

## Создание физической модели Фобоса с использованием данных миссии „MarsExpress“

© Ю.А. Колосов,<sup>1</sup> А.О. Андреев,<sup>2</sup> Н.Ю. Демина,<sup>1</sup> Ю.А. Нефедьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
420008 Казань, Россия

<sup>2</sup> Казанский государственный энергетический университет,  
420066 Казань, Россия  
e-mail: koloyna@gmail.com

Поступило в Редакцию 11 мая 2023 г.

В окончательной редакции 11 мая 2023 г.

Принято к публикации 30 октября 2023 г.

Выполнен анализ данных дистанционного зондирования Фобоса на основе данных космических миссий „MarsExpress“ и „Viking Orbiter“. На основе данного исследования была построена структурная модель Фобоса. Согласно полученным результатам можно сделать вывод, что рельеф Фобоса весьма неоднозначен. Вся его поверхность покрыта множеством следов от метеоритных ударов — кратерами. Получены параметры для серии ударных кратеров и произведен их многофакторный анализ.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Фобоса, моделирование планетофизических параметров, астрофизические исследования.

DOI: 10.21883/0000000000

### Введение

Фобос — один из двух естественных спутников Марса, самый близкий к планете [1]. При этом Фобос перемещается по орбите на самом близком расстоянии к основному телу относительно других планетарных спутников Солнечной системы [2]. Спутник Марса находится в 40 раз ближе к его поверхности, чем Луна к поверхности Земли. Местонахождение и параметры орбиты Фобоса — это предел Роша. Пределом Роша называется радиус круговой орбиты спутника, который вращается вокруг определенного космического объекта, при этом вызванные гравитацией центрального тела приливные силы примерно сопоставимы с силой гравитации самого спутника. Благодаря собственной внутренней прочности Фобос не разрывается. Приливное воздействие со стороны Марса день ото дня затормаживает движение Фобоса, оказывает влияние на его орбитальную высоту и должно в ближайшие 40–80 миллионов лет привести либо к его разрушению и падению на Марс, либо к тому, что он превратится в кольцо вокруг планеты, аналогичное кольцам планет-гигантов. Фобос характеризуется очень низкой отражательной способностью с альбедо, равным 0.07, и, по всей видимости, имеет достаточно рыхлую структуру с тонкой внешней корой. Изучению Фобоса уделяется большое внимание в мировой космической практике. Это объясняется тем, что физические параметры Фобоса отличны от параметров остальных естественных спутников планет, и Фобос является одним из немногих естественных спутников, в недрах которого возможно обнаружение остаточных процессов, протекавших на ранних этапах зарождения Солнечной системы. Важной космической миссией, в задачи которой входило исследование Фобоса, стал

эксперимент „MarsExpress“ [3]. Миссия „MarsExpress“ исследовала Марс, и ее основными научными целями были создание глобальной геологической карты, изучение состава атмосферы и структуры недр планеты и исследование влияния межпланетной среды на атмосферу Марса [4]. Кроме того, в ходе реализации данной миссии было выполнено картографирование Фобоса с использованием системы дистанционного зондирования Фобоса (ДЗФ). По результатам ДЗФ были получены данные более чем для 80% поверхности спутника, а непокрытые ДЗФ области были дополнены данными, полученными миссией „Viking Orbiter“.

На рис. 1, 2 изображена трехмерная модель спутника Марса, которая была построена с помощью программы, основанной на многопараметрическом анализе гармонических данных. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что рельеф Фобоса весьма неоднозначен. Вся его поверхность покрыта множеством следов от метеоритных ударов кратерами.

Самый известный кратер Фобоса Стикни находится в пределах 20–30° широты и от –15° до 5° долготы, внутри кратера Стикни есть еще один кратер — Лимток, он расположен в диапазоне 28–30° широты и –5–5° долготы. Неподалеку разместился кратер Дренло, его координаты 21–23° широты и 15–25° долготы. Зеленым цветом на модели (в онлайн версии) отмечена так называемая гряда Кеплера, расположенная от 0° до 110° и от 270° до 360° широты и от –60° до –50° долготы.

Наивысшая точка находится возле кратера Стикни, ее координаты 320–330° широты и 0–30° долготы, высота составляет 3073 km. Самая низкая точка находится в гряде Кеплера, ее высота составляет –2361 km.

Из анализа рис. 1 и 2 следует, что наиболее благоприятные места для посадки на спутник Марса — это

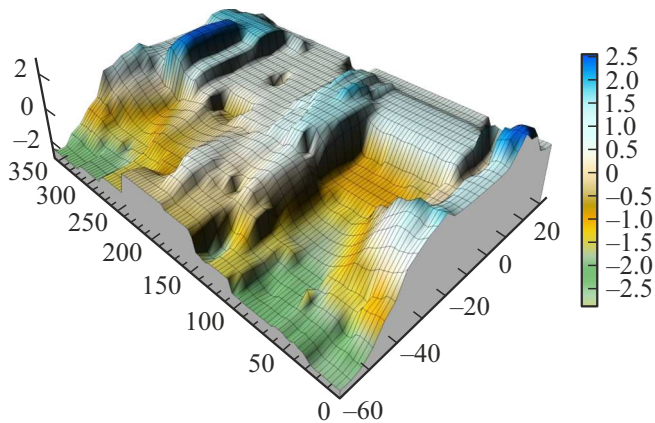


Рис. 1. Трехмерная модель Фобоса.

