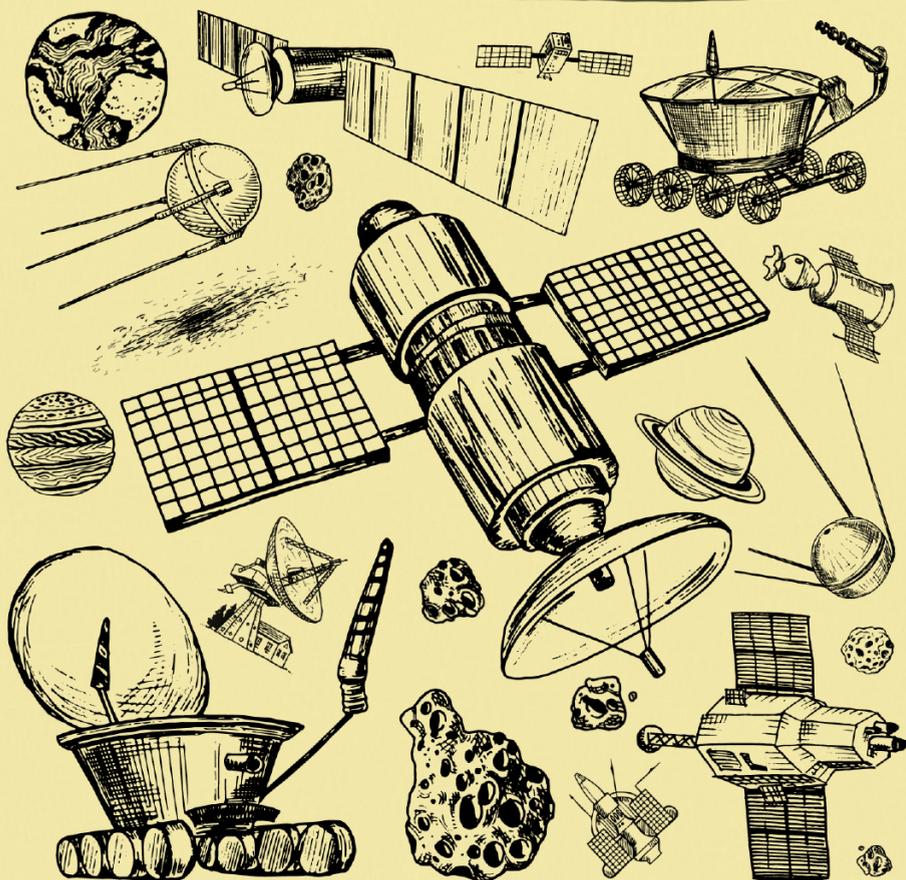


ДЕЛАЙ КОСМОС!



Земля – колыбель человечества. Пока мы остаемся в колыбели,
но уже неплохо кидаемся игрушками...



ВИТАЛИЙ ЕГОРОВ (ZELENYIKOT)



Вы смогли скачать эту книгу бесплатно на законных основаниях благодаря проекту **«Дигитека»**. [Дигитека](#) — это цифровая коллекция лучших научно-популярных книг по самым важным темам — о том, как устроены мы сами и окружающий нас мир. Дигитека создается командой научно-просветительской программы [«Всенаука»](#). Чтобы сделать умные книги доступными для всех и при этом достойно вознаградить авторов и издателей, «Всенаука» организовала всенародный сбор средств.

Мы от всего сердца благодарим всех, кто помог освободить лучшие научно-популярные книги из оков рынка! Наша особая благодарность — тем, кто сделал самые значительные пожертвования (имена указаны в порядке поступления вкладов):

Дмитрий Зимин
Алексей Сейкин
Николай Кочкин
Роман Гольд
Максим Кузьмич
Арсений Лозбень
Михаил Бурцев
Ислам Курсаев
Вадим Мельников
Павел Дорожкин
Артем Шевченко
Валерий Окулов
Евгений Шевелев
Александр Анисимов
Роман Мойсеев
Евдоким Шевелев

Мы также от имени всех читателей благодарим за финансовую и организационную помощь:

Российскую государственную библиотеку
Компанию «Яндекс»
Фонд поддержки культурных и образовательных проектов «Русский глобус».

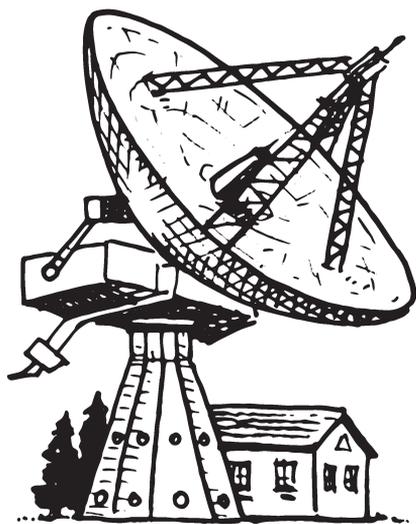
Этот экземпляр книги предназначен только для вашего личного использования. Его распространение, в том числе для извлечения коммерческой выгоды, не допускается.

ВИТАЛИЙ ЕГОРОВ

ДЕЛАЙ КОСМОС!

ВИТАЛИЙ ЕГОРОВ

ДЕЛАЙ КОСМОС!



Москва
Издательство АСТ

УДК 087.5:53
ББК 22.3
Е30

Егоров, Виталий.

Е30 **Делай космос! / Виталий Егоров** — Москва : Издательство АСТ, 2018. — 304 с. — (Научпоп Рунета).

ISBN 978-5-17-109423-2.

Покорители далеких планет часто становятся героями книг или фантастических фильмов. Они пересекают пояса астероидов, проносятся мимо живописных планет-гигантов, поднимаются на склоны инопланетных гор и любуются взеземными закатами... Будущее наступило, но не такое, как мы хотели. Теперь изучают и открывают космос настоящие покорители — роботы. Вместе с ними люди, не покидая Земли, пересекают миллионы километров пустоты, преодолевают трудности, находят решение в безвыходной ситуации и открывают нам загадки космоса. Предлагаем отправиться в путешествие с настоящими покорителями космоса: межпланетными зондами, луноходами и марсоходами.

Нашим проводником станет популяризатор и энтузиаст космонавтики Виталий Егоров (блогер Zelenyikot) — основатель сообщества в соцсетях «Curiosity-марсоход», администратор и редактор сообщества «Открытый космос», человек, нашедший на поверхности Марса советский спускаемый аппарат «Марс-3».

УДК 087.5:53
ББК 22.3

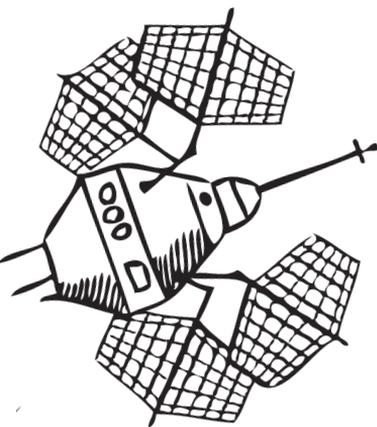
ISBN 978-5-17-109423-2.

© В.Егоров, текст, изображения, инфографика
© ООО «Издательство АСТ»



ЧТО ТАКОЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СТАНЦИИ?

ИЗ ЧЕГО СОСТОЯТ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СТАНЦИИ



Автоматическая межпланетная станция – это беспилотный космический аппарат, который запускают с Земли для исследования межпланетного пространства и различных тел Солнечной системы: Солнца, планет и их спутников, комет и астероидов, межпланетной пыли и газа. Для того чтобы околоземный спутник стал автоматической межпланетной станцией, ему требуется развить вторую космическую скорость – 11 км/с или около 40 000 км/ч – для преодоления силы притяжения Земли и выхода на околосолнечную орбиту. Иными словами, межпланетный полет – это полет по орбите вокруг Солнца.

Нескольким космическим аппаратам удалось развить третью космическую скорость (~16,6 км/с), которая позволила им преодолеть силу притяжения Солнца. Такой полет уже является межзвездным, несмотря на то, что путь до соседних звезд займет десятки тысяч лет.

Автоматические межпланетные станции еще иногда называют зондами, потому что они занимаются научными исследованиями, то есть зондируют при помощи различных

приборов межпланетное пространство и встречные космические тела.

Некоторые автоматические межпланетные станции отправляют в путешествие для исследования нескольких целей (например, астероидов и комет) с пролетных или облетных траекторий, и тогда станции или зонды остаются на околосолнечной орбите. Для других же аппаратов выбирают определенные цели, например: выход на орбиту вокруг Луны или Венеры или посадку на Марс, в таком случае их межпланетное путешествие вокруг Солнца завершается у цели исследования, и они совершают маневр торможения для изменения орбиты.

Космический аппарат — это сложная многофункциональная система, которая должна работать в суровых условиях далеко от Земли, поэтому все космические аппараты долго и старательно разрабатывают, многократно испытывая перед стартом.

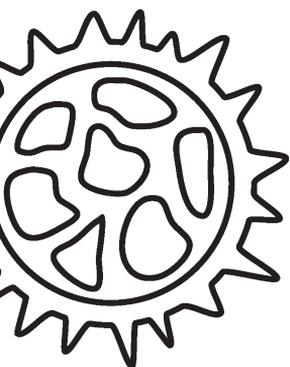
Для маневрирования в космосе зонды оснащаются ракетными двигательными установками, а для изучения космоса — научными приборами: телескопами, спектрометрами, радарами, лазерами.

Во время миссий перед космическим аппаратом стоит несколько задач:

1. Обеспечивать себя электричеством при помощи система электропитания. Она со-



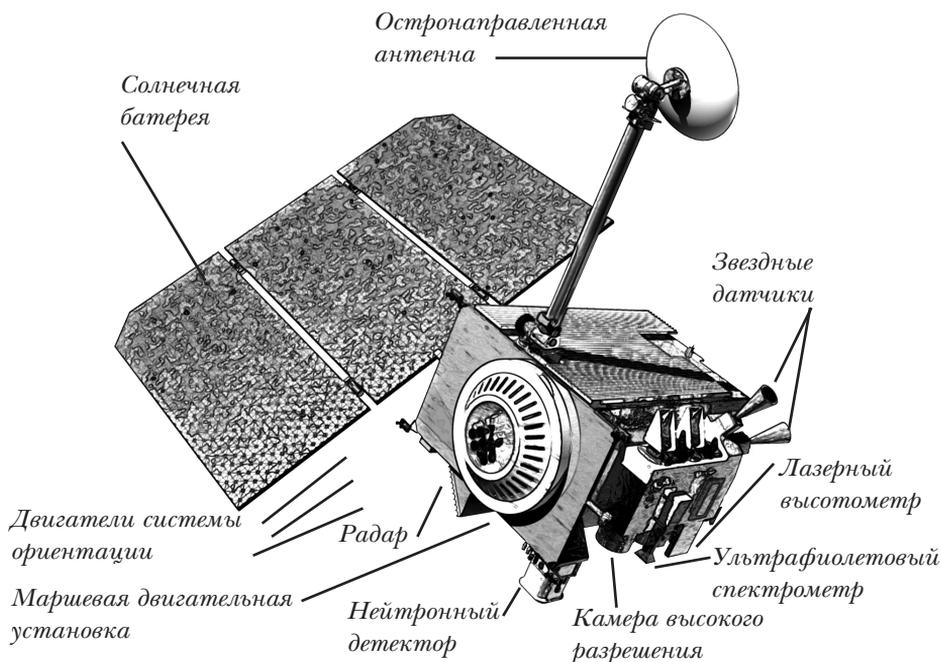
хранит рабочую температуру за счет системы обеспечения теплового режима.



2. Уметь определять свое положение в пространстве, используя систему ориентации.

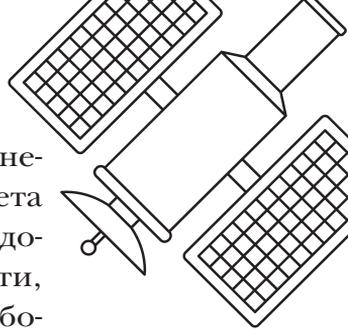
3. Передавать данные и получать управляющие команды посредством бортового радиокомплекса.

Научные приборы называют полезной нагрузкой, а все вспомогательные средства — служебными системами или платформой космического аппарата.



Компоновка автоматической межпланетной станции на примере NASA Lunar Reconnaissance Orbiter (американский спутник на орбите вокруг Луны).

Маршевая двигательная установка — необходима для изменения скорости полета и совершения орбитальных маневров: достижения второй космической скорости, торможения для выхода на целевую (рабочую) орбиту, изменения формы орбиты и ее наклона.



Двигатели системы ориентации — используются для управления ориентацией автоматической межпланетной станции, то есть изменения положения космического аппарата относительно центра его массы. При помощи системы ориентации меняется направление «взгляда» телескопов и фотокамер, направленность радиоантенны, угол освещения солнечных батарей.

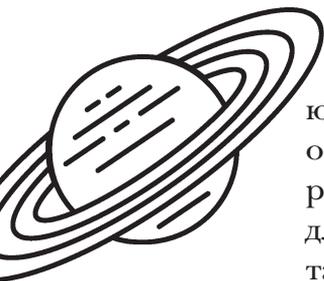
Звездные датчики — фотокамеры для определения положения космического аппарата относительно центра его масс при помощи ориентации по звездам. Определяя, на какие звезды и созвездия направлены звездные датчики, космический аппарат понимает, куда смотрят его камеры, направлена антенна и развернуты солнечные батареи.

Солнечные датчики — фотоэлементы, которые позволяют определить направление на Солнце и освещенность солнечных батарей.

Солнечные батареи — средство получения электрической энергии для электропи-

тания всех служебных систем и полезной нагрузки.

Остронаправленная антенна бортового радиокomплекса — используется для передачи больших объемов научных данных с космического аппарата на наземные радиостанции и радиотелескопы.



Малонаправленные антенны — используются для передачи служебной информации о «жизнедеятельности» космического аппарата на близком расстоянии от Земли или для связи с другими космическими аппаратами поблизости.

Магнитометр — научный прибор для определения направления и напряженности магнитного поля.

Оптические научные приборы — телескопы и спектрометры для изучения атмосферы или поверхности космических тел.

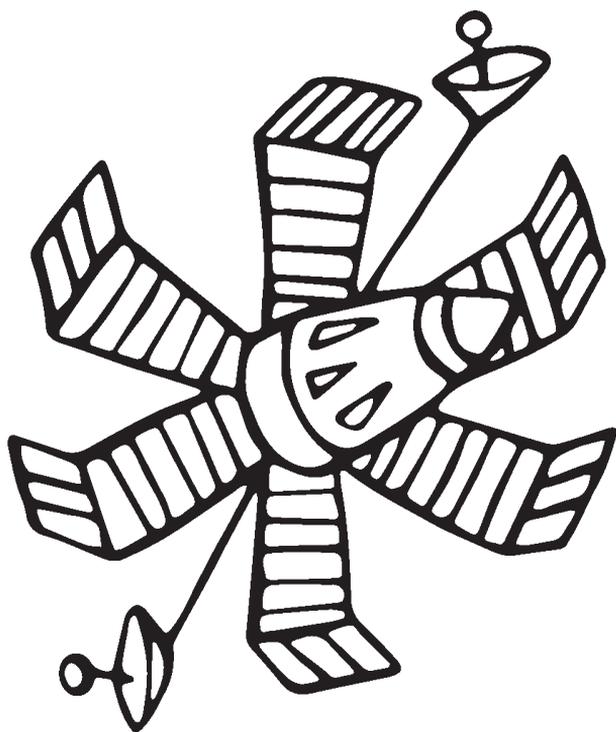
Навигационные камеры — телескопы и фотокамеры, которые помогают осматривать изучаемое космическое тело, выбирать цели для научных камер и спектрометров.

Лазерный высотомер — средство для изучения рельефа.

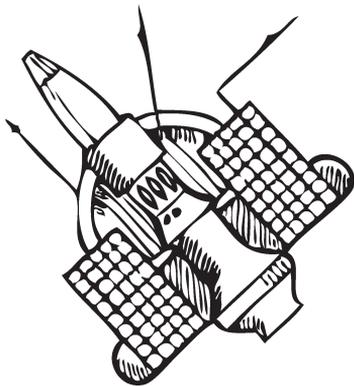
Радар — прибор, зондирующий поверхность космических тел при помощи облуче-

ния радиоволнами и регистрации отраженных волн.

Нейтронный детектор – прибор, улавливающий тяжелые элементарные частицы без электрического заряда – нейтроны, вылетающие с поверхности космических тел, что позволяет определять содержание водорода в грунте.



1.2 КАК УЗНАТЬ СОСТАВ ДРУГИХ ПЛАНЕТ: СПЕКТРОСКОПИЯ



Практически всё, что мы знаем о химическом строении космоса, включая Землю и нас самих, мы знаем благодаря спектроскопии. Излучение, отражение и поглощение элементарных частиц переносчиков света – фотонов – базовое свойство наблюдаемой материи, благодаря которому мы можем изучать не только те образцы, что попали в наши руки, но и те, что находятся за миллионы километров и миллиарды световых лет.

Для нас является привычным делом то, что разные предметы окружающего мира имеют разные цвета. Многие, вероятно, замечали, что горение различных материалов может сопровождаться пламенем различного цвета: так лесной костер – оранжевый, газовая конфорка кухонной плиты горит голубым, а если в костер бросить пластиковый стаканчик или кусок пенопласта, то можно увидеть и зеленое пламя. Такие, казалось бы, простые вещи, позволяют изучать Вселенную.

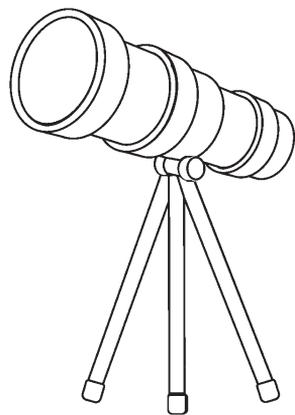
Поверхность далекой планеты или любого предмета у нас на столе имеет цвет, зависящий от химического состава веществ, покрывающих или составляющих эту поверхность. То же касается горящего огня или

горящей звезды, только здесь цвет зависит от того, какие химические элементы испускают фотоны света.

Разница в видимых цветах, которые воспринимают наши глаза, зависит от длины волны безмассовых фундаментальных элементарных частиц — фотонов, чей поток мы и воспринимаем как свет. Короткая волна дает синий цвет, длинная — красный. Когда свет содержит фотоны всех видимых длин волн, наши глаза видят белый цвет, а если его разделить на составляющие цвета, то мы увидим спектр света.

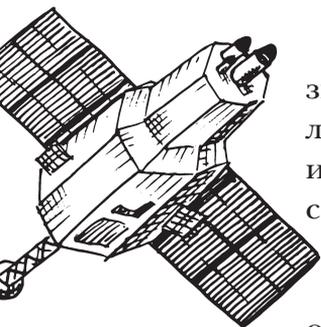
Естественный спектр солнечного света — радуго видел, наверное, каждый. Конечно, радуга — хороший пример, но не самый удобный способ изучения спектра Солнца. Для искусственного наблюдения спектра используют стеклянную призму и специальный прибор — спектрометр. В зависимости от химического состава источника света его спектр будет отличаться, и на определении этой разницы основан принцип спектрометрии.

Ученые составили полную картотеку спектров известных химических веществ и теперь им достаточно сравнить, например, спектр далекой звезды с имеющейся на Земле картотекой, чтобы узнать, какие вещества звезды испускают свет, добравшийся до нас. Если в состав этой звезды будет входить какой-либо неизвестный науке химиче-



ский элемент — его также определяют, поскольку он будет отличаться от всех известных. Именно так в 1868 году на Солнце обнаружили гелий, который в то время еще не был известен на Земле.

Свет может добираться до наших глаз или до спектроскопа двумя способами: непосредственно от источника или отраженным.

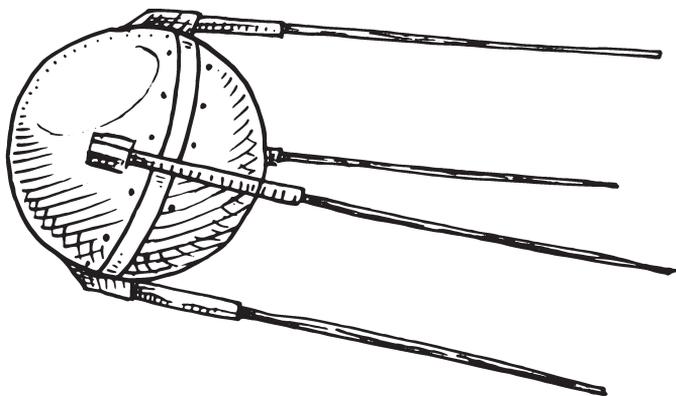


Источники излучения света — это Солнце, звезды, открытый огонь, лампочка, раскаленный до высокой температуры предмет и т.п. Для источников света характерен спектр испускания — та самая радуга.

Отраженный свет мы видим, например, от Луны, от поверхности Земли, от камней и почти всех предметов, которые нас окружают. Для отраженного света определяют спектр поглощения, то есть сначала учитывается спектр падающего на поверхность света, например от Солнца, а затем спектрометр определяет, на каких длинах волн свет был поглощен поверхностью, а на каких отразился. Также спектр поглощения помогает изучать состав газов в атмосферах других планет. Спектр поглощения отраженного света будет содержать темные участки, которые возникли из-за рассеяния и поглощения фотонов. То же касается изучения атмосфер других планет, — проходя сквозь газовую оболочку, свет звезды рассеивается на элементах и химических соединениях, составляющих ее, что отражается

в спектре и позволяет понять химический состав атмосферы.

Человеческий глаз способен реагировать на небольшую область спектра электромагнитных излучений. Если длина волны фотона будет короче, чем та, которая соответствует фиолетовому свету, то мы их уже не увидим, это будет ультрафиолетовый свет, если волну укорачивать еще, то начнется рентген, а потом — гамма-излучение — самая коротковолновая и самая высокоэнергичная форма света. Также в обратную сторону: если длина волны фотона будет длиннее красного света, то мы не увидим и их — это будет инфракрасный свет, за ним лежит микроволновое излучение, а потом уже радиоволны. Современные приборы расширяют возможности наших глаз и позволяют изучать космос в тех длинах волн, которые никогда ранее не были доступны астрономам. Для этих целей используются ультрафиолетовые и инфракрасные камеры, телескопы и спектрометры.

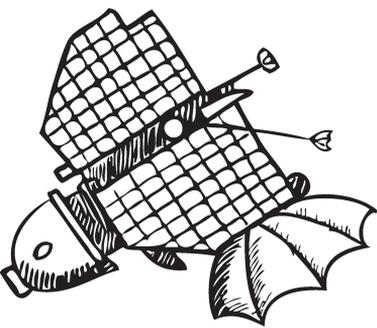


13

КАК ИССЛЕДУЮТ
ПЛАНЕТЫ
С ПОМОЩЬЮ СВЕТА

Что нужно для детального исследования другой планеты, астероида или кометы?

