ячейки и на ее стенке [3]. Методики определения химического состава грунта построены на анализе температур, измеренных с помощью термопар.

Методы и материалы; результаты. Для отработки методик исследования летучих веществ в грунте использовались модельные смеси на основе прокаленного SiO₂ с добавлением MgCO₃ (1,00, 0,50, 0,10 % масс). При протекании реакции термического разложения выделялся газ CO₂, появление которого в системе влияло на теплопроводность среды, что приводило к откло-

нению показателей роста температуры образца. Было рассмотрено три методики:

1. Обеспечение постоянного линейного роста температуры грунта при помощи управления мощностью нагревательного элемента. Обратная связь системы управления основывалась на показаниях двух термопар. Настройка обратной связи оказалась очень трудоемкой. Достичь положительного результата при помощи этой методики не удалось.

2. Обеспечение линейного роста мощности нагревателя. Показания двух термопар являлись выходными параметрами без участия в системе управления нагревом. По величине отклонения температур от линейного роста, а также по разнице показаний термопар определялся термический эффект реакции разложения и само разложившееся вещество. Из-за малых размеров ячейки, не удалось отделить полезный сигнал от шумового.

3. Обеспечение линейного роста мощности нагревателя. Выходным параметром являлись показания только одной термопары. Нагрев одного объема грунта происходил дважды по одинаковой циклограмме. При первом нагреве происходило разложение карбоната магния, наблюдалось отклонение показателей в виде пика на температурной кривой. При повторном нагреве фазовых превращений не происходило, и температура не отклонялась от линейного роста. Выходной сигнал позволил с достаточной точностью определить диапазон температур, при которых разлагается карбонат магния, и определить влияние количества вещества на площадь пика получаемого сигнала. В дальнейшем позволит использовать прибор для качественного определения составов смесей образцов и с более сложной композицией.

Заключение. Показано, что метод дифференциального термического анализа допустимо применять при изучении грунтов небесных тел. В дальнейшем планируется провести детальные исследования свойств ячейки с другими модельными смесями, содержащими $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и CaCO_3 для оптимизации режимов анализа и возможной калибровки для не только качественного, но и количественного анализа лунного грунта.

Список источников

- [1] Иванов А.В. Летучие компоненты в образцах летучего реголита. Обзор. *Астрономический вестник*, 2014, т. 48, № 2, с. 120–138.
- [2] Charles M.D. et al. Carbon compounds in Apollo 12 lunar samples. *Nature*, 1971, vol. 232, pp. 94–98.
- [3] Gerasimov M. et al. The gas analytical complex for study of the lunar subpolar regolith volatiles. *The ninth Moscow solar system symposium*, 2018, pp. 325–326.