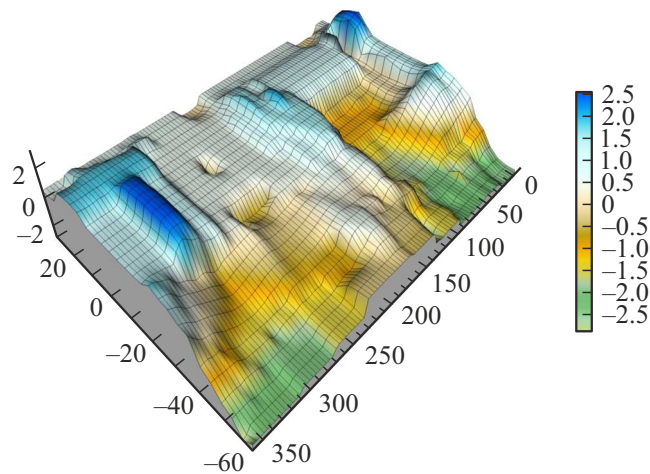


Рис. 2. Трехмерная модель Фобоса.

область Лапута, которая находится в пределах от  $50$  до  $150^\circ$  широты и от  $-10$  до  $15^\circ$  долготы. Если эта область является низкой для приземления, то рядом на возвышенности находится равнина Лагадо, которую тоже можно использовать как посадочную площадку. Также космический аппарат можно будет посадить вблизи кратера Дренло.

В заключение следует отметить

1. Фобос является большим из двух естественных спутников Марса, имеет неидеальную эллипсоидальную форму. Масса спутника составляет  $1.072 \cdot 10^{16}$  kg, из-за чего у него полностью отсутствует атмосфера, а его низкая плотность (около  $1.876 \text{ g/cm}^3$ ) позволяет сделать вывод о пористой структуре небесного тела,  $25\text{--}45\%$  объема которого занимают пустоты.

2. Полеты на Фобос пока остаются лишь запланированными в ближайшем будущем, так как посадка на его поверхность невозможна в силу малой изученности местности.

3. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что рельеф Фобоса весьма неоднозначен. Вся его

поверхность покрыта следами от метеоритных ударов — кратерами. Самый известный кратер Фобоса Стикни занимает область  $200\text{--}300^\circ$  широты и от  $-15^\circ$  до  $5^\circ$  долготы, внутри кратера Стикни есть еще один кратер — Лимток, он расположен в диапазоне  $280\text{--}300^\circ$  широты и  $-5\text{--}5^\circ$  долготы.

Пространственная модель Фобоса будет использоваться для изучения астрофизических параметров [5,6] и структуры Фобоса в Институте космических исследований при разработке миссий к Фобосу и в системах Роскосмоса.

### Финансирование работы

Авторы выражают благодарность за поддержку выполненных работ Российскому научному фонду, грант 22-72-10059.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Список литературы

- [1] P. Garnier, C. Jacquy, X. Gendre, V. Génot, C. Mazelle, X. Fang, J.R. Gruesbeck, B. Sánchez-Cano, J.S. Halekas. *J. Geophys. Res. Space Phys.*, **127** (5), e2021JA030147 (2022). DOI: 10.1029/2021JA030147
- [2] A. Sánchez-Lavega, H. Chen-Chen, I. Ordoñez-Etxeberria, R. Hueso, T. del Río-Gaztelurrutia, A. Garro, A. Cardesín-Moinelo, D. Titov, S. Wood. *Icarus*, **299**, 194 (2018). DOI: 10.1016/j.icarus.2017.07.026
- [3] M. Giuranna, P. Wolkenberg, D. Grassi, A. Aronica, S. Aoki, D. Scaccabarozzi, B. Saggin, V. Formisano. *Icarus*, **353**, 113406 (2021). DOI: 10.1016/j.icarus.2019.113406
- [4] V. Lainey, A. Pasewaldt, V. Robert, P. Rosenblatt, R. Jaumann, J. Oberst, T. Roatsch, K. Willner, R. Ziese, W. Thuillot. *Astron. Astrophys.*, **650**, A64 (2021). DOI: 10.1051/0004-6361/202039406
- [5] X. Yang, J.G. Yan, T. Andert, M. Ye, M. Pätzold, M. Hahn, W.T. Jin, F. Li, J.P. Barriot. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **490** (2), 2007 (2019). DOI: 10.1093/mnras/stz2695
- [6] Z. Girazian, Z. Luppen, D.D. Morgan, F. Chu, L. Montabone, E.M.B. Thiemann, D.A. Gurnett, J. Halekas, A.J. Kopf, F. Němec. *J. Geophys. Res. Planets*, **125** (5), e2019JE006092 (2020). DOI: 10.1029/2019JE006092