Для начала – запустить поближе космический аппарат и оборудовать его приборами, чтобы они рассказали как можно больше о предмете изучения, исходя из ограничений на объем, массу и количества доступной энергии у этого зонда. Значительный объем информации об окружающем мире и Солнечной системе человек получает при помощи оптических средств: своих глаз, телескопов, спектрометров.



Вокруг Солнца вращается множество космических тел, которые очень сильно отличаются друг от друга. Газовые гиганты не имеют твердой поверхности, а каменные планеты имеют атмосферу разной плотности: от ничтожной до сверхплотной. Астероиды бывают каменные, а бывают железные, а кометы сильно меняют свою активность в зависимости от расстояния до Солнца.

Для изучения объектов с разными свойствами потребуются разные приборы. В то же время ученые уже накопили немалый опыт применения многих типов исследо-

вательских методов, смогли понять, что дает максимум полезной информации при минимальной массе. Попробуем рассмотреть такой «джентльменский набор» роботизированного исследователя космоса.

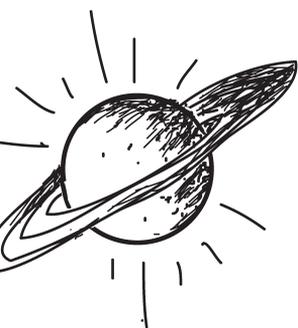
СЪЕМКА В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ

Глаза продолжают быть нашим главным исследовательским прибором, поэтому на Земле астрономы вкладывают миллионы долларов в гигантские телескопы, а для космоса создаются специальные фотокамеры. Научную камеру стараются делать двойной, то есть запускать две камеры: широкоугольную (короткофокусную) и длиннофокусную. Широкоугольная позволяет охватывать взглядом значительные пространства, но все объекты в ее съемке — мелкие. Длиннофокусная — наоборот, является «дальнобойным оружием» и позволяет со значительного расстояния рассматривать небольшие участки местности с мелкими подробностями. Этот принцип сохраняется как в космосе, так и на поверхности планет. Например, у марсохода Curiosity две цветные камеры на «голове»-мачте: одна с широкоугольным объективом с фокусным расстоянием 34 мм, вторая — более длиннофокусная: 100 мм.



Для орбитальных модулей соотношение между «длинным» и «широким» обычно намного существеннее. Вместо длиннофокусного объектива ставят полноценный зеркальный телескоп.

Самый удаленный от Земли большой телескоп сейчас работает на орбите Марса. Камера HiRise, установленная на спутнике Mars Reconnaissance Orbiter, оборудована оптикой с главным зеркалом диаметром 50 см. Камера снимает с высоты 250-300 километров в феноменальном разрешении — до 26 см. Разрешением оптики называют показатель наименьшего размера различных деталей снимаемых объектов.



HiRise позволяет ученым изучать Марс и следить за перемещением марсоходов. На его снимках видны даже сами марсоходы и следы, которые они оставляют на пыльной поверхности планеты.

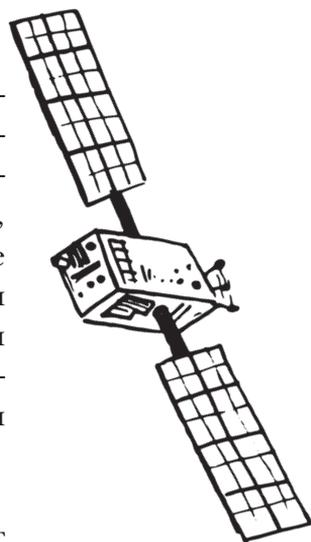
Помимо научных камер на космические аппараты часто ставят навигационные. Они позволяют лучше ориентироваться «на местности» операторам аппаратов и выбирать цели для научных камер. Навигационные или «инженерные» камеры охватывают еще более широкие углы обзора (даже по принципу «рыбий глаз» — самый широкоугольный объектив, который позволяет увидеть почти полную полусферу перед собой) и могут также создаваться спаренными, но уже для повышения на-

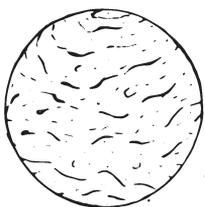
дежности или для стереосъемки. Съемка в стерео имитирует взгляд двумя глазами с разных углов, который позволяет увидеть трехмерную форму.

Разница между научными и навигационными камерами заключается не только в широте угла обзора. Научные камеры оснащаются еще и сменными цветными фильтрами, позволяющими анализировать различные спектральные характеристики поверхности исследуемых объектов. Обычно фильтры располагаются в специальном колесе, которое позволяет менять их между объективом и фотоматрицей камеры.

По умолчанию научные камеры снимают в панхроматическом диапазоне — черно-белом режиме, в котором фотоматрица принимает весь видимый свет и даже немного невидимого — ближнего инфракрасного. Такая съемка позволяет получить самое высокое разрешение и увидеть мельчайшие детали, поэтому большинство снимков из космоса черно-белые.

На фотокамере со сменными фильтрами цветные изображения можно получить многократной съемкой с чередованием цветных фильтров и путем объединения этих снимков. Такие камеры называют мультиспектральными. Единичный кадр, сделанный через один цветной фильтр, тоже будет черно-белым, поэтому снимки требуется объединять по три. Причем вовсе не





обязательно полученный цвет на изображении будет таким, каким его увидели бы наши глаза. Для человеческого зрения мир состоит из сочетаний красного, зеленого и синего цветов. И «настоящий» цвет изображения можно получить при помощи красного, зеленого и синего фильтров.

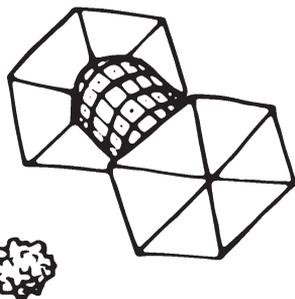


В обычных цифровых фотоаппаратах и смартфонах принцип получения цветных кадров точно такой же — через трехцветный фильтр. Разница между камерой NASA и камерой в телефоне в том, что на бытовых камерах разноцветными фильтрами прикрываются отдельные пиксели фотоматрицы — такая схема называется «фильтр Байера» — поэтому нам достаточно одного кадра, чтобы увидеть цветное фото. При съемке через «фильтр Байера» за сведение информации полученной через трехцветный фильтр в один цветной кадр отвечают автоматические алгоритмы обработки данных. Использование колеса фильтров позволяет расширять возможности камеры за счет регистрации света в цветовых диапазонах, которые не видят наши глаза, и обрабатывать каждый кадр вручную, не доверяя алгоритмам или используя разные алгоритмы. На марсоходе Curiosity установлен «фильтр Байера», хотя сохранено и отдельное колесо с фильтрами.

Камеры с «фильтром Байера» принято называть цветными, а с возможностью выбора цветового фильтра — мультиспектраль-

ными. Если фильтров несколько десятков, то прибор называют гиперспектрометром или гиперспектральной камерой.

Если кадры сделаны через три фильтра, но не через красный/зеленый/синий, а, например, синий, красный и ближний инфракрасный, то при сложении кадров цвет изображения получится «ложным», хотя физические принципы его получения вполне естественны. Просматривая цветные снимки на официальных сайтах космических агентств, стоит обращать внимание на подписи, где указано, какие именно цветные фильтры использованы на снимке. Иногда люди не читают пояснений под фото и не знакомы с процессом получения цветных снимков, поэтому в Интернете до сих пор можно найти «разоблачения» про скрываемый цвет Марса или Луны и про «художников NASA», которые «раскрашивают» снимки из космоса.



ИНФРАКРАСНАЯ СЪЕМКА

Инфракрасный свет наши глаза не видят, а кожа воспринимает его как тепло, хотя ИК-диапазон по ширине не меньше диапазона видимого света. Сокрытую от глаз информацию позволяют добыть инфракрасные камеры. Даже самые обыкновенные фотоматрицы могут увидеть ближний инфракрасный свет (в качестве экс-



перимента можно попробовать снять огонек телевизионного пульта на смартфон). Для регистрации средней области инфракрасного диапазона на космическую технику ставят отдельные камеры с другим типом датчиков. А дальний инфракрасный диапазон электромагнитного излучения требует охлаждения датчиков до глубокого минуса.

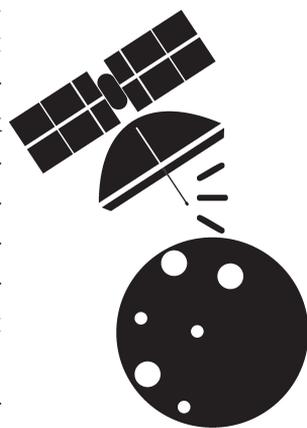
За счет более высокой проникающей способности инфракрасного света приборам удастся заглядывать глубже как в дальний космос, сквозь газопылевые туманности, так и в грунт планет и прочих твердых тел.

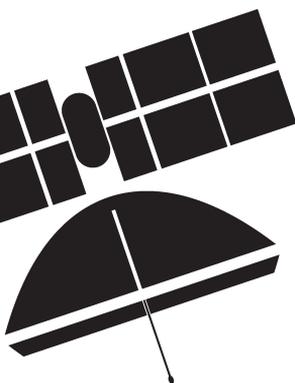
Так при помощи зонда Venus Express, летавшего вокруг Венеры в 2005–2015 гг, ученые наблюдали за движением полярных тайфунов на средних высотах в атмосфере Венеры. В видимом свете они скрыты от глаз более высокими облаками. Зонд New Horizons зарегистрировал тепловое излучение от вулканов спутника Юпитера Ио. Съемка как в фильме «Хищник» применялась на марсоходах Spirit и Opportunity.

Взгляд орбитальной станции Mars Express на полюса Марса показал разницу распределения углекислотного и водяного льда по поверхности ледяных шапок. В инфракрасном свете водяной лед выглядел голубым, а углекислотный — розовым, хотя нашим глазам оба типа льда кажутся белыми.

Для получения максимума информации инфракрасные камеры оснащают большим набором фильтров, либо полноценным спектрометром, который позволяет раскладывать на спектр весь отраженный от поверхности свет. Например, у New Horizons имеется инфракрасный фотодатчик размером всего 0,065 мегапикселей, зато они разделены на 256 спектральных линий. Каждая линия пропускает излучение только в своем узком диапазоне, и датчик работает в режиме сканера, то есть камерой с ним «проводят» по изучаемому объекту.

Как уже упоминалось, инфракрасный свет — это тепло, поэтому съемка в этом диапазоне открывает еще одну возможность исследования твердых космических тел. Если наблюдать за поверхностью длительное время в процессе нагрева от солнечных лучей в дневное время и остывания в ночное, то можно увидеть, что какие-то элементы поверхности нагреваются и остывают быстро, а какие-то — долго. Эти наблюдения называются исследованием тепловой инерции. Они позволяют определять физические характеристики грунта: рыхлый, как правило, легко набирает и легко отдает тепло, а плотный — долго нагревается и долго держит тепло. Также долго нагреваются и долго остывают грунты с высоким содержанием воды, а водяной лед, наоборот — препятствует нагреву.





Интересное наблюдение было сделано советским зондом «Фобос-2». Снимая Марс в тепловом режиме, он заметил длинную полосу, которая протянулась по планете. В 90-е годы в прессе высказывались мистические домыслы об инопланетном самолете, оставившем конденсационный (такие белые полосы в небе от земных самолетов иногда ошибочно называют «инверсионными») след в атмосфере Марса, но реальность оказалась интереснее, хоть и прозаичнее. Тепловая камера «Фобоса-2» смогла зафиксировать полосу остывшего грунта, протянувшуюся за проходящей тенью спутника Марса — Фобоса.

Бывают и ошибки. Например, исследуя кратер Гейла со спутника Mars Odyssey, ученые определили местность с высокой тепловой инерцией неподалеку от севшего марсохода Curiosity. Там ожидали найти плотную скальную породу, а нашли глинистые породы с относительно высоким содержанием воды — до 6%. Получилось, что причиной высокой тепловой инерции была вода, а не камень.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ СЪЕМКА

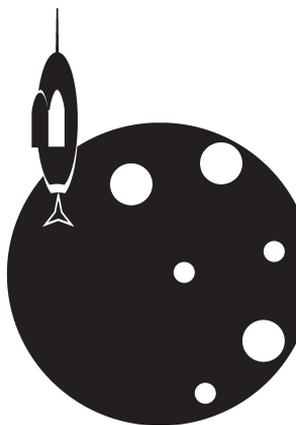
С помощью ультрафиолета изучают газовую составляющую Солнечной системы, да и всей Вселенной вообще. Ультрафиолетовый спектрометр стоит на телескопе Hubble (самый

большой космический телескоп, названный в честь астронома Эдвина Хаббла), с его помощью удавалось получить представление о распределении воды в атмосфере Юпитера и обнаружить выбросы из подледного океана его спутника — Европы.

В ультрафиолете изучались почти все атмосферы планет, даже те, которых практически нет. Мощный ультрафиолетовый спектрометр зонда MAVEN позволил увидеть окружающие Марс водород и кислород на значительном удалении от поверхности. С его помощью даже сейчас можно наблюдать, как продолжается улетучивание газов из атмосферы Марса, и чем легче газ, тем интенсивнее этот процесс.

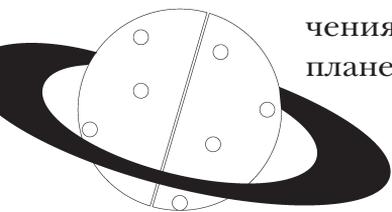
Водород и кислород в атмосфере Марса получают путем фотохимической диссоциации (разделения) молекул воды на составляющие под действием солнечного излучения, а вода на Марсе испаряется из грунта. В результате MAVEN позволил ответить на вопрос «почему сейчас Марс сухой, хотя когда-то там были океан, озера и реки?»

Зонд Mariner-10, пролетая мимо Венеры на пути к Меркурию, в ультрафиолете смог выявить подробности венерианских облаков, увидеть V-образную структуру турбулентных потоков и определить скорость ветров.

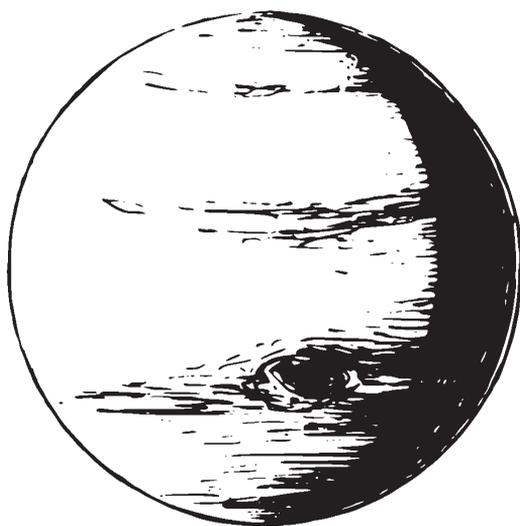


Существует и более сложный способ исследования атмосферы – на просвет. Для этого исследуемый объект размещается между источником света и спектрометром космического аппарата. Так можно определить состав атмосферы, оценив разницу спектра источника света до и после перекрытия атмосферой. Таким образом, удастся определить не только содержание газов в атмосфере, но и примерный состав и размер частиц пыли, если она тоже поглощает или рассеивает часть света.

Стоит отметить, что по части спектроскопических межпланетных исследований Россия занимает не последнее место. При участии Института космических исследований РАН создавался европейский инфракрасный спектрометр OMEGA для станции Mars Express; на том же аппарате стоит результат совместной работы российских, бельгийских и французских ученых – инфракрасный и ультрафиолетовый спектрометр SPICAM; совместно с итальянцами специалисты ИКИ РАН разработали прибор PFS. Схожий набор приборов был установлен на аппарате Venus Express, который закончил свою миссию в конце 2014 года. Сегодня у Марса работает тяжелый зонд ExoMars Trace Gas Orbiter Европейского космического агентства, на котором находятся несколько российских спектрометров для изучения атмосферы и поверхности «Красной планеты».

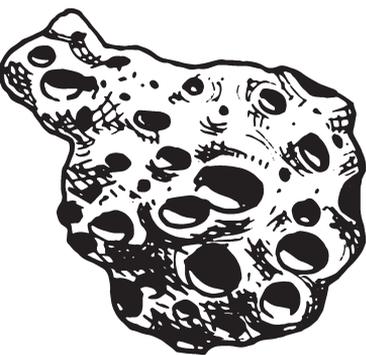


Свет обеспечивает нас значительным объемом информации о Солнечной системе — нужно только уметь смотреть и видеть, но есть и другие средства, связанные уже с ядерной и радиофизикой.



1.4. КАК ИЗУЧАЮТ ПЛАНЕТЫ С ПОМОЩЬЮ РАДИО И РАДИАЦИИ

Космическая радиация – это потоки фотонов и других элементарных частиц с очень высокой энергией, которыми наполнено все межзвездное и межпланетное пространство. Это результат излучения звезд, выбросов газопылевых дисков вокруг черных дыр, нейтронных звезд и пульсаров, взрывов сверхновых. Космической радиацией называют гамма-лучи и элементарные частицы: протоны (ядра атомов водорода), нейтроны, альфа- и бета-лучи, рентген, тяжелые заряженные частицы. Практически любой катаклизм во Вселенной является источником космической радиации. Она является проблемой для космонавтов и электроники, но для ученых радиация – подарок, позволяющий узнать много подробностей о космосе.

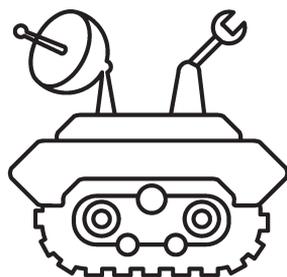


ГАММА-СПЕКТРОСКОПИЯ

Гамма-лучи – это высокоэнергичные фотоны, их источником является Солнце и далекие взрывные события в галактике и за ее пределами, но гамма-спектроскопия в планетологии изучает не те лучи, которые выбрасываются из звезд и черных дыр, а те,

которыми «фонят» планеты и другие безатмосферные или слабоатмосферные космические тела.

Планеты и астероиды начинают излучать в гамма-диапазоне под воздействием бомбардировки более массивных частиц: высокоэнергетичных протонов, альфа-, бета-лучей и нейтронов. В результате взаимодействия заряженных частиц с грунтом на поверхности небесных тел образуются гамма-лучи. И, как мы помним, каждый химический элемент излучает в своем спектральном диапазоне. То есть нам достаточно провести гамма-спектрометр над поверхностью, чтобы понять из чего она состоит. Но так мы получим только ее химический состав, а вот если к нему добавить информацию, например с инфракрасных спектрометров и с камер видимого диапазона, то можно получить более наглядную картину, включающую геологический состав поверхности.

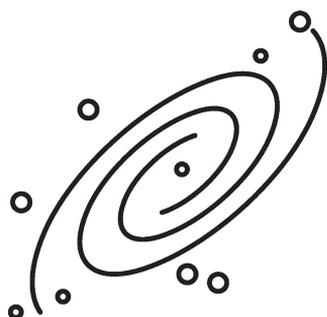


Так, с помощью гамма-спектрометрии ученые узнали об относительно высоких концентрациях ториевых, железных и титановых руд на Луне. Радиоактивные породы тоже хорошо искать этим методом. С помощью гамма-спектрометра на аппарате Mars Odyssey удалось обнаружить на Марсе два района с аномально высоким содержанием ториевых и, вероятно, урановых руд. Вполне возможно, что там когда-то происходили процессы (как на Земле, в Африке) с образованием естественного атомного реактора. Это обнадежи-

вающая находка означает, что атомные электростанции будущих марсианских поселенцев могут работать на местном сырье.

НЕЙТРОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Космические частицы, врезающиеся в грунт безатмосферных тел, выбивают не только фотоны, но и более крупные элементарные частицы, в том числе нейтроны. Выбитые нейтроны движутся через грунт с высокой скоростью и при столкновениях с каждым атомом водорода теряют много энергии. Соответственно, измеряя энергию вылетающих с поверхности нейтронов можно определить, находится ли под ней водород.



Водород — очень летучий газ, который не задерживается в грунте в свободной форме, особенно там, где атмосферное давление стремится к нулю. Чтобы сохранить водород в грунте, его нужно связать на химическом уровне, и лучшим средством для этого остается вода. Таким образом, пролетая над поверхностью и собирая данные о скоростях вылетающих нейтронов, можно определить примерное содержание воды в грунте. Разумеется, чем ниже мы пролетим, тем точнее будут данные.

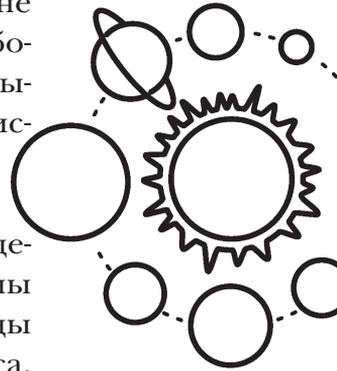
Нейтронные спектрометры на орбитальных аппаратах пока дают погрешность

в сотню километров. Если использовать специальный ограничитель, называемый «коллиматор», то можно повысить точность до десятков километров. Еще для этого метода ограничена глубина зондирования. Все нейтроны вылетают с глубины не ниже 1 метра, поэтому о запасах воды в более глубоких слоях остается только догадываться и полагаться на другие методы исследования.

С помощью российских нейтронных детекторов LEND и HEND, были получены данные о распределении водорода/воды в приповерхностных слоях Луны и Марса. И если марсианские данные уже дважды подтвердились, то лунные еще ждут своей проверки.

На Марсе в приполярный регион высадился посадочный модуль Phoenix, и там, где HEND прогнозировал до 70% воды в грунте, прямо под пылью нашелся пласт водяного льда. В кратере Гейла, где работает марсоход Curiosity, HEND обещал 5%, а по данным марсохода содержание воды в грунте колеблется от 3% до 5%, и лишь изредка попадаются «оазисы» аж в 6%.

После такого успеха HEND его российско-го «брата» DAN «усадили» прямо на марсоход, и он теперь собирает данные не с высоты 300 километров, как предшественник, а гораздо ниже — с полуметра. Правда, глубина зондирования по-прежнему не превы-



шает одного метра, зато пространственное разрешение увеличилось с десятков километров до сантиметров.

Впрочем, несмотря на успехи нейтронных детекторов, окончательного доверия к ним еще нет. Ледники на Луне ждут своего первооткрывателя, а космические агентства, как и частные компании, все больше внимания обращают на ее полюса. Хотя концентрация влаги на Луне, по данным спутников, не превышает 4%.

