**Разработка марсианского грунта-аналога по химическим и минералогическим свойствам для геохимических и астробиологических целей и для тестирования научной аппаратуры**

*Д.Д. Миронов*1,2

1. Институт геохимии и аналитической химии РАН (ГЕОХИ РАН), Москва, Россия

2. Институт экологии РУДН (ИЭ РУДН), Москва, Россия

*Введение:*

Имитаторы грунта планетных и малых тел Солнечной системы разрабатываются и создаются для самых различных научно-технических задач, а также для различных научных исследований, например, для понимания геологической истории района исследования и оценки вероятности обитаемости (Payler et al, 2017). Область применения имитаторов марсианского грунта достаточно широка, начиная с моделирования геохимических (Peters et al, 2008), и эоловых процессов (Nørnberg et al, 2009), и заканчивая использованием марсианского грунта в производстве строительных материалов (Scott et al, 2017). существующие аналоги Марсианского грунта по ряду критериев не подходят для лабораторного моделирования определенного участка поверхности планеты. Лабораторное моделирование таких участков имеет значение для будущих миссий, в том числе в качестве выбора местности для колонизации. Такими местами могут быть, например, кратеры плато Меридиани. кратер Игл – 22-метровый ударный кратер на Марсе, который был изучен с помощью марсохода Оппортьюнити (Squyres et al, 2006). Детальное изучение данного кратера показало разнообразие химического и минерального состава пород и грунтов. Таким образом, в отличие от уже известных и описанных выше марсианских грунтов аналогов, была выявлена необходимость в создании нового имитатора марсианского грунта, который будет более точно описывать одну из определенных областей Марса.

*Основной текст:*

Наиболее подходящими компонентами оказались грунт с Халактырского пляжа и вулканический дренаж. Добыча и доставка материала с Халактырского пляжа являются более доступными по сравнению с образцами, которые могут быть отобраны с вулканов Камчатки, а образец дренажа можно приобрести в большом количестве по доступной цене. Минеральный состав грунта Халактырского пляжа схож с составом некоторых вулканов Камчатки. Минералы представлены плагиоклазом, пироксеном (ортопироксеном энстатит-ферросилитового ряда), в состав также входят рудные минералы – титаномагнетит и магнетит, в качестве акцессорных – кварц и некоторые другие. Отмечается высокая концентрация рудных зёрен. Можно охарактеризовать песок с Халактырского пляжа как базальтовый, который близок к составу базальтовых песков в районе Meridiani Planum. Образец вулканического дренажа, именуемого так производителем, содержит большое количество кальция (19%), что является его главной особенностью в качестве компонента. В образце встречаются крайние члены изоморфных рядов плагиоклаза и хромшпинелида, а именно анортит и хромит. Хромит находится в виде включений. В дробленом состоянии, в качестве основных минералов встречаются клинопироксен и пироксферроит, которые ассоциируются с оливином, также присутствует корунд. В качестве включений также часто наблюдается пентлантит, который ассоциирует с магнетитом, пирротином и халькопиритом, которые являются результатом окисления в условиях полупустынного климата. Многие минералы, которые встречаются в данном образце, характерны для марсианской поверхности. Методом подбора было определено, что наиболее подходящее имитирование достигается при смешивании компонентов в соотношении 2:1, где 2 части – вулканический дренаж, а 1 – песок с халактырского пляжа. С помощью истирателя полученная смесь измельчается до размеров, сопоставимых с фракцией, ранее рассмотренной для имитатора OUEB (Ramkissoon еt al, 2019), а именно 0,4-0,9 мм. Полученную модельную смесь можно отнести по химическому составу к основным породам, на что указывает содержание кремнезема (не больше 50%) и высокое содержание кальция (16,65%). грунт-аналог VI-M2 (табл. 1) близок к породе Баунс из кратера Игл (Schröder et al, 2011). Об этом также свидетельствует схожее соотношение Fe/Mn грунта-аналога VI-M2 c образцом Bounce rock (34,35% против 36,28%), что ниже, чем такое же соотношение для марсианских грунтов из кратеров Гусева и Игл (50-51%).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **SiO2** | **Al2O3** | **CaO** | **FeO(т)** | **MgO** | **Na2O** | **K2O** | **P2O5** | **TiO2** | **MnO** | **Cr2O3(т)** | **SO3(т)** | **Cl** | **Loi** | **Sum,%** |
| **MP Eagle crater** | 45,5 | 8,8 | 7,52 | 20,1 | 7,2 | 1,4 | 0,48 | 0,82 | 1,09 | 0,4 | 0,52 | 4,93 |  |  | 98,76 |
| **MP bounce rock RAT** | 50,8 | 10,1 | 12,5 | 15,6 | 6,4 | 1,3 | 0,1 | 0,95 | 0,78 | 0,43 | 0,78 | 0,52 | 0,06 |  | 100,32 |
| VI-M2 | 45,86 | 9,34 | 15,9 | 16,65 | 6,99 | 1,01 | 0,54 | 0,1 | 0,61 | 0,48 | 1,1 | 0,4 |  | 0,01 | 99,02 |

*Литература:*

1. Payler, S., Biddle, J., Coates, A., et al. (2017). Planetary science and exploration in the deep subsurface: Results from the MINAR Program, Boulby Mine, UK. International Journal of Astrobiology, 16(2), 114-129. doi:10.1017/S1473550416000045
2. Peters, G. H., Abbey, W., Bearman, G. H. et al. (2008). Mojave Mars simulant—Characterization of a new geologic Mars analog. Icarus, 197(2), 470–479. https:/ doi.org/10.1016/j.icarus.2008.05.004
3. Nørnberg, P., Gunnlaugsson, H. P., Merrison, J. P., & Vendelboe, A. L. (2009). Salten Skov I: A Martian magnetic dust analogue. Planetary and Space Science, 57(5–6), 628–631. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2008.08.017>
4. Scott, A. N., Oze, C., Tang, Y., & O’Loughlin, A. (2017). Development of a Martian regolith simulant for in-situ resource utilization testing. Acta Astronautica, 131, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.11.024>
5. Squyres, Steven W., et al. Overview of the opportunity mars exploration rover mission to meridiani planum: Eagle crater to purgatory ripple. Journal of Geophysical Research: Planets 111.E12 (2006).
6. Nisha K. Ramkissoon, Victoria K. Pearson, Susanne P. Schwenzer, Christian Schröder, Thomas Kirnbauer, Deborah Wood, Robert G.W. Seidel, Michael A. Miller, Karen Olsson-Francis, New simulants for martian regolith: Controlling iron variability, Planetary and Space Science, Volume 179, 2019, 104722, ISSN 0032-0633, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2019.104722>.
7. Schröder, Christian & Jolliff, Brad & Gellert, Ralf et al (2011). Bounce Rock—A shergottite‐like basalt encountered at Meridiani Planum, Mars. Meteoritics & Planetary Science. 46. 1 - 20. 10.1111/j.1945-5100.2010.01127.x.