РАДИОЛОКАЦИЯ

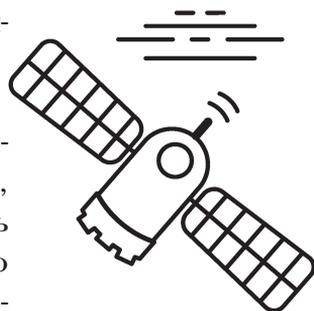
Зондирование планет в радиодиапазоне начали проводить еще с Земли. Много информации смог собрать известный радиотелескоп Аресибо в Пуэрто-Рико, чья параболическая антенна диаметром в 300 метров появилась во множестве голливудских фильмов. Еще в 80-е годы он обнаружил на полюсах горячего Меркурия странный отблеск, источником которого мог стать водяной лед. Ученые долго не могли поверить в то, что на самой близкой к Солнцу планете могут существовать ледники. Пришлось ждать результатов зонда Messenger, который при помощи нейтронного детектора и лазерной локации смог подтвердить факт наличия льда на полюсах Меркурия.



Впечатляющие картины показал радиотелескоп Аресибо во время суперлуния 2013 г. На Луне с его помощью удалось разглядеть последствия катастрофических лавовых потоков и «наводнений». Если совместить эти снимки с картами распределения минералов, полученных с орбитальных спектрометров, то можно составить подробную геологическую карту местности и, возможно, реконструировать эволюцию поверхности Луны. К ней неоднократно отправляли радары на спутниках, но их энергии было недостаточно, чтобы проникнуть глубоко в грунт.

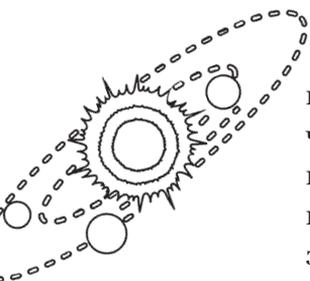
Радиоволны позволяют не только заглядывать под поверхность планет и спутников, но и показывают высокую эффективность на облачных планетах. Три радара летало к Венере. «Венера-15» и «Венера-16» провели картографирование северного полюса в 80-е годы, а потом, в 90-е, Magellan составил почти полную его карту.

Аппарат Cassini на орбите Сатурна использовал свой радарный инструмент, чтобы проникнуть сквозь плотную атмосферу его спутника Титана. В ходе многочисленных пролетов космическая станция Cassini постепенно приоткрывала вечную пелену атмосферы и открывала науке этот поистине удивительный мир, в чем-то невероятно похожий на земной, а в чем-то разительно от него отличающийся. Многократная радарная съемка позволила не просто картографировать Титан, но и наблюдать динамиче-



ские процессы на нем. Так, таинственно появившийся, а потом исчезнувший остров, сочли признаком происходящих сезонных изменений на самом крупном спутнике Сатурна. Возможно, это был ледяной айсберг, обрушившийся в метановое море.

Другие диапазоны радиоволн и другая конструкция радара позволяют забираться гораздо глубже. На орбите Марса работают два космических аппарата, оборудованные радаром, чьи волны проникают в кору планеты на 1-3 километра.



Исследование европейского космического аппарата Mars Express позволило получить информацию о мощности и структуре полярных льдов и оценить запасы воды на полюсах Марса. Его же сканирование позволило обнаружить древние астероидные кратеры, погребенные под сотнями метров вулканической лавы и осадочными накоплениями марсианского океана в северном полушарии планеты. Ранее ученые неоднократно отмечали видимую разницу в количестве метеоритных кратеров в южном и северном полушариях Марса, и Mars Express позволил разгадать эту загадку. А если бы на «Красной планете» существовали марсиане, зарывшиеся от вакуума, засухи и мороза в подмарсианский город-убежище, то Mars Express нашел бы его.

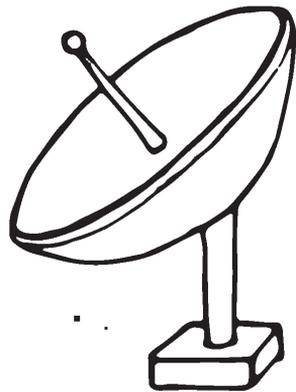
Радар привезли даже на поверхность Луны. Китайский луноход Yutu («Нефрито-

вый заяц») успел пройти всего сотню метров, но даже во время такого короткого пути ему удалось получить интереснейшие профили лунной поверхности на глубину около четырехсот метров. В будущем такая информация будет жизненно необходима для строительства лунной станции, базы или поселения.

АЛЬФА-ЛУЧЕВАЯ И РЕНТГЕНО- ФЛОУРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Когда дело доходит до исследования космических тел посадочными аппаратами, практически невозможно обойтись без трогательных — в прямом смысле — моментов альфа-лучевой рентгенофлуоресцентной спектроскопии.

Приборы типа APXS (Alpha Particle X-Ray Spectrometer) устанавливались на все марсоходы NASA. APXS имеется на посадочном аппарате Philae на ядре кометы 67P/Чурюмова-Герасименко. На советских луноходах был установлен похожий прибор — РИФМА. Принцип работы метода напоминает гамма-спектроскопию, за тем исключением, что датчик имеет свой собственный источник заряженных частиц (какой-нибудь радиоактивный материал), прежде всего альфа-лучей. Заряженными частицами бомбардируется исследуемый образец, в ходе процессов поглощения альфа-частиц ядра



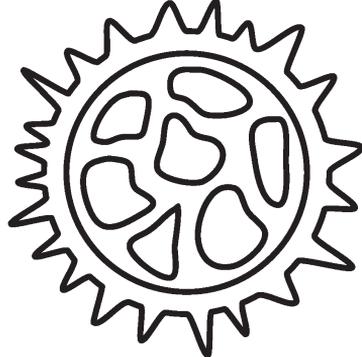
ми атомов выделяется рентгеновское излучение. Для каждого химического элемента спектр излучения будет свой, что позволяет определять химический состав образца.

Это далеко не исчерпывающий обзор оборудования для исследования Солнечной системы. Как правило, на межпланетные аппараты ставятся и астрофизические приборы для регистрации энергичных частиц, межпланетной радиации, плазмы и пыли. Межпланетные перелеты позволяют изучать еще и космическое пространство, взаимосвязи Солнца, планет и межзвездной среды, но это уже другая история.





КТО, КАК И ЗАЧЕМ ОБРАБАТЫВАЕТ СНИМКИ ИЗ КОСМОСА



Фотографии из космоса, публикуемые на сайте NASA и других космических агентств, иногда вызывают сомнения в подлинности – внимательные энтузиасты находят на изображениях следы редактирования, ретуширования или манипуляций с цветом. Так повелось еще со времен зарождения «лунного заговора», а теперь под подозрение попали снимки, сделанные не только американцами, но и европейцами, японцами, индийцами. Разберемся, зачем вообще обрабатывают космические изображения и могут ли они, несмотря на это, считаться подлинными.

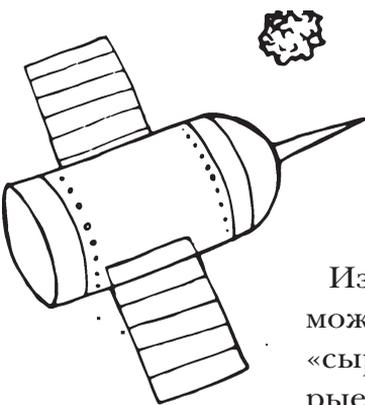
Для того чтобы правильно оценивать качество космических снимков, которые мы находим в Сети, необходимо учитывать два важных фактора. Один из них связан с характером взаимодействия космических агентств и широкой публики, другой продиктован физическими законами.

ФИЗИКА ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ

Как правило, тот, кто упрекает космические агентства за манипуляции с цветом, использование фильтров

или публикацию черно-белых фотографий «в наш век прогресса цифровых технологий», не учитывает физических процессов получения цифровых изображений. Как мы уже знаем, обычные земные фотоаппараты снимают точно так же, как профессиональные телескопы — через цветные фильтры, только они не показывают нам промежуточные этапы подготовки снимков.

СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ



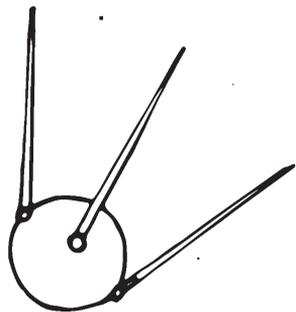
Космические снимки — одно из самых эффективных средств популяризации исследовательских миссий в ближнем и дальнем космосе. Однако далеко не все кадры сразу оказываются в распоряжении СМИ.

Изображения, полученные из космоса, можно условно разделить на три группы: «сырые» (raw), научные и публичные. Сырые, или исходные файлы с космических аппаратов иногда бывают доступны всем желающим, а иногда нет. Например, изображения, полученные марсоходами Curiosity и Opportunity или искусственным спутником Сатурна Cassini, публикуются практически в режиме реального времени, так что любой желающий может увидеть их одновременно с учеными, изучающими Марс или Сатурн. Необработанные фотографии Земли с пилотируемой Международ-

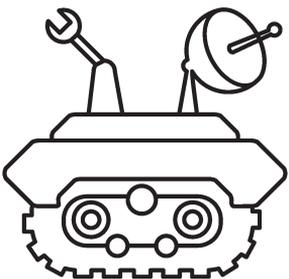
ной космической станции выкладываются на отдельный сервер NASA (eol.jsc.nasa.gov). Космонавты загружают их в Сеть тысячами, и ни у кого нет времени на их предобработку. Единственное, что добавляют к ним на Земле — географическую привязку для облегчения поиска.

В случае с менее популярными проектами, такими как Messenger, New Horizons или Dawn все иначе. Сырые снимки, полученные с этих аппаратов, не публикуются сразу при получении, а выкладываются с опозданием на недели, месяцы или даже годы. Это необходимо для того, чтобы ученые, запустившие аппарат, могли спокойно проанализировать данные и в случае каких-либо открытий первыми доложить о них на конференциях.

Файлы с научными кадрами зачастую имеют специфический формат, который понимают только специальные программы или приложения. Такие файлы несут большой объем информации об обстоятельствах съемки (время, положение космического аппарата, положение объекта съемки, угол освещения, характеристики съемки и т.д.). Эта информация, не будучи засекреченной, настолько неинтересна большинству энтузиастов космонавтики, что обычно ее выкладывают в таких местах, которые удобны для ученых, но отпугивают посторонних сложным интерфейсом. Такие сайты или FTP-серверы в открытом доступе — это NASA



PDS, ESA PSA, JAXA archive. Даже Китай выложил кадры с Луны на сайте своей Академии наук (сервер которой периодически падает). Когда предыдущий российский метеорологический спутник «Электро-Л» занимался съемкой, кадры с него можно было найти на сервере НЦОМЗ, позже туда стали добавлять новые снимки второго «Электро-Л», при этом удаляя старые. Со спутников дистанционного зондирования Земли можно посмотреть только предварительные изображения, а сами снимки придется заказывать на Геопортале Роскосмоса.



Обычно за ретушь критикуют публичные кадры, которые прилагаются к пресс-релизам NASA и других космических агентств, — ведь именно они попадают на глаза пользователям Интернета в первую очередь. И при желании там можно найти много чего: и манипуляции с цветом, и наложение нескольких снимков, и «копировать/вставить», и даже прямую ретушь с затиранием некоторых фрагментов изображения. Мотивация NASA в случае со всеми этими манипуляциями проста настолько, что ей готовы поверить далеко не все: так красивее.

Но ведь правда, бездонная чернота космоса выглядит более впечатляюще, когда ей не мешают мусор на объективе и следы от заряженных частиц на пленке или матрице. Цветной кадр, и правда, привлекательнее черно-белого. Панорама из снимков лучше отдельных кадров. При этом важно, что

в случае с NASA почти всегда можно найти исходные кадры и сравнить одно с другим. Это касается и лунных снимков пилотируемой экспедиции Apollo, и кадров с марсохода Curiosity.

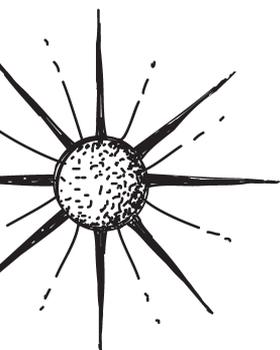


Перед учеными не стоит задача поставлять красивые фотографии для пресс-релизов и СМИ. Камеры космических аппаратов прежде всего являются инженерными или научными инструментами, которые помогают управлять этими аппаратами или получать информацию о космосе. Применение фильтра ближнего инфракрасного света, который не виден глазу, вместо красного, привело к покраснению Марса на многих кадрах, ушедших в СМИ. Пояснение про инфракрасный диапазон перепечатали далеко не все, что породило споры о том, какого цвета Марс на самом деле.

Однако на марсоходе Curiosity стоит «фильтр Байера», что позволяет ему снимать в цвете, привычном нашему глазу.

Применение отдельных фильтров удобнее с точки зрения выбора диапазонов света, в которых хочется посмотреть на объект. Но если этот объект движется, то на снимках в разных диапазонах его положение меняется. На Марсе подобное происходило при съемке закатов у марсохода Spirit и Opportunity – у них нет «фильтра Байера», поэтому на кадрах заката Солнца получились цветные горы и три Солнца: крас-

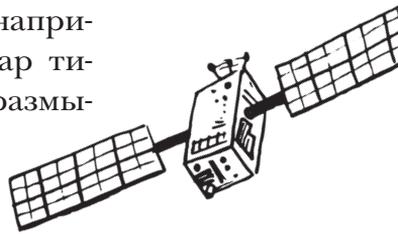
ное, зеленое и синее. Похожие трудности возникали у станции Cassini при съемке спутников Сатурна. С той же ситуацией сталкивается аппарат DSCOVR, снимающий Землю и Луну с расстояния 1,5 миллиона километров. Чтобы получить из такой съемки красивое фото, пригодное для распространения в СМИ, приходится поработать в редакторе изображений.



Есть еще один физический фактор, о котором знают далеко не все, — черно-белые снимки имеют более высокое разрешение и четкость по сравнению с цветными. Это так называемые панхроматические снимки, которые включают в себя всю световую информацию, попадающую в камеру, без отсеечения каких-либо ее частей фильтрами. Поэтому многие «дальнобойные» камеры спутников снимают только в панхроме, что для нас означает черно-белые кадры. Такая камера LORRI установлена на аппарате New Horizons, камера NAC — на лунном спутнике LRO. Большинство телескопов снимает в панхроме, если только специально не применяются фильтры.

Мультиспектральная «цветная» камера, оборудованная фильтрами и имеющая гораздо меньшее разрешение, может прилагаться к панхроматической. При этом ее цветные снимки можно накладывать на панхроматические, в результате чего мы получим цветные снимки высокого разрешения.

Такой метод часто применяют при съемке Земли с высоким разрешением. Если знать об этом, то можно увидеть, например, на некоторых кадрах Google Map типичный ореол, который оставляет размытый цветной кадр.



ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Часто приходится прибегать к инструментам графических редакторов, когда нужно почистить кадр перед публикацией. Представления о безупречности космической техники не всегда оправданы, поэтому мусор на космических камерах — дело распространенное. Например, камера MАНLI на марсоходе Curiosity загрязнена, на каждом кадре видно множество соринки, которые находятся где-то в оптике камер.

Одна соринка в солнечном телескопе STEREO-B, который ведет наблюдение за Солнцем, породила отдельный миф об инопланетной космической станции, постоянно летающей над северным полюсом нашей звезды.

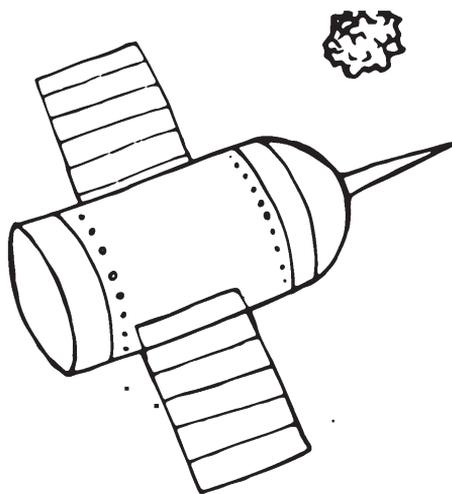
Еще в космосе нередки заряженные частицы — составная часть космической радиации, которые оставляют свои следы на фотоматрице в виде отдельных точек или полос. Чем дольше выдержка снимка, чем

ближе к Солнцу космический аппарат и чем выше солнечная активность, тем больше остается следов. На снимках появляется «снег», который не очень презентабельно смотрится, поэтому его тоже стараются считать («отфотошопить») перед публикацией снимков для СМИ.

Поэтому можно сказать: да, NASA «фотошопит» снимки из космоса. ESA «фотошопит». Роскосмос «фотошопит», как и все прочие, кто заботится о красивых и качественных фотографиях космоса.

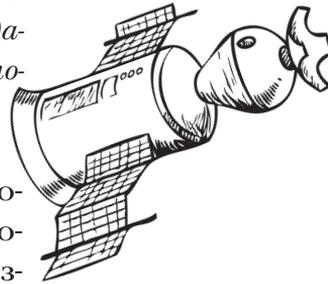
Глава первоначально подготовлена для научно-популярного портала N+1, и опубликована под названием «Созвездие Фотожабы. Кто, как и зачем обрабатывает снимки из космоса».

Страница: <https://nplus1.ru/material/2016/08/10/Photoshop-and-NASA>



ЗОЛОТАЯ ОБЕРТКА

Вероятно, многие, кто наблюдал подготовку космического аппарата к запуску или видел фотографии американских или китайских лунных модулей на Луне, задавались вопросом: что за странная золотая фольга покрывает аппараты?

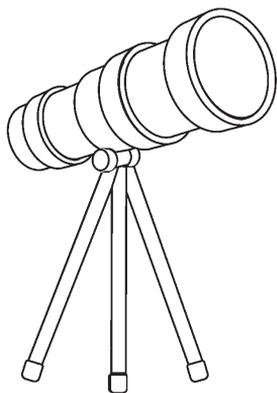


Все знают, что в космосе бывает очень холодно и очень жарко, в зависимости от того, есть поблизости источник теплового излучения или нет. К примеру, скафандр, в котором работают космонавты на орбите, рассчитан на эксплуатацию при температурах от -100 до $+100$ градусов Цельсия. Но в космосе нет атмосферы, поэтому замерзнуть на ветру там невозможно, а вся передача тепла осуществляется излучением, прежде всего, инфракрасным. И человеку, и электронике для функционирования требуется выдерживать определенный баланс температур, поэтому им нельзя замерзнуть в тени и перегреваться под прямыми лучами Солнца. Для того чтобы остановить теплообмен между телом и внешней средой, на пути инфракрасных лучей необходимо поставить преграду — экран.

Такой преградой для космических аппаратов является ЭВТИ — экранно-вакуумная теплоизоляция. Вакуумная она не потому, что из нее откачивают воздух, а потому, что она выполняет свое предназначение в вакууме.

ЭВТИ — это многослойная «ткань» из тонкой пленки с металлическим напылением. Это напыление может быть алюминиевым, медным или золотым. На современных российских межпланетных станциях и телескопах используется металлизированная ЭВТИ на основе оксида индия, на американском зонде MAVEN — с германиевым напылением.

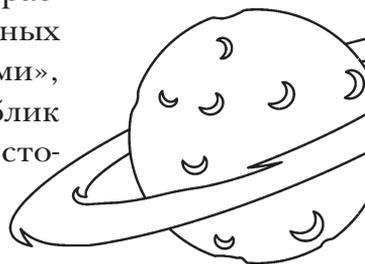
Такая теплоизоляция используется и на Земле. К примеру, в так называемых «Спасательных одеялах» (многослойные покрывала из металлизированной пленки, хорошо удерживающие тепло), но, поскольку внизу у нас еще есть ветер и дождь, то полной изоляции от холода она не дает.



В «золото» космические аппараты в массовом порядке стали одевать сравнительно недавно, примерно одно-два десятилетия назад, поэтому еще не все привыкли к их новому образу. Хотя золотистой теплоизоляцией были покрыты уже аппараты NASA в программах Gemini и Apollo. Но, к примеру, российский космический корабль «Союз» по-прежнему одевается в невзрачную «куртку».

На заре космонавтики экранная теплоизоляция достигалась блестящими полированными боками спутников или белой краской. Но по мере увеличения длительности эксплуатации аппаратов, становилось ясно, что требуется что-то более существенное.

В ранние «ватники», заворачивались лунные спускаемые аппараты серии «Луна». Например, «Луна-13» совершила мягкую посадку в 1966 году и проработала на поверхности Луны семь дней, пока не сели аккумуляторы. Примерно такой же тканью были укутаны и советские луноходы. Однако, на распространенных повсюду снимках и музейных макетах «Луноходы» изображены «голыми», поэтому сегодня нигде нельзя увидеть облик тех исторических аппаратов, что сейчас стоят на Луне.



Со временем теплозащита развивалась, и к 90-м годам стала все ближе подходить к нынешнему золотому цвету.

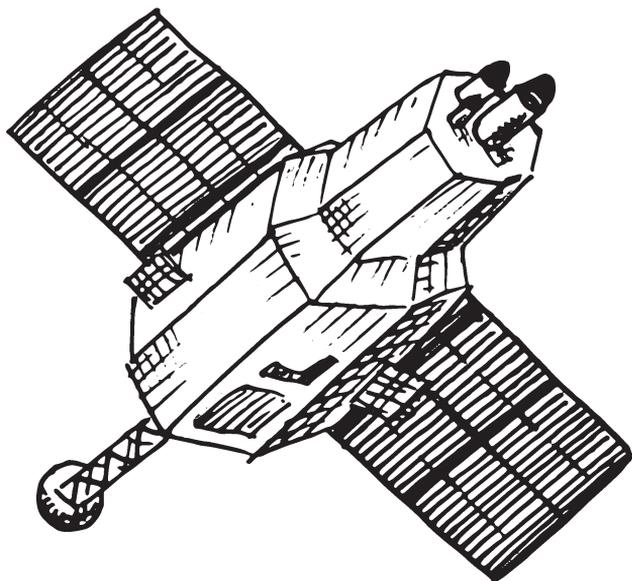
ЭВТИ на космическом аппарате «Марс-96» была ярко-оранжевой, но еще на тканевой основе. Во время старта такой тканью была покрыта практически вся станция.

Наконец, с приходом XXI века, началась «золотая» эпоха. При этом важно отметить, что разные производители ЭВТИ имеют разные технологии, ноу-хау и секреты. Каждый производитель космических аппаратов выбирает наиболее подходящую ему модель теплоизоляции. Далекое не всякая «золотая фольга» по факту оказывается золотой: металлов, дающих такой оттенок, несколько.

В России ЭВТИ производит «НИИ космических и авиационных материалов». Увидеть и сравнить разные типы теплоизоля-

ции можно на фотоснимках космических аппаратов перед их размещением под головным обтекателем ракеты. Например, космический телескоп Gaia Европейского космического агентства запускался российской ракетой и разгонным блоком «Фрегат» производства НПО Лавочкина. На снимках видно, что ЭВТИ отличается, хоть и оба типа ткани имеют золотистый оттенок.

Можно обратить внимание, что «золотая пленка» несколько небрежно покрывает аппараты. Дело в том, что эта изоляция не должна прилипать к поверхности, а должна выступать именно экраном, находясь между телом и средой, чтобы отражать инфракрасные лучи обратно к источнику.





МЕРКУРИЙ

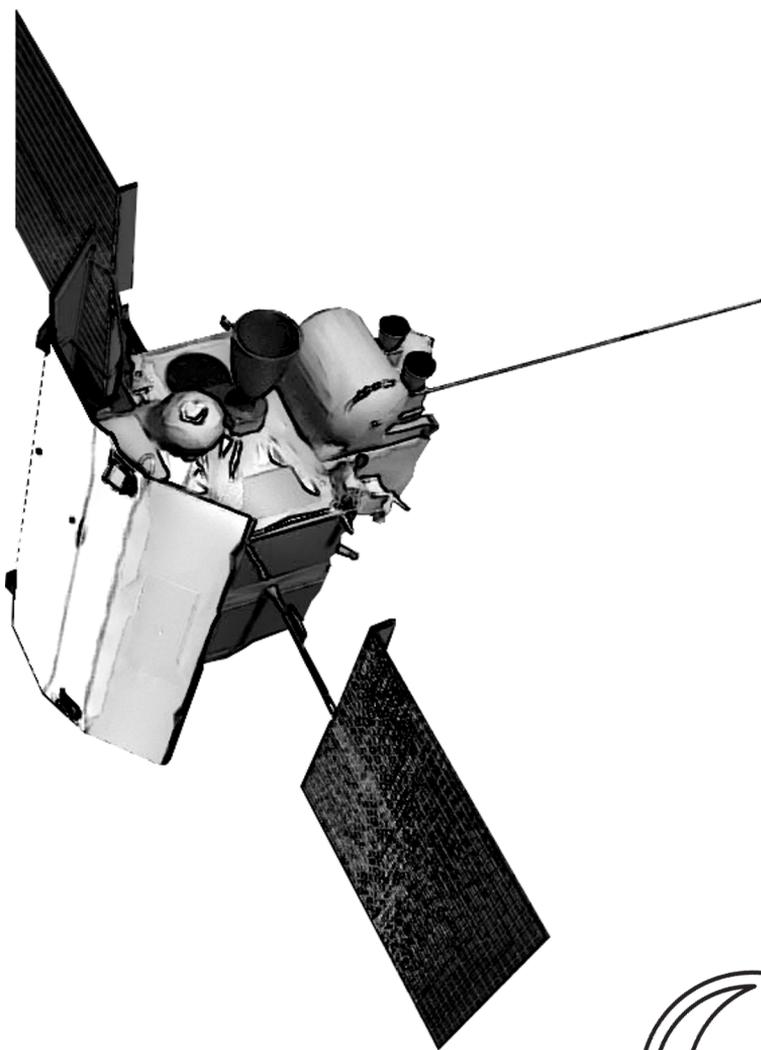
2.1 MESSENGER: ЗНАКОМСТВО И ПРОЩАНИЕ С МЕРКУРИЕМ



Кажется странным, что третья по близости планета к Земле до недавнего времени была хуже всего изучена. На Венере и Марс слетало более десятка космических аппаратов. Даже у Юпитера земные посланники бывали чаще. У Сатурна два десятка лет проработала исследовательская станция Cassini. Кажется, что против Меркурия сложился настоящий заговор.

К сожалению, никакого заговора тут нет. Точнее есть, но это заговор сил природы. Меркурий очень близок к Солнцу, поэтому не все телескопы могут его наблюдать. Например, космический телескоп Hubble не может снимать из-за опасности засветки. Космическим аппаратам добраться до Меркурия сложнее, чем до Юпитера или даже Плутона. Летать во внешнюю Солнечную систему относительно просто — достаточно набрать третью космическую скорость: 16,65 км/с. Лететь к Меркурию тоже просто — стартовав с Земли, надо сбрасывать скорость.

Сложности начинаются, когда спутник пытается задержаться у Меркурия и выйти на его орбиту. Первая планета Солнеч-



Messenger



ной системы — еще и самая маленькая, — ее масса незначительна по сравнению с колоссальной силой притяжения близкого Солнца. То есть, стартовав с Земли

в сторону Меркурия, мы фактически будем падать на Солнце. В ходе падения будет возрастать скорость. Чтобы задержаться и выйти на орбиту Меркурия, требуется много топлива.

Из-за таких сложностей первый меркурианский исследователь от NASA — Mariner-10 вращался на околосолнечной орбите, только пролетая мимо планеты. Он всего трижды, в 1974-75х годах, пролетел мимо Меркурия, успев снять менее половины видимой поверхности.

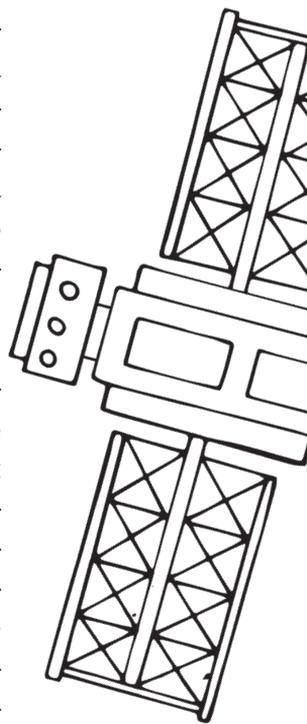


Этот снимок — практически единственное, что было у ученых для изучения поверхности планеты. Были еще некоторые результаты наземных наблюдений, например с радиотелескопов, но их явно не хватало для детального представления о планете.

Поэтому в 80-е задумали новую экспедицию. Для этого потребовалось просчитать новую траекторию, в которой космический аппарат активно использовал гравитацию ближайших планет. Новый зонд NASA Messenger, запущенный уже в 2004 году, использовал совершенно безумную траекторию, которая включала два пролета у Земли, два пролета у Венеры и три пролета у Меркурия, и только на четвертой встрече проходил выход на орбиту планеты. Такой маршрут требовал много времени, но экономил топливо, а значит, массу и стоимость всей экспедиции.

Пролетев почти 8 миллиардов километров (расстояние как до Плутона в его максимальном удалении), Messenger в очередной раз приблизился к Меркурию и вышел на эллиптическую орбиту. Он приближался к поверхности на 200 километров, а потом удалялся на 15 тысяч километров. Такая орбита требовалась по нескольким причинам. Прежде всего были технические ограничения: аппарат мог перегреться от солнечного излучения, отраженного от поверхности Меркурия. От прямых солнечных лучей Messenger прикрывался композитным щитом, но поверхность планеты отражает примерно 8% солнечного излучения, что в тех местах тоже весьма немало. Кроме этого, эллиптическая орбита позволяла производить съемку и изучение Меркурия с разной широтой захвата изображения: от узких кадров высокого разрешения вблизи поверхности до широких — издалека.

Научные приборы космического аппарата позволяли провести широкий спектр планетологических исследований: камеры видимого и ближнего инфракрасного диапазона позволили рассмотреть и картографировать планету, наборы мультиспектральных фильтров — оценить цветовые вариации грунта; нейтронный, гамма и рентгеновский спектрометры помогли определить элементный состав поверхности и содержание воды в приповерхностном слое; лазерный высотомер создал карту высот



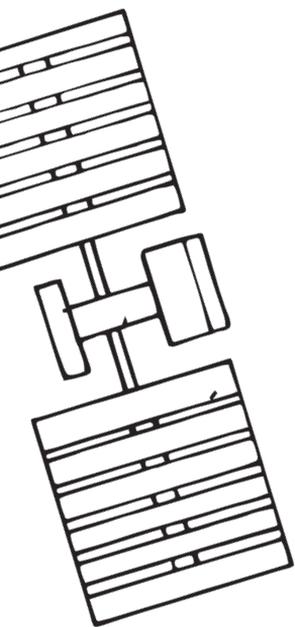
Меркурия и помог «заглянуть» в вечно темные кратеры у полюсов планеты. Несколько приборов помогли изучить внешние условия, в которых приходилось работать спутнику и постоянно пребывать планете: магнитометр смог определить магнитное поле Меркурия; ультрафиолетовый спектрометр — изучить разреженную атмосферу и экзосферу, а датчик заряженных частиц — оценить воздействие солнечного ветра и заряженных частиц на планету.

И что же удалось сделать за четыре года?

Сначала никто и не предполагал, что аппарат столько протянет. Первоначально предполагалась работа на год. Затем работу аппарата продлили еще на год. Затем еще... В результате аппарат держали на орбите до последнего — пока позволял запас топлива.

Первым делом планету картографировали. Сбылась мечта многих астрономов и планетологов — они смогли заглянуть во тьму неизвестности. Впрочем, тьма еще оставалась в кратерах «вечной ночи» у полюсов планеты.

Ось вращения Меркурия практически не отклонена и перпендикулярна плоскости орбиты, поэтому на планете нет смены времен года, а в глубокие кратеры на полюсах Меркурия никогда не заглядывает Солнце.



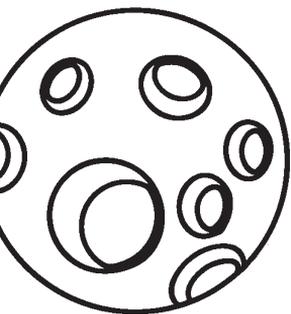
С этими теньвыми участками связана первая интрига. Радиоастрономические наблюдения планеты еще в 90-е годы выявили интересные подробности — у полюсов нашли участки, которые отражали радиоволны практически так же, как это должен был бы делать водяной лед. Лед? На планете, где температура на экваторе днем достигает +350 градусов Цельсия?

Радиоастрономам не верили до тех пор, пока не прилетел аппарат Messenger. Первое открытие, которое он сделал — определил, что участки «блестящие» в радиодиапазоне, точно соответствуют участкам вечной тени в приполярных кратерах. Дальше помог нейтронный спектрометр — он сумел определить, что в приполярных регионах все-таки есть вода, то есть данные этого прибора тоже оказались в пользу существования на Меркурии льда. Хотя его разрешающая способность не позволяла точно привязать затененные кратеры к повышенной концентрации воды в грунте.

Для исследования содержимого кратеров в «вечной тьме» использовали лазерный дальномер. Разумеется, его интенсивности не хватило бы для использования в качестве фотовспышки. Но дальномер позволил определить интенсивность отраженного лазерного луча, и первые попытки посветить лазером в ледники дали обескураживающий результат — предполагаемый



«лед» оказался примерно в два раза темнее, чем грунт, окружающий кратеры.



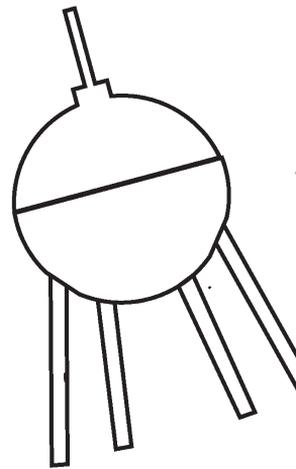
Наконец, лазерный дальномер поймал блеск: поверхность самых приполярных и глубоких кратеров отразила света в четыре раза больше, чем это делал окружающий грунт, — очередное доказательство наличия льда было получено. Но что же стало с черными-черными кратерами? Для того чтобы понять, что творится во тьме, пришлось разработать новую термическую модель поверхности. Оказалось, что в кратерах, куда хоть немного заглядывает Солнце, свет немного отражается от стенок и освещает дно. И именно это объяснило, почему аппарат не увидел там льда — даже слабенький свет, отражаемый стенками кратера, все равно способен растапливать лед, лежащий на дне. А чтобы понять, что же мы тогда видим, надо вспомнить, откуда на Меркурии вообще может быть лед.

Главным источником льда и воды во внутренней Солнечной системе считаются кометы. Хотя исследование, проведенное аппаратом Rosetta на комете 67P/Чурюмова-Герасименко, поставило под сомнение кометное происхождение земных океанов, а исследование автоматической межпланетной станции LRO, в том числе российского прибора LEND, поставило под сомнение кометное происхождение воды на Луне, о происхождении льда на Меркурии можно говорить увереннее.

В его окрестностях кометы появляются гораздо чаще, так как Солнце тянет их своей гравитацией как мух к меду. Поэтому кометы намного чаще падают на Меркурий, чем на какое-либо другое тело в Солнечной системе, за исключением, конечно, Солнца. В момент падения кометы вода испаряется, чтобы потом сконденсироваться в виде снега только там, где достаточно холодно и темно, то есть в кратерах на полюсах.

Комета по своей структуре — это «грязный снежок» — кусок льда с пылью и углеродными соединениями, по текстуре напоминающими уголь. Вот здесь-то ученые и подобрались к ответу на загадку темных кратеров. Темнее местного грунта оказалась органика. Замерзшая вода, принесенная кометами вперемешку с пылью и органическими соединениями, покоится на дне выбитых кратеров. Там, где свет попадает в кратер, верхний слой льда испаряется, оставляя только темный слой органических соединений. Вода и органические соединения — казалось бы, лучшие ингредиенты для зарождения жизни, но для поддержания воды в жидком состоянии, не хватает плотной атмосферы, поэтому, как и на кометах, на Меркурии не может зародиться жизнь.

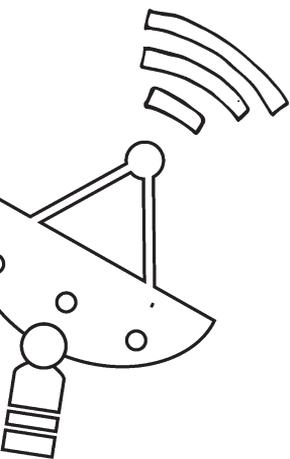
Зато меркурианские загадки на этом не заканчиваются. Аппарат Messenger рассмотрел еще одну особенность поверхно-



сти планеты, которую так и не смогли окончательно объяснить. Странные участки выщербленного грунта, которые назвали «впадинами» (hollows), встречаются практически по всей территории Меркурия. Пока ученые могут только сказать, что впадины имеют недавнее происхождение, настолько, что, возможно, процесс их формирования продолжается до сих пор. Это удалось определить по наличию метеоритных кратеров. Точнее, по их отсутствию, что говорит о сравнительной молодости этих образований. Впадины обнажают нижележащий грунт голубоватого или синеватого цвета. Какую-то привязку впадины имеют к выходам вулканической лавы, но эти вулканы успокоились задолго до того, как начали формироваться впадины. Считается, что это некий летучий минерал, который медленно испаряется под воздействием солнечных лучей или даже заряженных частиц, но приборы Messenger не позволили точно определить состав и характеристики изменяющегося грунта.

Другими, не такими интригующими, но любопытными открытиями на Меркурии стали магнитное поле и признаки недавнего вулканизма.

Магнитное поле Меркурия в сто раз слабее земного, но даже такая интенсивность указывает на жидкое ядро планеты и продолжающиеся токи в нем.



Относительно недавно успокоившиеся вулканы тоже стали сюрпризом. Возможно, еще динозавры могли бы наблюдать извержения на Меркурии, если бы, конечно, обладали соответствующей техникой.

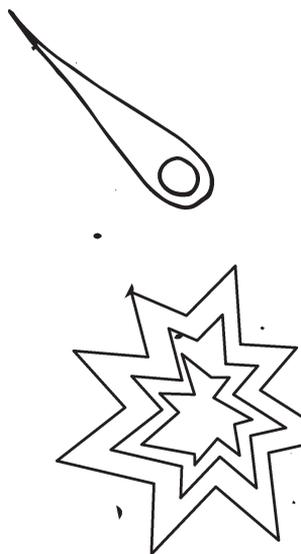
Уникальное в истории космонавтики наблюдение Messenger сделал, взглянув на систему Земля/Луна. Он даже смог показать лунное затмение, когда Луна скрылась в тени Земли.

Космический аппарат работал на орбите Меркурия более четырех лет. С каждым годом орбита спутника снижалась, и ученые использовали это для получения снимков с повышенным разрешением для более тщательного осмотра местности.

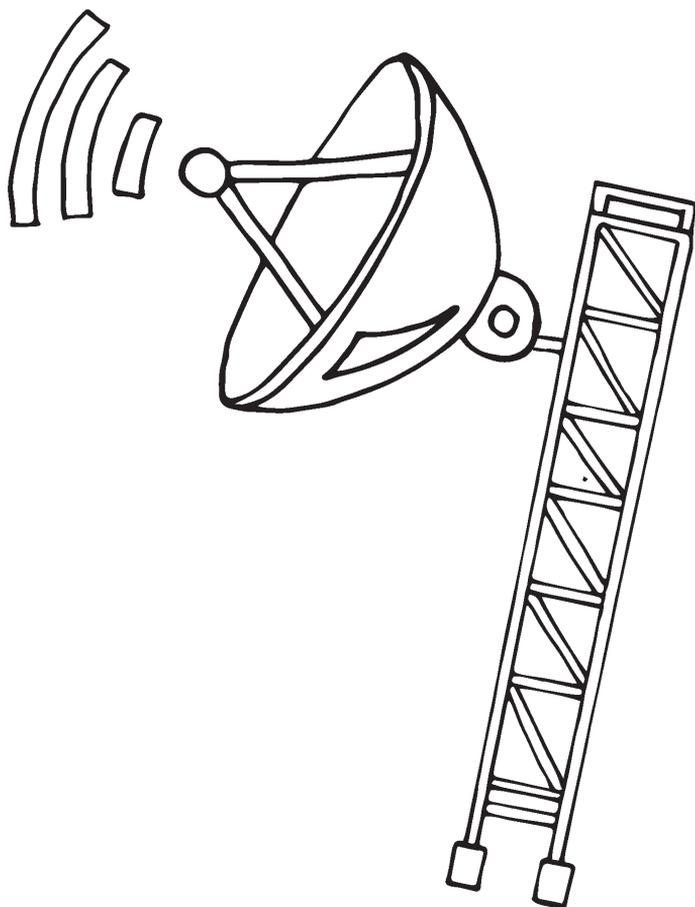
К концу 2014 года аппарат полностью исчерпал запасы топлива, но продлить его время работы на несколько месяцев удалось, обеспечив реактивный импульс сжатым гелием, который предназначался для создания давления в топливных баках.

Наконец пришло время прощаться с космическим аппаратом. 30 апреля 2015 года с «последним вздохом» двигательной установки спутник был направлен к месту своего вечного успокоения.

На этом история Messenger закончилась. Но не закончилась наука. Ученым еще предстоит обработать немало данных,



и результатом будут новые открытия. Тем более что теперь Меркурий снова останется наедине с собой и кометами почти на 10 лет. Следующий европейско-японский аппарат VeriColombo прибудет к Меркурию не ранее 2024-го года. Ожидается, что VeriColombo сможет разгадать загадки, оставленные Messenger.





ЛУНА

3.1 ЛУНА ПОСЛЕ «АПОЛЛОНА»



У Земли и Луны весьма непростые взаимоотношения. После активного и тесного общения в 60-е и 70-е, после высадок астронавтов и поездок луноходов, после доставки и изучения грунта, мировая космонавтика практически забыла о спутнике Земли, сконцентрировав деятельность на других направлениях. Это даже стало причиной появления мифа, повествующего о запрете изучения Луны кем-то или чем-то. Однако исследования продолжаются, причем довольно активные.

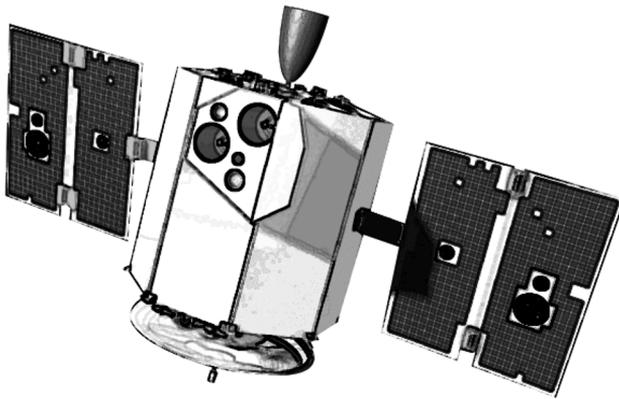
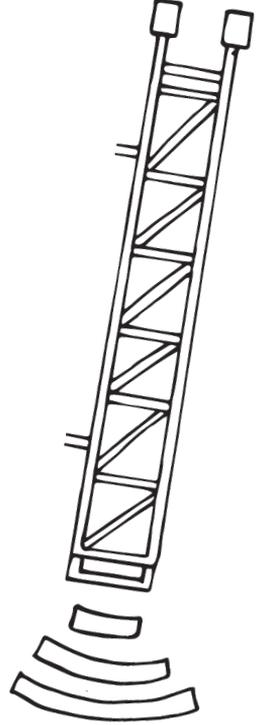
После старта в 1976 году возвращаемого модуля «Луна-24» и доставки последней щепотки реголита между Землей и Луной остался только вакуум. Лишь спустя 14 лет космонавтика стала возвращаться к Луне. Правда, о пилотируемых путешествиях пока что забыли — слишком невыгодное соотношение между затратами и научно-практической пользой от полета. Поэтому сейчас летают в основном спутники, слетал один луноход, и готовятся другие посадочные аппараты.

В 90-е годы первыми к Луне вернулись японцы, снарядившие миссию Hiten. Спутник по большей части предназначался только для отработки технологии перелетов, гравитационных маневров и аэродинамического торможения в атмосфере Земли,

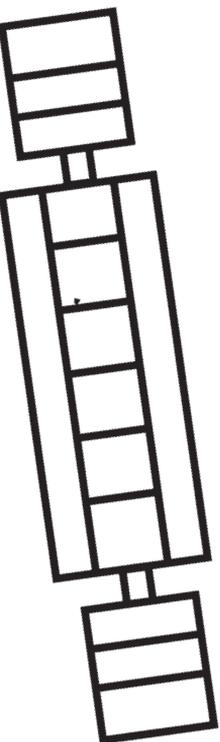
то есть японцы в то время учились летать между Землей и Луной. На борту Niten находился еще микроспутник, который хотели выбросить на окололунной орбите, но аппарат не включился.

В 1994-м году к Луне отправился американский исследовательский аппарат Clementine.

Его тоже использовали для тестов и изучения влияния дальнего космоса на электронику, но к этому добавили еще и несколько приборов: ультрафиолетовый и инфракрасные спектрометры, а также камеру высокого разрешения с шестью цветными фильтрами. Благодаря оборудованию на аппарате Clementine, ученым удалось начать геологическое картографирование Луны. Полезным устройством стал лазерный высотомер для создания трехмерной карты лунной местности.



Clementine



На основе данных Clementine удалось создать онлайн-карту Google Moon, которую позже дополнили снимками с орбитальных модулей Apollo и второй японской автоматической станции Kaguya.

Снимки камеры высокого разрешения Clementine оказались не очень высокого разрешения (от 7 до 20 метров), так как спутник летал на высоте около 400 километров — с такого расстояния много не рассмотришь. Зато благодаря Clementine ученые получили первые косвенные данные о наличии на полюсах Луны воды в повышенной концентрации.

Следом, в 1998 году, полетел Lunar Prospector, тоже от NASA.

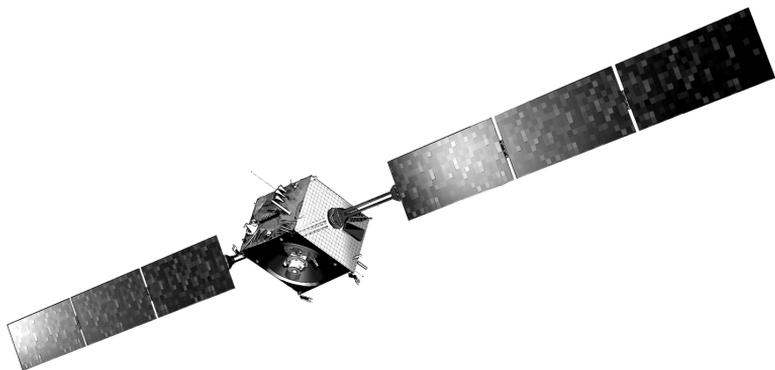
Его камерами вообще не оборудовали, и устроен он был довольно просто, но зато смог провести первое геологическое картографирование Луны при помощи нейтронного датчика и гамма-спектрометра. Спутнику удалось определить, что на полюсах Луны вода может достигать концентрации 10% в грунте.

Применение гамма-спектрометра позволило определить распределение по поверхности Луны кремния, железа, титана, алюминия, фосфора и калия. Были проведены более точные измерения гравитационного поля и выявлены новые неоднородности — масконы — места повышенной «концентра-

ции массы», то есть повышенной плотности, которая увеличивала гравитацию.

В 2000-х к «лунному клубу» стали присоединяться новые участники. В 2003 году Европейское космическое агентство запустило экспериментальную миссию Smart-1. Задачи полета тоже были по большей части технологические: Европа училась использовать плазменный двигатель для перелетов в дальнем космосе. Но кроме этого имелись и бортовые камеры для съемки в видимом и инфракрасном диапазонах.

Камера у Smart-1 была небольшой, а орбита — высокой: от 400 до 3000 километров, поэтому кадры получались в основном широкоугольными с низким разрешением. Наиболее детальные кадры были всего 50 м на пиксель, а глобальную карту удалось построить только из кадров в 250 м на пиксель.



Smart-1

Когда Smart-1 летел к Луне, он опробовал лазерную связь с Землей. Передавать данные по лучу тогда не предполагали, только пытались «пострелять» в однометровый телескоп обсерватории на острове Тенерифе. Цель была изучить влияние земной атмосферы на луч. Попытка оказалась удачной: в телескоп попали, но развивать технологию не стали — радиосвязь показалась тогда надежнее.



Здесь надо отвлечься и ответить на вопрос, который, наверняка, уже у многих возникал: почему нельзя спуститься пониже, чтобы снимки поверхности были качественнее? Вроде бы атмосферы нет, летай хоть на 10 метрах! Но с Луной не все так просто. И атмосфера с пылью там какая-никакая есть, но ей можно пренебречь, а пренебрегать нельзя масконами. Маскон — это локальное увеличение гравитационного поля.

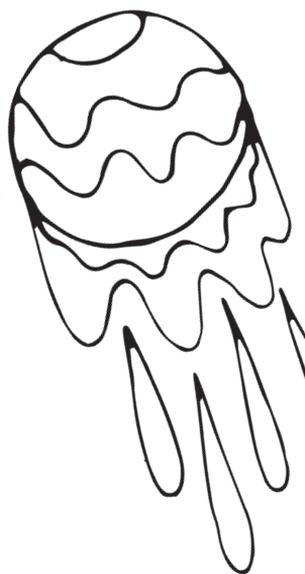
Гравитационное поле Луны неоднородно. Предположим, что мы летим на высоте 10 километров над однородной равниной. Сила притяжения, действующая на аппарат, имеет одно неизменное значение. Мы его компенсируем ускорением двигательной установки, набираем первую космическую скорость и можем летать на этой высоте бесконечно, если нам ничто не мешает. Но если мы будем летать не вокруг гигантского бильярдного шара, а вокруг, к примеру Луны, то равнина быстро кончится. И встретится нам, к примеру горный хребет, высотой 5 километров. Что будет с гра-

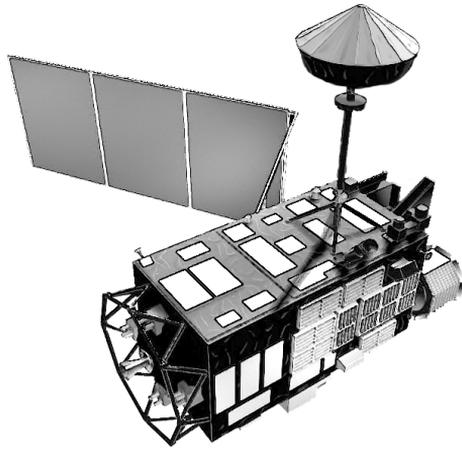
витационным полем? Правильно: притяжение аппарата возрастет. Этакая гравитационная выбоина на орбите спутника. И чем ниже спутник прижимается к поверхности, тем более мелкие «выбоины» начинают на него оказывать воздействие.

Луна же еще сложнее. Когда-то на нее падали огромные астероиды, которые пробивали кору и вызывали поднятие более плотной мантийной породы к дневной поверхности. А дневная поверхность сложена из более рыхлых и легких вулканических пород. В результате мы получаем относительно гладкую равнину с разнородным гравитационным полем. Мантийное вещество — более плотное и массивное, то есть притягивает сильнее и получается эквивалент гравитационной «горы». Это, собственно, и называется маскон — концентратор массы.

В 2007 году к Луне отправилась японская Kaguya. Научившись летать к естественному спутнику Земли, японцы решили усердно заняться его изучением. Масса аппарата достигала почти 3 тонны — проект назвали «самой масштабной лунной программой после программы Apollo».

На борту были установлены два инфракрасных, рентгеновский и гамма-спектрометр для изучения геологии Луны. Заглянуть глубже в недра спутника Земли должен был прибор Lunar Radar Sounder.





Kaguya

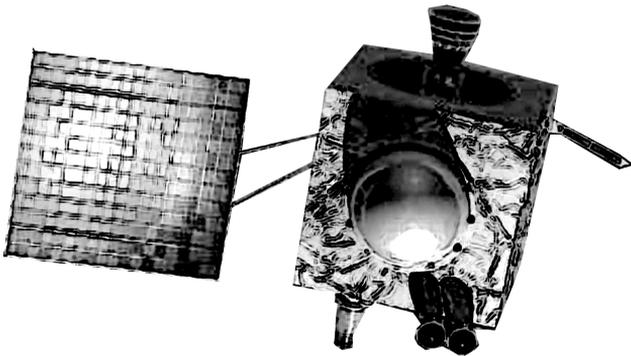
Kaguya сопровождалась двумя малыми спутниками-ретрансляторами Okina и Ouna, каждый массой по 53 килограмма. Благодаря им удалось исследовать неоднородности гравитационного поля на обратной стороне — составить более подробную карту масконов. Kaguya сначала летала на высоте 100 километров, затем снизилась до 50 километров, сделала шикарные кадры лунных пейзажей и прекрасный закат Земли, но увидеть Apollo или Луноходы не смогла — разрешения камеры не хватило.

За два года работы Kaguya аппарат смог получить богатый набор данных со своих приборов, в интернет-архивах можно найти фото и видео с лунной орбиты, сделанные аппаратом (<http://wms.selene.darts.isas.jaxa>.

jp/selene_viewer/index_e.html). Открыт для всех и архив научной информации: <http://l2db.selene.darts.isas.jaxa.jp/index.html.en>.

Вслед за Kaguya к Луне отправились новички: индийцы и китайцы. У них сейчас разворачивается целая лунная гонка в беспилотном режиме.

В 2008 году к Луне стартовала первая в дальнем космосе автоматическая миссия Индии – Chandrayaan-1.

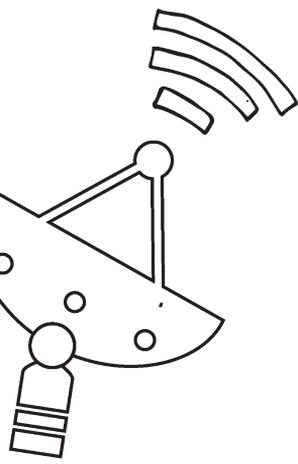


Chandrayaan-1

Аппарат нес на борту несколько индийских и иностранных приборов, среди которых находились инфракрасные и рентгеновские спектрометры. На борту была установлена стереокамера, которая снимала поверхность с разрешением до 5 метров.

Интересное исследование было проведено американским прибором Mini-SAR – не-

большим радаром с синтезированной апертурной решеткой. Ученые хотели выяснить запасы льда на лунных полюсах. После нескольких месяцев работы полюса были как следует осмотрены, и первые отчеты оказались весьма оптимистичными. Радар определял рассеяние радиоволн на различных элементах рельефа. Повышенный коэффициент рассеяния мог возникать на раздробленных элементах породы, как писалось в отчетах — «roughness» — шероховатостях. Похожий эффект могли вызывать и залежи льда. Анализ приполярных областей показал два типа кратеров, которые демонстрировали высокую степень рассеяния. Первый тип — молодые кратеры, которые рассеивали радиолуч не только на дне, но и вокруг себя, то есть на породе, которая была выброшена при падении астероида. Другой тип кратера — «аномальный», такие кратеры рассеивали сигналы только на дне. Причем отмечалось, что большинство эти кратеров находится в глубокой тени, куда никогда не попадают лучи Солнца. На дне одного из аномальных кратеров зарегистрировали температуру, вероятно, самую низкую на Луне: 25 Кельвинов или минус 248 градусов Цельсия. Ученые NASA пришли к выводу, что радар видит на склонах «аномальных кратеров» отложения льда.

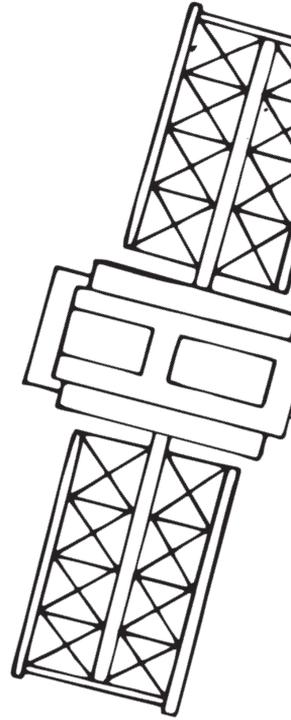


Оценки ледяных залежей по данным радара Chandrayaan-1 примерно подтверждали оценки нейтронного детектора Lunar Prospector — 600 миллионов тонн.

Позже китайские ученые провели свое независимое исследование на основе данных Chandrayaan-1 и LRO и пришли к выводу, что «нормальные» и «аномальные» кратеры на Луне ничем не отличаются по коэффициенту рассеяния ни у полюсов, ни у экватора, где льда не ожидается. Они же напомнили, что исследование с Земли при помощи радиотелескопа Аресибо не обнаружило никаких залежей льда. Так что, лунные запасы воды по-прежнему хранят тайну и еще ждут своего первооткрывателя.

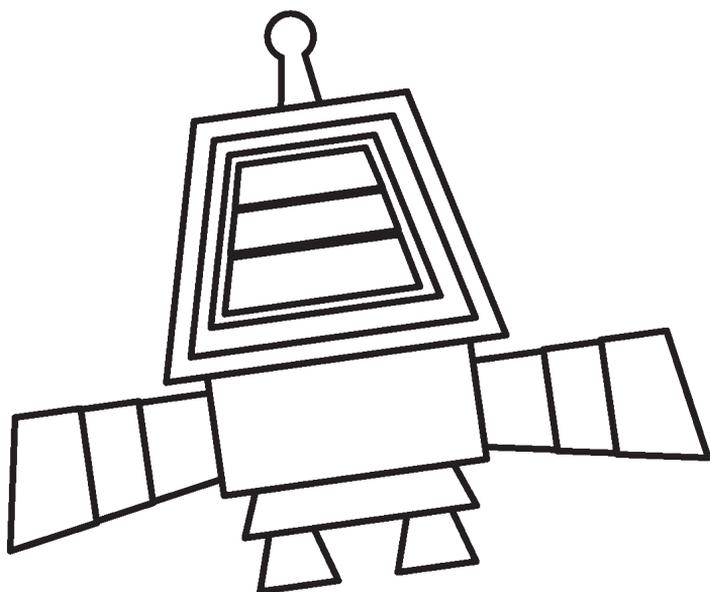
Chandrayaan-1 нес еще один интересный прибор — Moon Mineralogy Mapper — инфракрасный гиперспектрометр для геологического картографирования Луны в высоком разрешении. Он тоже дал противоречивые результаты. Во-первых, в очередной раз подтвердил повышенное содержание воды или водородсодержащих минералов в приполярных регионах. Во-вторых, нашел признаки воды и гидроксидов в тех местах, где Lunar Prospector не показывал никаких признаков повышенного содержания водорода. Проблема с Moon Mineralogy Mapper в том, что он анализировал буквально верхние миллиметры грунта, и та вода, которую он нашел, может быть результатом воздействия солнечного ветра на лунный реголит, а не указывать на ее богатые залежи в недрах.

К сожалению, миссия Chandrayaan-1 прекратилась раньше запланированного срока из-за технической неисправности на аппа-



рате — он не проработал и года. Сейчас Индия готовится осуществить посадочную миссию и высадить на Луне мини-луноход.

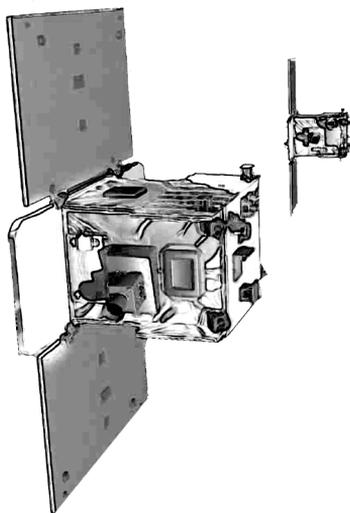
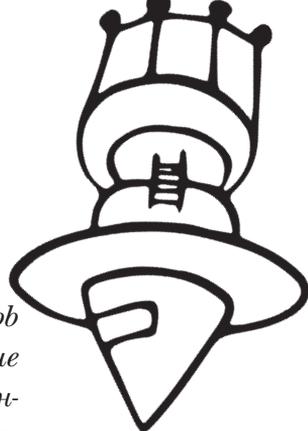
Дальше всех из «новичков» в изучении Луны продвинулся Китай. На его счету два спутника Chang'e 1 и 2, один луноход Yutu и один технологический облет Луны с возвращением капсулы — так они готовятся к доставке лунного грунта, а в перспективе и к пилотируемому полету.



3.2

GRAIL: КАК NASA БОМБИЛО ЛУНУ

Два лунных зонда-близнеца Ebb (GRAIL-A) и Flow (GRAIL-B), вошедшие в программу GRAIL, стартовали 10 сентября 2011 года. Вся работа зондам удалось выполнить практически за год, что достаточно быстро для межпланетных космических миссий. Главной задачей двух аппаратов размером со стиральную машину было подробное изучение гравитационного поля Луны.



Ebb (GRAIL-A) и Flow (GRAIL-B)

Благодаря их работе ученые смогли практически заглянуть Луне под кору.

Удалось уточнить и толщину самой коры. Выяснилось, что ранее ее толщину переоценивали. По данным сейсмометрической съемки, проведенной экипажами «Аполлонов», толщина коры выходила около 40-50 километров. GRAIL-A и GRAIL-B же определили, что она не превышает 30-40 километров.

В толще коры были выявлены структуры, которые не проявляются на поверхности и заметны только в виде линейных гравитационных аномалий. Этими аномалиями оказались дайки — трещины в нижней части коры, в которые проникло мантийное вещество и застыло в виде длинных «шрамов».

Когда работа спутников была сделана, а топливо подошло к концу, NASA приняло решение прекратить миссию, обрушив спутники на безымянную гору у Северного полюса Луны. Гора была выбрана из-за того, что летящим на очень низкой орбите спутникам нужно было препятствие с крутым углом. Если бы их просто уронили на ровную поверхность, то они поскакали бы как «блинчики», разбрасывая детали по всей округе. Поэтому NASA решило: если мусорить, то компактно. В момент падения аппараты миссии GRAIL стали самыми северными рукотворными объектами на Луне. Ученые, которые отправляли зонды в последний путь, позаботилось о том, чтобы спутники не повредили предыдущие чело-



веческие аппараты на Луне, которые уже являются достоянием истории.

GRAIL – не первые объекты, целенаправленно обрушенные на Луну. Во времена Apollo разгонные ступени ракет и пустые лунные модули падали на поверхность Луны для создания сейсмических волн, которые регистрировались оставленными сейсмометрами.

В 2009 году была проведена операция LCROSS: разгонную ступень Centaur, доставившую спутник LRO на лунную орбиту, направили в приполярный лунный кратер, чтобы понять, есть ли там вода. Следом пустили аппарат, который анализировал вспышку от падения ступени и тоже падал.

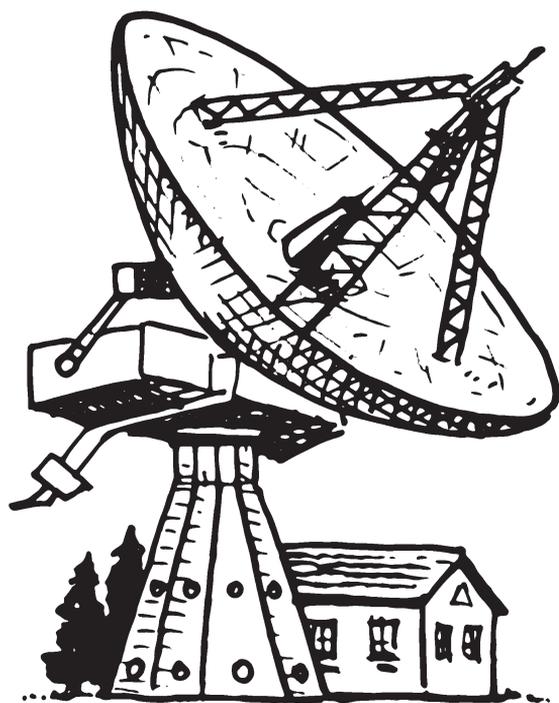
Сила взрыва и объем выброшенного вещества тогда оказались почти в 6 раз слабее предсказанного, поэтому с Земли следов падения аппаратов практически не увидели. Результаты LCROSS получились противоречивыми: спектрометр летящего следом аппарата зарегистрировал во взрыве водород и кислород. Казалось бы удача, но разгонная ступень перед стартом заправлялась этими же газами – кислородом и водородом, поэтому невозможно было определить происхождение элементов, которые увидели спектрометры.

Размеры GRAIL были намного меньше, чем LCROSS, поэтому их взрывы увидеть



с Земли и не пытались, зато места падений сфотографировал спутник LRO.

Вторая «бомба», упавшая на Луну — это ударный зонд индийского спутника Chandrayaan-1, последствия падения которого также не были видны с Земли — за результатами взрыва следил только сам индийский аппарат.



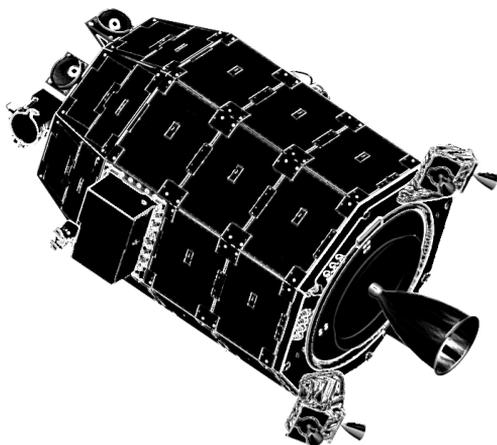
LADEE: НА ОХОТУ ЗА ЛУННОЙ ПЫЛЬЮ

В среде уфологов до сих пор ходят легенды о стеклянных башнях и замках, которые увидели астронавты на Луне. Люди, побывавшие на Луне, действительно оставили зарисовки свечения и лучей на горизонте, которые они наблюдали с теневой стороны. Автоматические посадочные модули 60-х годов программы Surveyor точно также передавали ночные снимки, где было видно свечение горизонта. Нынешние знания о нашем естественном спутнике отрицают возможность присутствия сказочных строений, но что тогда наблюдали астронавты и автоматические станции? Если бы Луна была простым камнем в космосе, то никаких световых эффектов на горизонте бы не было, но наблюдаемое свечение указывало на рассеяние солнечного света, которое могла дать только атмосфера и висящая в ней пыль. Для исследования окололунной среды в 2013 году стартовала новая миссия NASA: LADEE Lunar Atmosphere Dust Environment Explorer.



Само название аппарата способно вызвать удивление. Какая атмосфера? Там же вакуум!

Как выяснилось, Луна — довольно массивное тело, поэтому ее гравитация способна поддерживать некое подобие атмос-



LADEE

феры. Хотя, более правильное название — экзосфера.



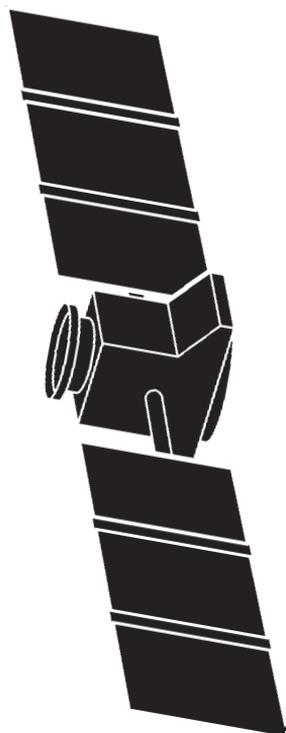
Если плотность атмосферы Марса составляет примерно 1% от земной атмосферы, то плотность атмосферы Луны — примерно 0,001%. На Земле в одном кубическом сантиметре содержится примерно 100 миллиардов молекул газов воздуха, на Луне — от 100 тысяч до 10 миллионов молекул газов. Таким образом, плотность атмосферы у поверхности Луны составляет примерно плотность земной атмосферы на высоте Международной космической станции. И, хотя формально такие условия можно назвать вакуумом, околоземную станцию приходится регулярно поднимать, так как она тормозит об атмосферу и постепенно снижается.

Существенный вклад в состав лунной экзосферы вносит пыль. Несмотря на отсутствие видимых метеорологических явлений, на Луне концентрация пыли над поверхностью может меняться. То есть фактически можно говорить о пылевых бурях на Луне. Конечно, они не идут ни в какое сравнение с марсианскими или земными, но именно пыль вместе с экзосферными газами отвечает за эффект наблюдаемого свечения над поверхностью Луны в предрассветное время.

Причины, которые поднимают пыль на Луне, еще предстоит изучить, а пока рабочих гипотез две: метеоритные воздействия и электризация пыли под действием солнечного излучения.

Предположения ученых проверял аппарат LADEE в ходе своей 128-дневной миссии: с ноября 2013 года по апрель 2014-го. Решение о проведении таких исследований приняли еще в 2007 году. Главным принципом миссии была ее дешевизна: использование только тех приборов, которые не нужно разрабатывать не с нуля, а при помощи готовых чертежей. Бюджет миссии был намечен совсем скромный по меркам NASA — 80 миллионов долларов (по факту получилось в два раза больше).

Активная фаза строительства началась в 2012 году. Таким образом, NASA построило межпланетный аппарат меньше чем за два года.

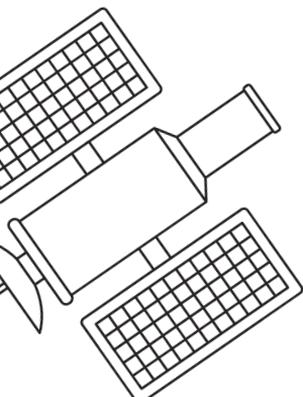


Космический корабль разработан в NASA Ames Research Center по модульной схеме, которая позволяет собирать аппараты различного назначения подобно бусам. Внутри его корпуса располагался ракетный двигатель, баки с топливом и бортовые служебные системы: управления, ориентации, энергоснабжения, терморегуляции и т.п.

LADEE не был предназначен для посадки, но разрабатываемая для него модульная схема предполагает возможность создания и посадочных аппаратов. Такие исследовательские станции могут отправляться на Луну, Меркурий или ближайшие астероиды. Сегодня эта технология развивается частной компанией Moon Express, и NASA готово заказывать у нее доставку научного оборудования на Луну. LADEE стал первым экспериментальным модульным аппаратом, который проверил эффективность такой конструкции.

Научные и экспериментальные приборы были расположены на внешней стороне корпуса аппарата. Три из них позволили исследовать атмосферу и пыль Луны, а четвертое устройство – LLCD (Lunar Laser Communication Demonstration – демонстратор технологии лазерной связи) – должно было приблизить мечту о широкополосной связи в Солнечной системе и HD видео с Марса, Юпитера или Сатурна.

Прибор UVS (Ultraviolet-Visible Spectrometer) – это небольшой телескоп, который на-

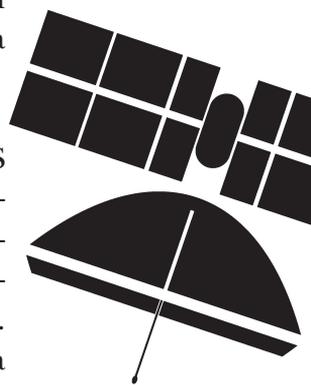


блюдал свечение атмосферного лимба во время пересечения спутником терминатора (границы освещенной Солнцем и теневой стороны поверхности). Ультрафиолетовый спектрометр определял, какие вещества присутствовали в атмосфере.

Состав лунной атмосферы изучал NMS (Neutral Mass Spectrometer). Это квадрупольный масс-спектрометр, способный определить массу молекул и атомов газов, находящихся в атмосфере нашего спутника. Конструкция NMS была позаимствована у станции Cassini, которая успешно изучала Сатурн, Титан и другие спутники в системе окольцованного гиганта.

Пыль была изучена тоже по массовым характеристикам, но прибором другой конструкции (LDEX). Прибор LDEX (Lunar Dust Experiment) — это детектор ударной ионизации. По конструкции он напоминает автомобильную фару, только работает наоборот: параболическая ловушка повернута вперед по ходу полета аппарата и ловит встречные пылинки. На высокой скорости полета при столкновении пылинки с ловушкой происходит микровзрыв, пылинка превращается в облако плазмы, и специальный датчик регистрирует ее интенсивность. Чем ярче вспышка, тем выше масса пылинки.

Эксперимент LLSD (Lunar Laser Communication Demonstration) продемонстрировал возможность передачи информации в космо-





се по лазерному лучу. Устройство лазерной связи, размещенное на LADEE, обеспечило скорость передачи данных до 38,5 Мбит/с на однометровый телескоп. Правда, передать данные по лучу с Земли не удалось. Для передачи научных данных в традиционном режиме LADEE был оборудован радиопередатчиком и антенной S-диапазона.

Научная программа LADEE проходила на разных высотах, — от 250 до 50 километров — чтобы определить разницу распределения пылевых частиц и молекул газов в зависимости от расстояния до поверхности.

После того, как основные научные эксперименты завершились, аппарат перешел к снижению, которое завершилось столкновением с поверхностью. Место удара сняли камерой высокого разрешения на спутнике Lunar Reconnaissance Orbiter, подобно аппаратам миссии GRAIL.

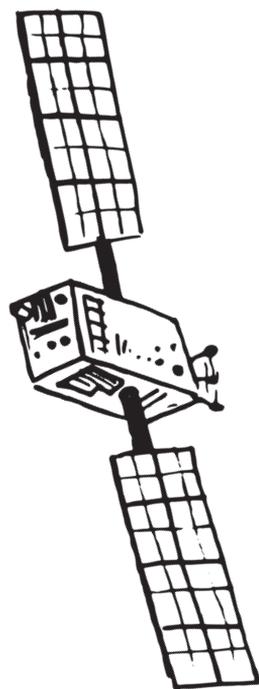
Главная научная работа была направлена на определение зависимости лунной «погоды» от влияния Солнца, поэтому особое внимание уделялось границе лунного дня и ночи. Ожидания оправдались, но совсем не так, как предполагали. Наибольшая концентрация пылевых частиц наблюдалась на утренней стороне Луны, однако это связано не с солнечным излучением. Утренняя сторона — это «ведущая» сторона Луны, которой она летит вперед вместе с Землей по своей орбите вокруг Солнца. Орбитальная

скорость системы Земля-Луна — около 30 км/с, именно на такой скорости происходят столкновения лунной поверхности и пыли в межпланетном пространстве. Одна межпланетная пылинка выбивает тысячи лунных, которые поднимаются облаком над поверхностью.

Существенное увеличение пыли возникало и во время прохождения Луной метеорных потоков. Поток космической пыли Геминиды, происходящий из астероида Фэтон, привел к увеличению почти в сто раз количества пылевых частиц над поверхностью Луны, но их число быстро сократилось после прохождения потока.

Во время своей миссии аппарат LADEE улавливал газы как поступающие от солнечного ветра, так и выделяющиеся из поверхности Луны. От Солнца приходят атомы водорода, гелия и неона. Из поверхности Луны выделяются атомы кислорода, аргона-40, натрия, калия, железа, титана, совсем немного алюминия. Выделения натрия и калия связаны с бомбардировкой метеорными частицами, причем над лунными морями их больше. Аргон-40 может указывать на геологические процессы, происходящие в недрах. Сумел LADEE засечь и пары воды, но их концентрации очень незначительные и встречаются редко.

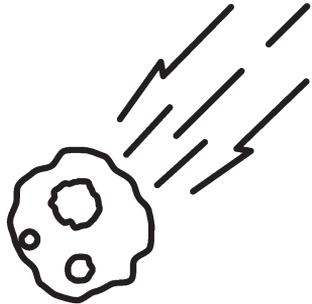
Исследования LADEE имеют вполне конкретное практическое применение. В ходе



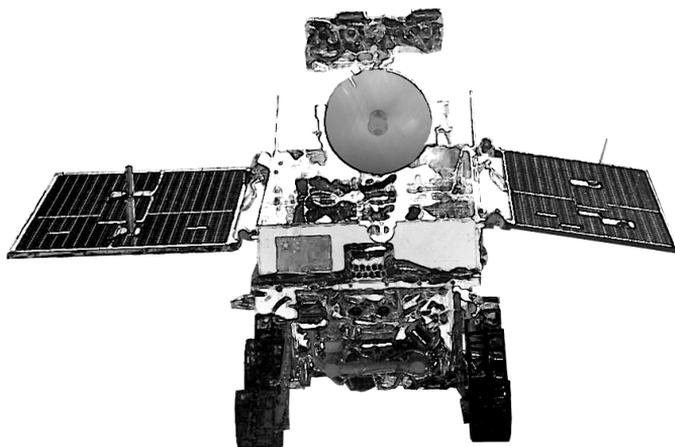
пилотируемых полетов NASA, которые длились считанные дни, лунная пыль создавала весьма существенные проблемы для астронавтов. Существуют опасения, что частицы пыли, имеющие нанометровые размеры, способны представлять канцерогенную опасность для людей. Очевидно, негативное воздействие пыли на устройства и механизмы. Поэтому человечество и изучает эту проблему, чтобы быть готовым ко всем трудностям возвращения на Луну и ее возможной колонизации.

Выводы команды LADEE в отношении пылевых частиц на изучаемых высотах 50–250 километров: «в основном безвредна». Правда, зонд так и не смог дать объяснение интенсивному свечению лунного горизонта, которое наблюдали аппарат Surveyor и астронавты.



CHANG'E 3 И YUTU:
КИТАЙСКАЯ ЛУНА

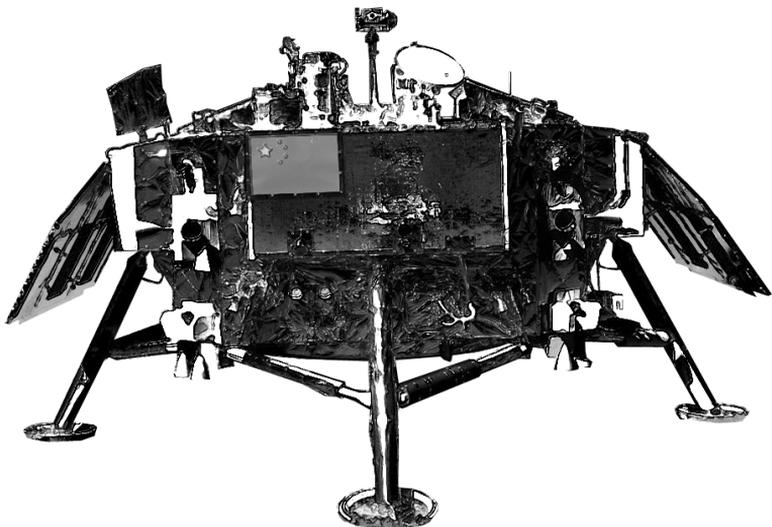
Летом 2016 года нам пришлось попроситься с еще одним исследователем космоса – луноходом Yutu. О нем известно совсем немного, отчасти потому, что пиарщикам Китайского космического агентства еще надо учиться работать, отчасти потому, что у аппарата начались технические проблемы через месяц работы – про неудачные миссии никому не нравится рассказывать.



Yutu

Луноход Yutu («Нефритовый заяц») массой 120 килограмм опустился на поверхность естественного спутника Земли в декабре 2013 года при помощи спускаемой

платформы Chang'e 3 массой 1200 килограмм. Техническая реализация программы очень напоминала полеты советских аппаратов «Луна-17» и «Луна-21», с луноходами на борту.



Chang'e 3

Yutu успешно высадился на поверхность, и развернулся, чтобы Китай мог продемонстрировать всему миру красный флаг на Луне. В этот момент главная пропагандистская задача миссии была выполнена, и информационное освещение программы резко сократилось еще даже до начала проблем.

Обогнув платформу, Yutu двинулся на исследование Луны.



По ходу движения осуществлялись остановки, на которых разворачивался манипулятор и проводились спектрометрические исследования. Панорамная камера платформы Chang'e 3 снимала окрестности, луноход и Землю в небе.

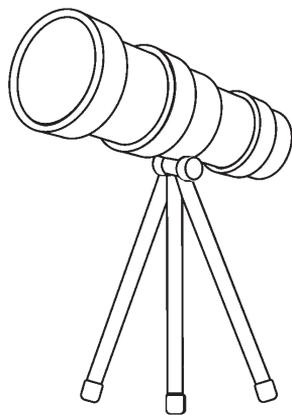
Когда Yutu удалился на несколько десятков метров от точки старта, информация о нем практически перестала попадать в прессу. Как стало ясно по скудным официальным комментариям, у лунохода возникли проблемы с системами передвижения и терморегулирования — на ночь не закрылась крышка солнечных батарей.

Луноход больше не ходил, и о нем не публиковались новости, поэтому он оказался практически забыт. Однако его работоспособность сохранялась. Примерно через полгода после посадки опубликовали новую панораму Луны, снятую аппаратом во время пути на место вечной стоянки.

Фотографии китайского лунохода и посадочной станции выложены на сайте Китайской академии наук, правда сайт работает нестабильно и редко доступен.

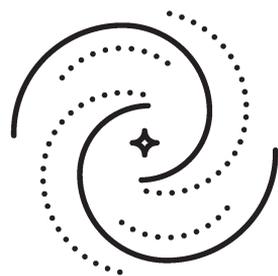
Сеансы связи с Yutu продолжались еще более двух лет и прекратились только в июне 2016 года.

Луноход обладал четырьмя научными приборами: цветной стереокамерой, инфра-



красной камерой, альфа-протонным спектрометром на манипуляторе и георадаром. Все исследования были направлены на геологию: изучение грунта, сравнение полученных данных с предыдущими исследованиями, в том числе американских Apollo и советских «Лун».

На посадочной платформе Chang'e 3 располагалась цветная мачтовая камера и ультрафиолетовый телескоп для наблюдения экзосферы Земли, звезд и галактик. Фактически станция оказалась первой автоматической астрономической обсерваторией на поверхности Луны.



Китайская Луна на снимках цветных камер лунохода и посадочной станции оказалась желтее или коричневее той поверхности, которую удалось снять астронавтам в 60–70-е. Впрочем, если взглянуть на снимки Луны с Земли, несложно увидеть, что посадка прошла примерно на границе двух регионов, один из которых отличается как раз коричневыми оттенками. Посадка состоялась в Море Дождей, на расстоянии 50 метров от края 450-метрового кратера, который позже получил название Ци Вей. По мнению китайских геологов, им удалось изучить выбросы из этого кратера, исследовав крупные валуны, лежащие в окрестностях, и каменистую поверхность.

Данные спектрометра APXS показали отличие в химическом составе лунных горных

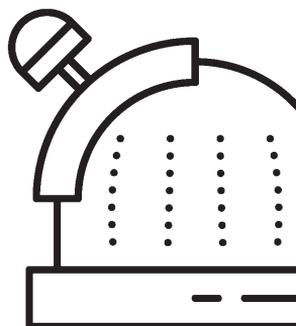
пород от американских и советских образцов. Прежде всего, это касается обогащения породы оксидом титана и оксидом железа. В то же время, исследования на поверхности подтвердили спутниковые данные, которые показывали обогащение минералами: ильменитом (куда относятся оксиды титана) и оливином с высоким содержанием оксидов железа — вероятно, именно они ответственны за коричневые оттенки местности.

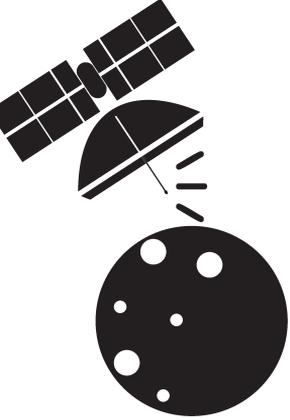
Георадар использовал две рабочие частоты: 60 МГц и 500 МГц. Первая позволяла заглянуть на глубину почти в полкилометра, но с низкой детализацией, вторая — «пробивала» поверхность на несколько метров, но с высокой детализацией.

Высокочастотный канал показал, что реголит залегает до глубины 3-5 метров. Дальше идут коренные плотные породы.

Анализ окрестных кратеров по спутниковым данным подтвердил, что полученная оценка близка к реальности, и что выбросы из кратера Ци Вей не повлияли серьезно на толщину реголита в месте посадки.

Гораздо глубже, на 195, 215 и 345 метров, обнаружилось еще несколько слоев породы, благодаря низкочастотному каналу радара. Вероятнее всего, эти слои отражают несколько периодов вулканизма, когда регион полностью затапливался лавовыми морями.





Отделяются друг от друга эти слои прослойками реголита, который формировался во время длительного вулканического спокойствия, когда поверхность бомбардировалась метеоритами.

К сожалению, луноход сумел пройти только 114 метров, к тому же он изрядно петлял, поэтому радарные профили удалось изучить на небольшом расстоянии. Тем не менее, китайские ученые подчеркивают, что результаты исследований говорят о более разнообразной геологической истории Луны, чем принято считать.

В задачи лунного телескопа на станции Chang'e 3 входило наблюдение земной плазмосферы и взаимодействия ее с солнечным ветром, а также астрономические наблюдения далеких объектов. Плазмосфера — это окружающая Землю среда, наполненная заряженными солнечным излучением атомами и молекулами газов верхних слоев земной атмосферы, прежде всего, водорода. Плазмосфера распространяется на несколько диаметров Земли и ограничивается магнитными линиями земного магнитного поля. Наблюдение плазмосферы Земли возможно только со стороны. Ультрафиолетовый телескоп возили и на Apollo 16, а китайский телескоп стал первым роботизированным.

Хотя Земля и наблюдалась всего пару дней в апреле 2014, это принесло научные пло-

ды. В частности удалось наблюдать увеличение толщины плазмосферы в ответ на солнечные вспышки, что указывает на ее пополнение от солнечного ветра.

Кроме Земли телескоп наблюдал и астрономические объекты, например галактику Вертушка (M101).

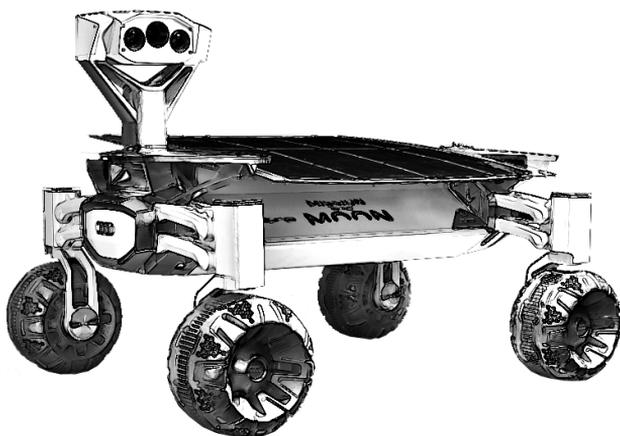
Всего телескоп работал не менее 18 месяцев, успевая отснять до 10 тысяч снимков ежемесячно. Позже китайским ученым удалось составить звездный каталог из 86 тысяч звезд.

Следующая цель Китая на Луне — повторить подобное исследование, только на этот раз на обратной стороне Луны, где не садился еще ни один аппарат, созданный человеческими руками. Луноход должен будет изучить необычное геологическое образование Бассейн Южный полюс-Эйткен. Космический аппарат Chang'e IV сможет поддерживать связь с Землей при помощи спутника-ретранслятора, который был запущен весной 2018 года. Соответственно, луноход отправится позже.



3.5 AUDI LUNAR QUATTRO: КАК ЗАРАБОТАТЬ НА ЛУНЕ

Команда участников конкурса из Германии Google Lunar XPrize готовит запуск двух луноходов и посещение места посадки Apollo 17. И это лишь начало их планов, впереди – бизнес по доставке на Луну полезной нагрузки от заказчиков со всего мира. Пока их луноход Audi Lunar Quattro, снимается в рекламе и кино, но ракета Falcon 9 уже предзаказана, и ее запуск ожидается в течение двух-трех лет. Мне удалось встретиться с основателем компании Робертом Бёме, и узнать, как развивался их проект, и что движет его стремлением в межпланетный бизнес.



Audi Lunar Quattro

Частная космическая компания PTScientists (Part-Time Scientists, «Ученые по совместительству») существует уже 9 лет. Мы начали развивать нашу технологию и построили несколько космических аппаратов и несколько роверов. Сегодня разработано уже четвертое поколение луноходов.

— **Вы работаете с DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Германский Центр Авиации и Космонавтики)?**

— Да, мы работаем с DLR и с Европейским космическим агентством с 2010 года.

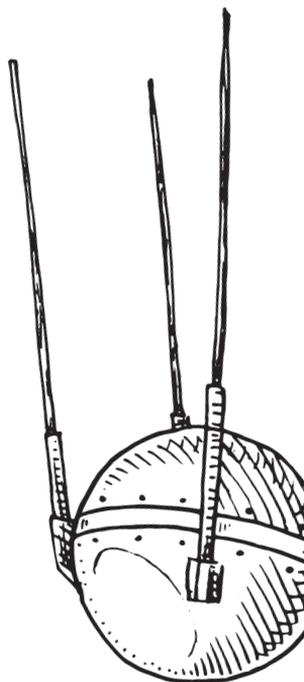
— **И четыре поколения космических аппаратов разработали вместе с ними?**

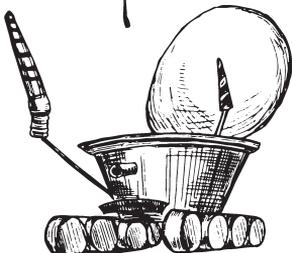
— Нет, мы работаем с ними, но разрабатываем самостоятельно.

— **Кем оплачивалась эта работа?**

— Начали мы на частных инвестициях, эту технологию разрабатывали для себя и, по сути, сами выступали заказчиками. Как, например, SpaceX — разрабатывать технологию для себя (вероятно имеется в виду технология многоразовости). Первые три года работали исключительно на деньги частных инвесторов. Деньги вложены были мои личные, моих хороших друзей. Они позволили прожить компании до 2010 года, до появления первых контрактов.

Затем были спонсорские взносы небольшие и крупнее, затем выигрыш от Google Lunar XPrize. Проблема с конкурсом была





в том, что ранее заявленные условия соревнования не работали. Обещанный в далекой перспективе крупный приз оказался недостаточно привлекательным, нужно было стимулировать постоянную работу и оплачивать прохождение отдельных отрезков пути участниками соревнования. Google выделил два приза общей суммой 750 тысяч долларов (250 тысяч за разработку камеры, и 500 тысяч за разработку ровера). Это очень сильно помогло. Они не давали нам наличность, но они обеспечили нашу платежеспособность.

Очень важное достижение для нас — это начало работы с Европейским космическим агентством. Google не мог напрямую оплачивать наши услуги из-за ограничений ITAR (американская программа нераспространения оружейных технологий), поэтому он оплатил услуги Европейского космического агентства, чтобы оно протестировало наши технологии. ESA потребовалось 18 месяцев на все проверки. Они провели весь спектр испытаний и электроники, и механики, и компьютерных систем. Термовакuumные, радиационные, вибродинамические...

— **Тестировали уже готовые изделия или элементы?**

— Когда как, иногда тестировались отдельные подсистемы, иногда проходили испытания завершенных систем. Полному испытанию подвергся ровер (луноход) — это было еще предыдущее поколение. Вместе со специалистами ESA мы выехали на вулканиче-

ский кратер на острове Тира (вулкан Санторин). Очень сложно провести полный тест для перелетного модуля, поэтому его тестировали по подсистемам.

Стоит сказать о целях миссии. Главная цель — и это важно! — не менялась на протяжении всех девяти лет: реализовать первую частную миссию к месту посадки Apollo.

В нашей команде я единственный, кто не является космическим инженером. Я специалист в сфере информационной безопасности. Благодаря этому мой взгляд на космонавтику немного отличается от остальной команды.

Я очарован космосом, но девять лет назад меня разочаровывал низкий прогресс в его освоении. Тогда еще не было заметных успехов SpaceX. И тогда я сам занялся космонавтикой, хотя понимал, что для этого потребуется немало времени. У нас была цель, но не было даже названия. Когда присоединились компании Audi и Vodafone, было выбрано название Mission to the Moon.

Сейчас у нашей миссии две основные цели.

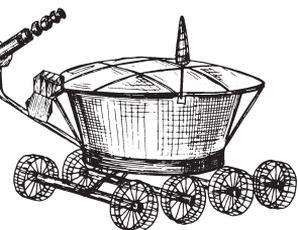
Первая цель — научная, в ее реализации мы работаем со многими космическими агентствами по всему миру: Германское космическое агентство, европейское, канадское, шведское, марокканское и NASA, конечно. Их научный интерес — проанализировать останки Apollo, понять, что произошло с материалами, которые находились неприкос-



новенными на Луне в течение 45 лет. Наша цель — осмотреть лунный ровер и узнать, что произошло с материалами, причем некоторые сегодня в космонавтике не используются: алюминий, пластик, полиэтилен, липкая лента, рояльная струна.

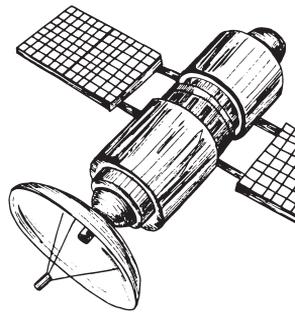
Вторая цель — техническая, облегчить освоение космоса с технологической стороны. Первая миссия используется для проведения летных испытаний нашего космического аппарата ALINA и лунохода. Оба этих аппарата — развитие инфраструктуры для обеспечения доступа к Луне для любого заказчика.

Для того чтобы заручиться поддержкой Германского и Европейского космического агентства, нам потребовалось подтвердить реальность нашей технологии. После испытаний, проведенных на средства Google, мы смогли подтвердить космическую квалификацию нашего оборудования. И это было очень важно для дальнейшего вовлечения Audi. Переговоры с ними продолжались три с половиной года, но всё безрезультатно — мы общались просто не с теми людьми из Audi. Их позиция была чем-то вроде «Мы можем делать маркетинг сами, вы нам не нужны». Для них мы были никем. Только после победы в промежуточных этапах Google XPrize и прохождения космической сертификации мы приобрели публичный вес.



Переговоры с Audi сдвинулись с мертвой точки и продолжались 18 месяцев до подпи-

сания первого договора. Главный страх Audi был в том, что людям это не интересно. Они не были уверены, что космос на самом деле интересен. Изменить к лучшему это отношение мы смогли при помощи нашей победы на Каннском фестивале (PTScientist получили бронзового каннского льва в категории творческих инноваций в маркетинге).



Эффект был экстремально сильным. Финансовый эффект этой рекламной кампании втрое перекрыл затраты на нее в первые пятнадцать минут с момента начала. Это было еще до того, как мы стали сотрудничать с технической лабораторией Audi. С тех пор мы работаем с ними уже три года и достигли выдающихся результатов.

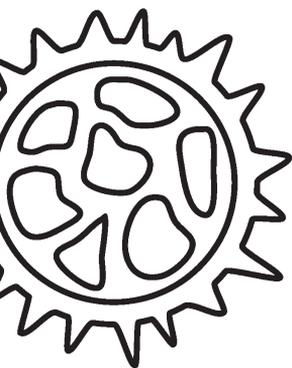
Вот, для примера, реальное колесо рове-ра. Оно не такое стильное, как на наших официальных фото и видео, но на Луне будут использоваться именно такие. Колеса из презентаций мы называем «забавная обувь для официальных мероприятий».

— **Почему вы назвали космический аппарат ALINA?**

— Это моя идея, я решил впервые в истории космонавтики дать женское название для космического аппарата. Разумеется, это аббревиатура, она означает Autonomous Landing and Navigation Module (Автономный посадочный и навигационный модуль). Она очень важна для реализации нашей программы. Пока никто не возвращался на место посадки дважды...

— **Apollo 12...**

— Да, они прилетели к месту посадки Surveyor-3 через 16 месяцев после его посадки. Мы же вернемся через 45 лет. Кроме того, они сели слишком близко к модулю и загрязнили его поверхность своим реактивным выхлопом во время посадки.



Сотрудничество с Audi означало для нас новый уровень работы. Она стала более организованной. Кроме того, они дали нам свои технологии. Вот это колесо — это технологии Audi. Это 3D-печать: алюминий-магний-кремниевый сплав. Около 80% лунохода и некоторые элементы посадочной платформы изготовлены из этого сплава. Он очень легкий, с ним ровер стал легче на 10 килограмм, больше и легче. Как оказалось, менеджеры Audi, с которыми мы работали, даже не знали, что у них есть такие технологии в лаборатории. И, конечно, они поддержали нас финансово. Многие компании были готовы дать свое имя, но не деньги. Audi тоже начинало с предложения имени, но их маркетологи определили высокий маркетинговый эффект от сотрудничества и пошли на финансирование. Сейчас с каждым годом наше сотрудничество расширяется и в технологиях, и в маркетинге, и в финансировании.

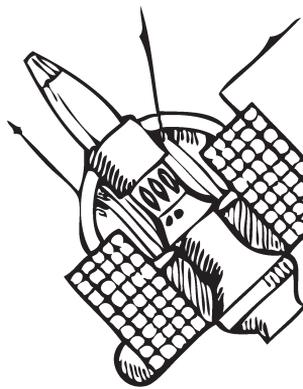
После того как на ровере разместилось лого Audi, компания приобрела первого клиента. Сегодня несколько заказчиков оплатило размещение своей полезной нагрузки на борту ALINA, в том числе NASA Ames,

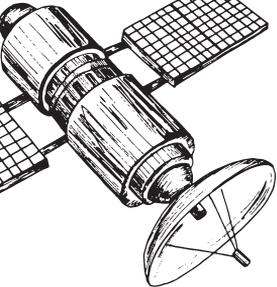
Канадское и Шведское космические агентства. Для первой миссии мы продаем доставку каждого килограмма за 750 тысяч евро.

— **Сколько полезной нагрузки вы можете доставить?**

— ALINA обеспечивает доставку 100 кг на поверхность Луны. Но два ровера и система их выгрузки занимают около 70 кг, поэтому мы имеем возможность выставить на продажу 30 кг нагрузки. Сейчас у нас осталось свободных 13 кг. Полезная нагрузка крепится на две панели на борту спускаемого аппарата. Используется стандартный формат CubeSat (класс малых космических аппаратов массой от 1 кг), и нагрузка размещается либо в типовые контейнеры, либо остается на панели и подключается через стандартный интерфейс CubeSat.

Мы можем выгрузить спутник на окололунной орбите, можем оставить полезную нагрузку на борту ALINA после посадки и можем сбросить ее в реголит. Один спутник у нас уже выкупили для запуска на орбиту, и один, CubeSat 3U, мы сбрасываем на грунт после посадки. Наша бизнес модель предполагает продажу полного пуска или же продажу мест для полезной нагрузки на каждом запуске. Первый полет мы реализуем в качестве демонстрации наших возможностей. При загрузке 100 кг по 750 тысяч евро каждый, выручка с одного полета должна составлять 75 миллионов евро. Первый пуск обходится примерно в 50 миллионов евро, поэтому этот бизнес обещает приносить прибыль.





Самая дорогая статья расходов — это пуск. Стоимость космического аппарата довольно низкая, потому что мы используем коммерчески доступные компоненты (COTS).

— **Какова полная масса космического аппарата?**

— Полная сухая масса ALINA со всей полезной нагрузкой, но без топлива — 330 кг. Заправленная полетная масса — 1250 кг. В ней 980 литров топлива.

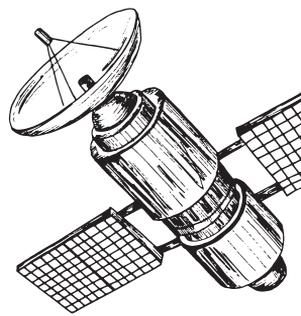
— **Вам требуется выведение на низкую околоземную орбиту?**

— Геопереходную (стандартная орбита запусков телекоммуникационных околоземных спутников). Мы уже арендовали один пуск SpaceX на следующий год. Интересно, что наш аппарат занимает не более полутора тонн на ракете, а остальной запас массы, около 4 тонн, мы можем выделить под коммерческий или исследовательский спутник. Еще важно, что ALINA специально разработана так, чтобы разместиться практически на любой коммерчески применяемой космической ракете. Для нас Falcon 9 предлагает лучшие возможности, но мы также рассматривали российскую ракету «Днепр» и индийскую ракету-носитель PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle — «Ракета-носитель для вывода спутников на полярную орбиту»).

Для крупных производителей, вроде французской ракетостроительной корпорации Arianspace, наша платформа может быть

интересна в качестве основы для их собственного производства по схеме OEM, когда они выступают только производителем комплектующих. В таком случае мы берем на себя разработку и поддержание платформы. Об ALINA можно сказать, что это не самый оптимальный с точки зрения техники космический аппарат, но он очень удобный с точки зрения бизнеса. Для примера, SpaceX подтвердил возможность пуска всего 4 месяца назад. За это время мы смогли адаптировать космический аппарат под Falcon 9, хотя ранее он был уже подготовлен для PSLV XL.

Сотрудничество с Vodafone — это первый пример, когда коммерческий партнер инвестирует в развитие инфраструктуры на Луне. Партнерство с Audi у нас самое долгое, но Vodafone заинтересован во всех последующих полетах наших аппаратов. Они хотят развернуть 4G LTE сеть на Луне. С каждой нашей миссией на Луну LTE покрытие будет расширяться, и каждый сможет использовать эту систему для телеметрии и триангуляции. Это будет стандартный LTE, не какой-нибудь лунный подстандарт. Это позволяет всем желающим разрабатывать технологии на основе этой сети, и уже миллионы устройств разработаны для этой цели. У нас есть еще один партнер мобильный оператор, но мы пока не называем его. Они планируют приобрести один слот под CubeSat, чтобы разместить на него обычный смартфон, который позвонит домой.



Мы технологическая компания, которая развивает инфраструктуру на Луне, и мы заинтересованы в участии в таких проектах ESA как Moon Village (проект строительства долговременной лунной обитаемой базы). Наша цель — участие в таком строительстве.

— Как вы планируете решать проблему траекторных измерений на лунной орбите?

— Мы хотим задействовать сеть наземных станций ESA Estrack. Бортовой компьютер ALINA позаимствован от стандартных коммерческих спутников и очень похож на тот, что использовался на космических кораблях ATV (Automated Transfer Vehicle — «Автоматическое [грузо]переносящее транспортное средство»).

Возможно, вам будет интересно узнать и о двигательной установке. Сопло, трубопроводы, баки и система управления позаимствованы тоже у ATV. Это привлекательное решение, так как всё это оборудование уже прошло летные испытания и сертифицировано к использованию в пилотируемых миссиях.

— Какую частоту вы используете для передачи данных?

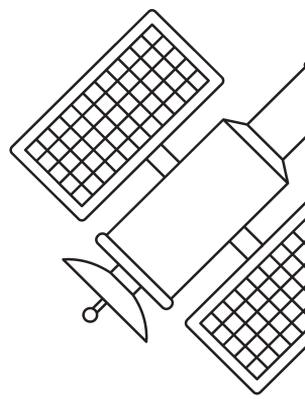
— Мы используем X-диапазон и S-диапазон для связи с Землей и LTE для связи у поверхности.

— LTE используется между луноходом и платформой?

— Да, и еще между платформой и отделяемой полезной нагрузкой. Между ровером



и платформой можно поддерживать связь по LTE на дальность до 15 километров. Ровер тоже имеет антенны X и S диапазона, но они резервные, так как LTE требует гораздо меньше энергии на передачу. Для высокоскоростной передачи в ровера на Землю по X-диапазону требуется 40 ватт, это очень много. Для передачи в LTE потребуется 1-2 ватта.



— **Будете делать свой центр управления полетами?**

— Да, мы сейчас работаем с компанией, которая готовила программное обеспечение для ЦУП миссии Rosetta. У нас есть центр разработки площадью, примерно, 2,5 тысяч квадратных метров в Берлине, там же будет и ЦУП, и мы еще ищем площадку для резервного.

— **Посадочная система проходила полные испытания?**

— Частичные проходила. Полные испытания мы моделируем программно. Тестируется два типа посадки: баллистический, по схеме Surveyor, и интеллектуальный, на основе видеосистемы, анализирующей поверхность на предмет кратеров или камней.

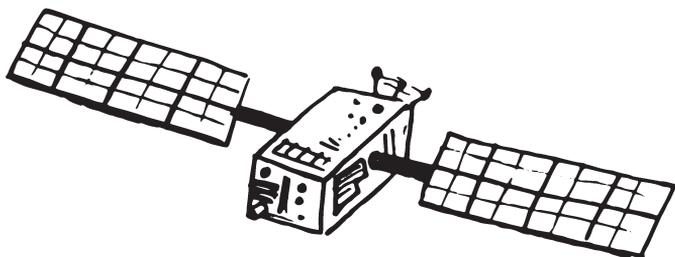
— **Планируете делать полный тест?**

— Частично мы уже его провели, мы провели полную сборку инженерной модели, тест на падение, и впереди еще много испытаний. Важная причина, по которой мы выбрали Apollo-17 в том, что это самая иссле-

дованная область на Луне. Имеются самые высококачественные спутниковые карты, потому что спутник LRO совершил над этим местом очень глубокий нырок к поверхности и сделал снимки разрешением 45 см. И нам это может хорошо помочь: если мы спускаемся по баллистической схеме, то статистически, камни в месте посадки могут повредить посадочный модуль менее чем в 5% случаев. Мы выбрали место в 3-5 километрах от Apollo-17 и работаем с NASA, чтобы показать, что мы не повредим их модуль при посадке. Поэтому мы выбрали ровер — он позволяет получить научные материалы, сделать снимки, но при этом не подходить к посадочной ступени Apollo ближе, чем на 200 метров.

С нашей помощью NASA смогло разработать процедуры взаимодействия со всеми частными компаниями, которые желают запустить свои луноходы к Apollo.

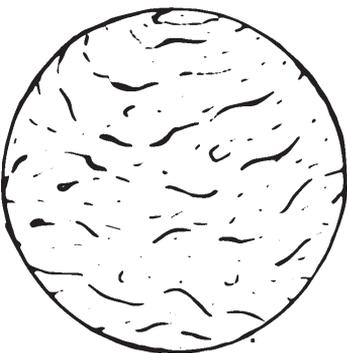
Я считаю, что Apollo — хорошая цель, потому что вдохновляет людей. Разумеется, я думаю, что астронавты там были. Я считаю, если показать, что полеты на Луну были реальностью в 60-70-е, то это привлечет больше внимания к космосу и сегодня.



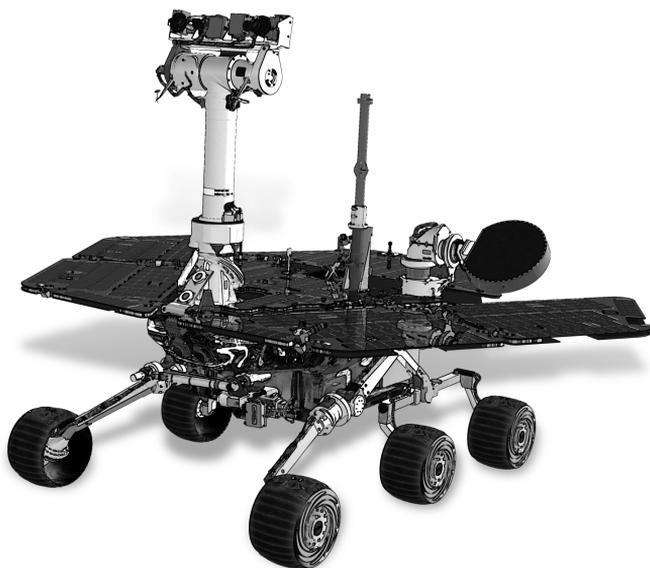


MAPC

OPPORTUNITY — ПОЗАБЫТЫЙ РЕКОРДСМЕН

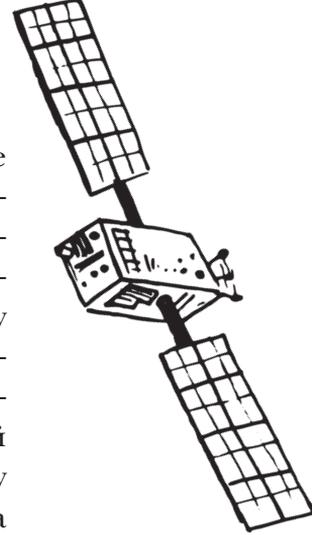


За шумихой вокруг феноменальной посадки марсохода Curiosity в 2012 году, многие забыли, что на Марсе не прекращает работы его предшественник. Марсоход-близнецы Spirit и Opportunity («Дух» и «Возможность») высадились на Марс в далеком 2004-м. Их создатели рассчитывали на 90 марсианских суток (солов) работы, но они превзошли свой ресурс в десятки раз. С «Духом» связь уже потеряна, а вот «Возможность» продолжает свою работу.



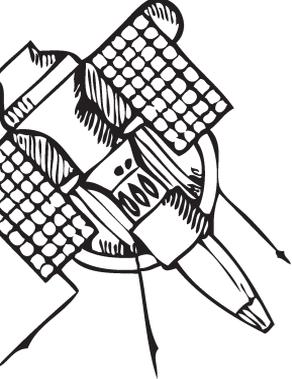
Opportunity

Opportunity продолжает работу уже более 5000 солов. Он поставил новый рекорд продолжительности работы изделия человеческих рук на поверхности Марса. Предыдущий рекорд принадлежал стационарному модулю Viking-1, проработавшему информацию 2245 солов. Пробег Opportunity превышает 40 километров и здесь он абсолютный рекордсмен по расстоянию, преодоленному по поверхности человеческим аппаратом за пределами Земли. Предыдущий рекорд был поставлен еще в 1973 году — «Луноход-2» проехал ровно 39 километров. Ветер дует, солнце светит, колеса крутятся, и пока нет оснований ставить точку.



По поводу ветра — это отдельная история. Марсоходам прочили короткий век по причине запыленности солнечных батарей. Но Марс преподнес NASA подарок в виде кратковременных бурь и частых смерчей — «пыльных дьяволов». Вместе они взялись за очистку солнечных панелей марсоходов, и те ринулись на незапланированное покорение Марса.

Одно время практически исчез интерес к Opportunity, когда он три года просто шел через пустыню к новой цели своего исследования. После изучения интересного кратера Виктория, для него не осталось целей поблизости, и он отправился в 19-ти километровый марафон по равнине Меридиана, которую и так уже досконально изучил. Три года без новостей и открытий — так любого забудут.



Но цель у него была перспективная — кратер Индевор. Когда марсоход только приземлился, главная его цель состояла в поиске доказательств существования в истории Марса влажных периодов, когда на планете была жидкая вода и свободные водоемы. Первые месяцы исследований показали, что вся пустыня планеты покрыта этими доказательствами — шариками гематита. Это разновидность железной руды, которая формируется на дне мелких водоемов. Но перспектив для марсианской жизни это открытие не обещало. Помимо гематита, названного «черникой», почва имела высокое содержание сульфатов — веществ, которые формируются в очень кислой водной среде. В такой среде могут выжить некоторые земные экстремофилы — бактерии способные жить в негостеприимной среде, но в такой воде жизнь не самоорганизуется (вариантов неуглеродной формы жизни NASA всерьез не рассматривает и поисками не занимается).

Наблюдения спутникового гиперспектрометра CRISM на спутнике MRO показали, что глубже могут залегать филлосиликаты — оливин-пироксеновые глины, которые формируются в пресной воде, то есть в более комфортной для жизни. Тем более глины гораздо лучше могут сохранить остатки древней фауны. Оливин и пироксен — вулканические породы, которые практически вездесущи на Марсе. Чтобы получить филлосиликат, надо только добавить воды. Но такие глины очень редки для поверхности

Марса. И мы подходим к объяснению, почему интересен кратер Индевор.

Это очень древний 22-х километровый кратер, которому больше миллиарда лет. В позднее время, когда формировалась равнина, его затянуло сульфатами и гематитом, так же как и все равнины Меридиана. Но снаружи остались кольцевой вал кратера. Удар метеорита поднял края кратера над окружающим ландшафтом, обнажив древние слои. По оценке NASA в них могут быть обнаружены породы гораздо древнее окружающей равнины, и в том числе — искомые глины. Поэтому марсоход Opportunity пустился в далекое путешествие, которое разнообразили только мелкие кратеры да метеориты, попадающиеся на пути.

Летом 2011 года он, наконец, прибыл к первой возвышенности, относящейся к кольцевому валу кратера. Фактически началась его вторая жизнь, поскольку впереди был объект, который геологически отличался от всего, что встречалось марсоходу ранее. Изменились и задачи: теперь, как и Curiosity, марсоход ищет доказательства геологических периодов, которые были благоприятны для жизни. Представители NASA прибытие марсохода к этому кратеру сравнили со второй посадкой и новой миссией из-за обилия новых целей для исследования.

Продолговатый холм, с которого решили начать изучение кратера, назвали Кейп-

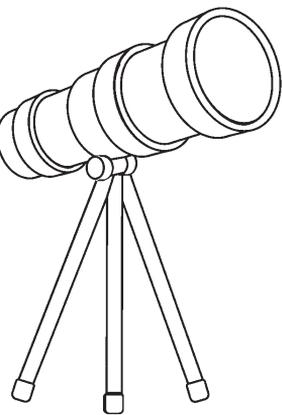


Йорк. Едва Opportunity к нему приблизился, как начались открытия: у подножия холма нашлась толстая гипсовая жила. Это стало очередным доказательством водного прошлого Марса, но это по-прежнему была не та вода, которая понравилась бы NASA и углеродным жизненным формам.

Филлосиликаты ждали на вершине, а к ней предстояло еще добраться. Но восхождение пришлось отложить на полгода — пришло время зимовки. Ровер, хоть и металлический, но многие свойства живого ему не чужды. Ночью он спит, чтобы сберечь энергию, и расходует ее только на обогрев. Зимой почти вся энергия идет на отопление, и весь холодный сезон марсоход обездвижен. Его размещают под оптимальным углом к зимнему солнцу, и он впадает в спячку.

С января по май 2012 года он не двигался, а летом Opportunity продолжил обход Кейп-Йорка, и в сентябре начал восхождение. Почти сразу марсоход наткнулся на сенсацию.

Обнажение «Кирквуд», состоящее из сферических структур — конкреций, поставило в тупик ученых. Анализ породы показал низкое содержание железа, так что этот «виноград» совсем не та «черника», какой усыпана вся пустыня. Шарик, заключенный в скале, имеет неоднородную структуру: у них твердая скорлупа и мягкий наполнитель. Но с тем, что это такое и как оно



возникло, ученые NASA так и не определились. По рабочей версии — это какой-то результат вулканической деятельности. По структуре «скорлупа» напоминает вулканическое стекло — может быть, это результат импактного воздействия, взрыва, породившего весь кратер.

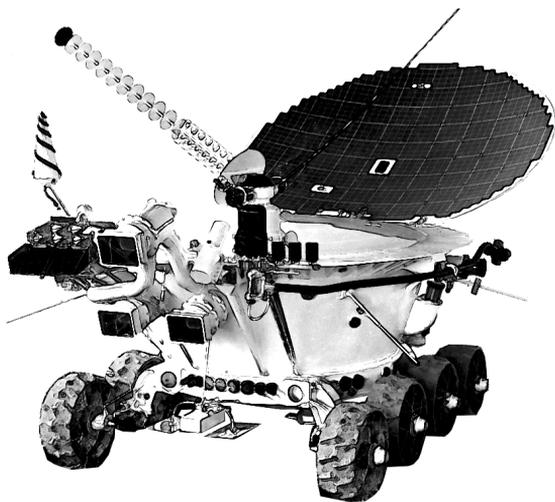
Сегодня у марсохода Opportunity есть проблемы с двигателем правого колеса; сломано плечо манипулятора, из-за чего нельзя переместить «руку» в походное положение; неисправен один обогреватель; батареи вырабатывают примерно половину энергии от того уровня, что был в первые дни после посадки. Но операторы марсохода полны оптимизма и готовы еще не раз порадовать нас громкими открытиями, способными конкурировать с результатами Curiosity.



4.2 «ЛУНОХОД-2» И OPPORTUNITY: КАК МАРСОХОД NASA ОБОГНАЛ НАШ ЛУНОХОД

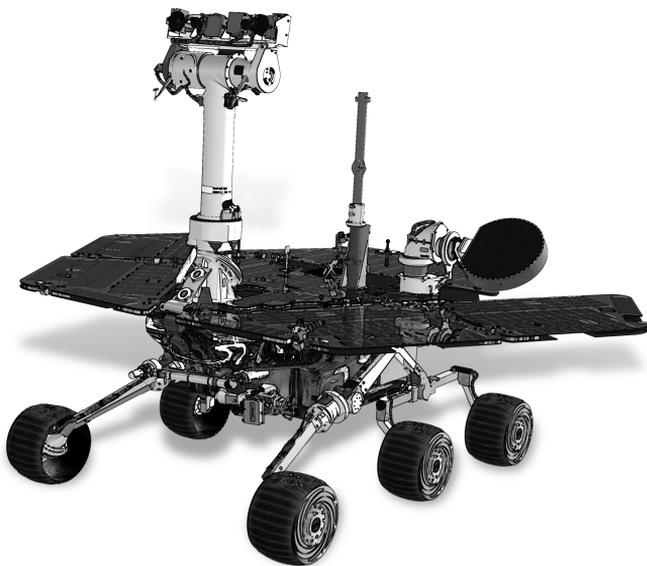


Маленький ветеран покорения Марса Opportunity побил новый рекорд: теперь он официально самое «дальнобойное» колесное транспортное средство за пределами Земли. Это звание более 40 лет удерживал советский «Луноход-2», но в 2014 году пришлось и ему уступить.



«Луноход-2»

В 2013 году, когда прибор для измерения оборотов колеса — одометр — Opportunity приближался к 37 километрам, американ-



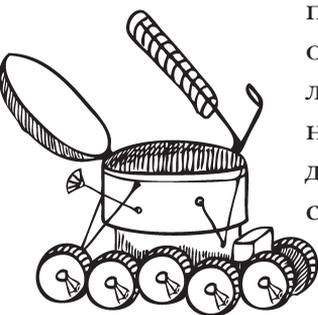
Opportunity

ские энтузиасты заговорили о том, что вот-вот рекорд «Лунохода-2» будет побит.

Официальные цифры, обнародованные по завершении научной миссии «Лунохода-2» и успевшие уже перебраться из научных трудов в учебники, а из учебников в википедию, основываются на показаниях «девятого колеса» — роликового одометра, который позволял считать пробег лунохода. Но ролик поднимался, когда «Луноход-2» двигался задним ходом. Ролик не передавал объективного расстояния, когда аппарат маневрировал, да и сам по себе мог проскальзывать на слишком рыхлом грунте.



В результате, самым объективным средством определения его пробега могло быть только прямое наблюдение следов на поверхности Луны. К счастью, сегодня такая возможность у ученых, да и любого из нас, имеется благодаря космическому аппарату LRO. Его камера высокого разрешения LROC уступает только камере HiRise (его марсианского собрата MRO). Но, благодаря орбите в несколько раз ниже, LROC способна передавать практически аналогичные камере HiRise по детализации снимки: в исключительных случаях до 20 см на пиксель, но в основном режиме работы — 50 см на пиксель. Этого вполне достаточно, чтобы обнаружить на естественном спутнике Земли «Луну-21», которая доставила «Луноход-2» на поверхность, и сам «Луноход-2». Правда, для него LRO снизился в два раза и снял с детализацией 30 см на пиксель:



Над анализом спутниковых снимков работали две научные группы из России: из Московского государственного института картографии и из Института геохимии и аналитической химии. Работу возглавляла Ирина Карачевцева — руководитель Картографической группы, Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК. Со стороны NASA работала одна научная группа.

Ученые тщательно проследили весь маршрут «Лунохода-2» и определили его пробег в 42,2 километра. То есть, из-за несовер-

шенного средства определения пройденного расстояния, не досчитались более 5-ти километров. Правда, потом пересчитали и определили реальный пробег в пределах 39-ти километров.

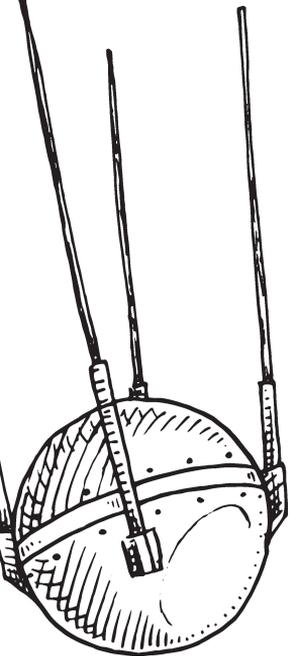
Методы замера пройденного расстояния у марсоходов принципиально другие. У них для расчета пробега используется комплексная система, в которую входит трехосевой акселерометр и трехосевой датчик уровня. Показания этих датчиков учитываются при расчетах пробега, основанных на оборотах колес. Но даже так легко ошибиться из-за пробуксовок. А их на веку у Opportunity было немало на песчаном грунте.



Главное средство для подсчета пробега марсоходов называется VisOd (Visual Odometry). Если посмотреть на снимки их следов, то можно заметить неоднородность следа, оставляемого рисунком на колесах. Прямые насечки, отличающиеся от основного рисунка — это и есть маркеры для визуальной одометрии.

Такой же принцип используется и у марсохода Curiosity. И пробег считает программа, но ее показания могут периодически контролировать вручную.

Вернемся к «Луноходу-2». Можно гордиться его впечатляющим результатом, но надо вспомнить, что и луноходы и марсоходы соз-



давались прежде всего для изучения иноземных тел, а не для накрутки километров.

Проблема в то, что партийное руководство СССР смотрело только на пробег. Идеологическая машина, которая оперировала понятиями «догоним и перегоним», оказалась неспособна на понятия «изучим и переизучим». Профессор ГЕОХИ РАН Александр Базилевский, который помогал и в поисках «Лунохода-2» и «Марса-3», так описывал события, в которых участвовал сам: «Как только Луноход наткнулся на какой-нибудь интересный камень и геологи просили остановиться, чтобы подробнее его исследовать, руководство заявляло: «Это луноход, а не луностоп. Только вперед!»

Марсоходами управляют геологи. Это объясняет, почему марсоход Curiosity движется примерно в сорок раз медленнее «Лунохода-2». Да и раллийные успехи Opportunity — это результат его исследовательской деятельности. Примерно половину общего пробега он преодолел, только пересекая неинтересные просторы, которые уже были хорошо изучены.

Научная группа Opportunity исправно ждала, пока пробег марсохода преодолеет отметку в 40 километров, чтобы, наконец, можно было «открыть шампанское».

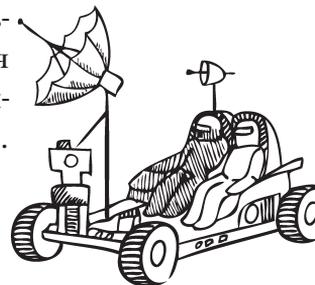
В память о предыдущем чемпионе межпланетного ралли, операторы марсохода дали

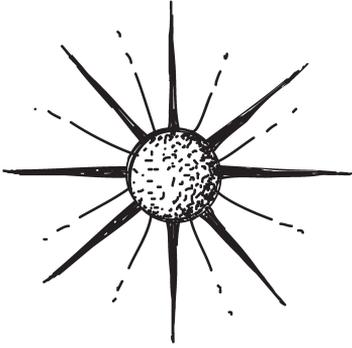
название «Луноход-2» небольшому метеоритному кратеру, встреченному на пути. Правда, пока это неофициальное название, актуальное только для научной группы NASA.

Opportunity же более 10 лет продолжает свою миссию на равнине Меридиана. Сейчас он движется вдоль горной гряды Murray Ridge, которая является кольцевым валом древнего кратера Индевор. Взору марсохода открываются внушительные скальные утесы и обширная равнина на дне кратера, по которой проносятся вихри называемые «пыльными дьяволами», а над головой проносятся тонкие, но заметные облака.

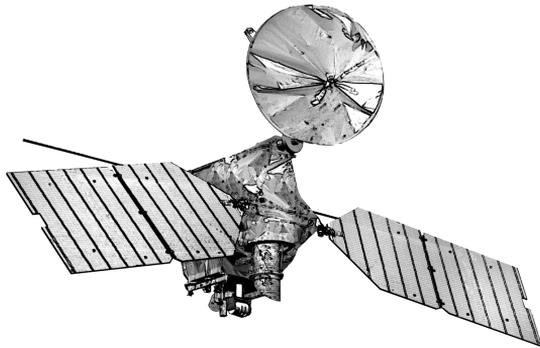
К сожалению, у марсохода практически не осталось работоспособных приборов, которыми можно было бы изучить открывающийся простор для науки. Действуют только фотокамеры, использующие расширенный набор светофильтров, позволяющий рассмотреть образцы в спектрах, недоступных человеческому глазу.

Также доживает последние годы радиоизотопный рентгеновский спектрометр APXS, который пока еще позволяет определять примерное содержание химических элементов в анализируемых образцах. Правда, держать на образце его уже приходится несколько суток, тогда как в начале экспедиции ему было достаточно нескольких часов.



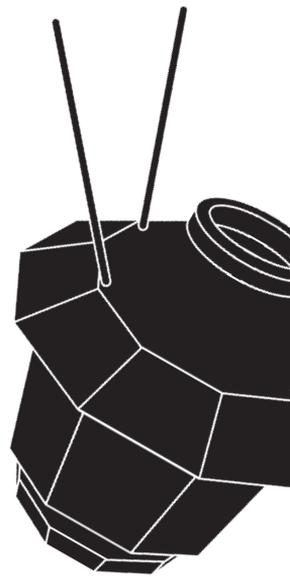


Наличие воды на Марсе давно не является секретом. Уже сейчас примерно оценены запасы водяного льда на полюсах, обнаружены ледники в средних широтах; известно, что даже в экваториальном грунте «Красной планеты» концентрация воды местами достигает десятой части от массы грунта. Однако в своем большинстве данные о содержании воды на Марсе получены при помощи радаров или нейтронных спектрометров. А, собственно, посмотреть на марсианский лед удастся редко. И вот в 2017 году подобная встреча, наконец, произошла: орбитальный телескоп HiRise на борту Mars Reconnaissance Orbiter сумел заснять залежи льда на склонах оврагов в средних широтах, и ученые впервые смогли взглянуть на марсианские ледники в профиль.



Mars Reconnaissance Orbiter

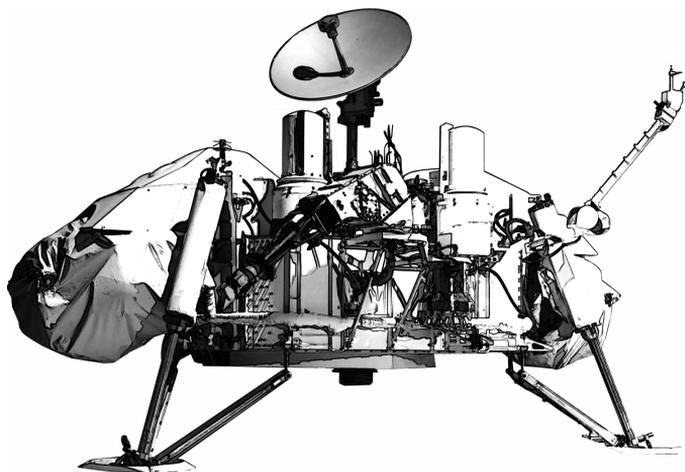
Полярные льды Марса астрономы рассмотрели еще в XIX веке — это одни из самых заметных деталей его поверхности. Правда, в прежние века астрономии считалось, что полюса Красной планеты покрывает исключительно замерзшая вода. Пока оптические средства были недостаточно высокого качества, многие пробелы в знаниях о Марсе приходилось закрывать земными аналогиями и оптимистическими ожиданиями. Именно из таких ожиданий выросла иллюзия марсианских каналов, которая продержалась до самого начала космической эры. Астрономы могли спорить о происхождении каналов: искусственном или естественном, но большинство не сомневалось в их существовании.



Крест на судьбе марсианских каналов поставил зонд NASA Mariner-4, который в 1964 году впервые сделал снимки достаточного качества поверхности планеты с близкого расстояния. Открывшиеся исследователям пейзажи разрушили все надежды на «землеподобность» Марса. В 1973 году советский орбитальный аппарат «Марс-5» передал первые цветные снимки — это были фотографии рыжей безводной и безжизненной пустыни.

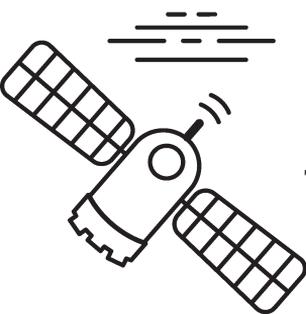
В 1976 посадочные аппараты Viking-1 и 2 взяли пробы грунта и определили содержание в нем воды — не более 3%. К тому времени было уже известно, что сезонная изменчивость полярных льдов и рост

полярных шапок в зимнее время определяется не водяным, а «сухим» углекислотным льдом. И только не изменяющиеся с течением года белые пятна на полюсах — это второй слой льда, уже водяной.

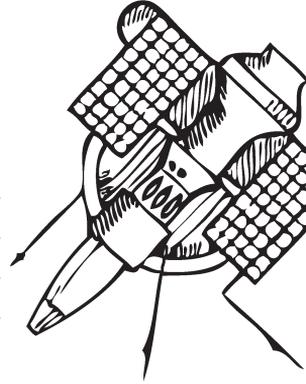


Viking Lander

Повторное открытие марсианской воды началось в 2002 году с выводом на рабочую орбиту у четвертой планеты спутника NASA Mars Odyssey. Составной частью его прибора Gamma Ray Spectrometer был российский нейтронный спектрометр HEND. Регистрируя скорость нейтронов, вылетающих из грунта Марса под ударами космических частиц, HEND определял концентрацию водорода, который замедляет нейтроны. Водород в свободной форме содержится в грунте Марса не может, поэто-

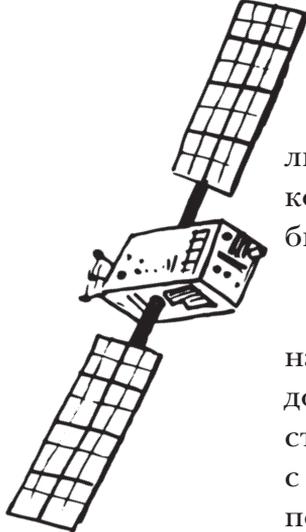


му его обнаружение в грунте позволило бы предположить там наличие воды или водяного льда. К 2007 году была построена полная карта распределения воды в приповерхностном слое глубиной до 1 метра: к сожалению, глубже методом нейтронной спектроскопии не заглянуть. Данные даже о неглубоком распределении воды оказались неожиданными для многих — вода нашлась, и, местами, в избытке.



Согласно данным HEND, концентрация воды в приповерхностном слое у экватора составила около 5% и постоянно возрастала к полюсам, достигая 90%. В 2008 году результаты орбитального зондирования подтвердились уже с поверхности, посадочным модулем Phoenix. Аппарат сел на высокой 68-й широте северного полушария планеты. Копнув грунт, Phoenix нашел замерзшую воду всего в нескольких сантиметрах от поверхности.

В 2006-м на спутник NASA MRO добавили радар SHARAD, а в 2007-м — радар MARSIS на европейский спутник Mars Express. Они получили возможность «просвечивать» недра Марса на глубины до 3 километров и не только обнаружили слои льда под поверхностью, но и измерили мощность полярных шапок. Оказалось, Южный полюс Марса покрыт 3,5 километрами водяного льда, а Северный — 1,7 километра. Если растопить эту воду, то океан зальет всю планету на 21 метр в глубину (если не учитывать ре-



льеф и перепады высот). И это не предел: когда-то воды на ныне «иссохшем» Марсе было в 6,5 раз больше.

На MRO установлена самая «дальнобойная» камера, которая когда-либо добиралась до Марса. Телескоп HiRise обеспечивает съемку поверхности с разрешением до 25 см с высоты 250 километров, так чтобы с его помощью можно было разглядеть «обитателей» планеты — спускаемые аппараты и марсоходы. На его снимках удалось найти спускаемый аппарат «Марса-3», смог HiRise и больше рассказать о марсианской воде. Наблюдение за обрывистыми краями полярных шапок дало возможность изучить их слоистую структуру и увидеть настоящую внеземную лавину.

Оказалось, что подобные процессы и сегодня не замерли в тонкой марсианской атмосфере, и изменениям подвержен не только углекислотный лед, но и водяной.

Еще более интересные результаты дало наблюдение за средними широтами. На Марс продолжают падать метеориты, и свежие кратеры в пустынных, казалось бы, равнинах, обнажают залегающий под поверхностью лед.

Если бы Viking-1 смог копнуть на полметра глубже, он нашел бы целый пласт льда. Радарное зондирование в широтах 40–60° показало обширные залежи льда на глуби-

нах до 1 километра. По некоторым оценкам эти запасы составляют до 5% от объема полярных шапок. Особенно обширные запасы льда наблюдаются восточнее долины Эллада, в районе кратера Грэг.

Любопытно происхождение этих залежей. Анализ характера отложений льда в полярных шапках привел исследователей к гипотезе, что Марс неоднократно менял наклон своей оси, на 40° отклоняясь от нынешних 25° . В какие-то периоды Северный полюс Марса оказывался развернут прямо к солнцу, что приводило к его активному испарению. Следствием становилось повышение плотности атмосферы планеты, пылевые бури и сильные снегопады. Климатологи применили земную климатическую модель к подобному сценарию марсианской жизни и получили данные о выпадении обильных снегов к востоку от Эллады.

Наконец в 2018 году научная команда, работающая с данными HiRise, опубликовала результат прямых наблюдений залежей марсианского льда в средних широтах. Внимательный анализ снимков HiRise позволил ученым обнаружить несколько обрывов, в склонах которых отчетливо просматриваются белые и голубоватые слои льда.

Дополнительная проверка гиперспектральным прибором CRISM на том же аппарате MRO подтвердила наличие воды. Наблюдаемые залежи льда начинаются



с глубины примерно в 1 м и достигают толщины 130 м. Они чередуются с прослойками грунта, видимо, принесенного во время сезонных пылевых бурь. Большинство из обнаруженных ледяных склонов нашлось к востоку от Эллады.



Исследование этих слоев может больше рассказать о климатической истории Марса. Кроме того, теперь ясно, что будущим покорителям «Красной планеты» не придется добывать воду по примеру героя фантастического фильма «Марсианин» — из ракетного топлива. На местности хватит ведра и лопаты, и воду можно будет использовать как раз для производства топлива и возвращения домой. Правда, средние широты не лучшее место для посадки — слишком холодно.

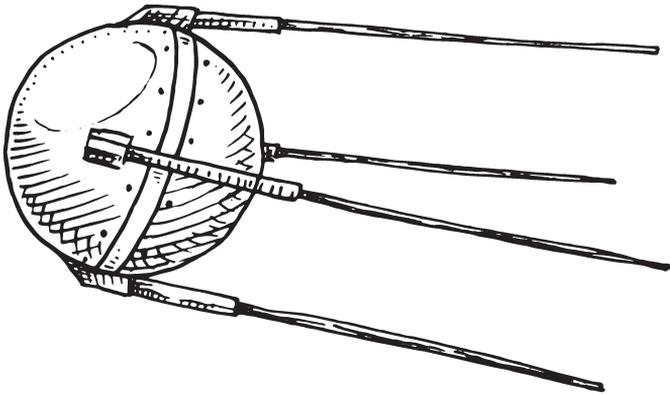
Серия снимков с разницей в три марсианских года позволила увидеть некоторые изменения в облике обрывов. Видимо, как и в случае с полярными ледниками: процессы таяния продолжаются, и склоны медленно эволюционируют.

Что еще интереснее, все эти замерзшие отложения возникли не миллиарды лет назад, а совсем недавно по геологическим меркам. Если шире взглянуть на некогда заснеженные, а сейчас присыпанные песком и пылью просторы, то можно поразиться их девственной чистоте — метеоритных кратеров почти нет.

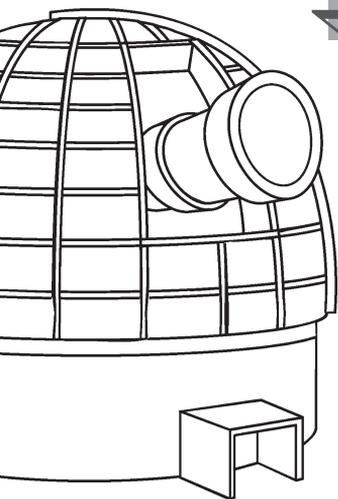
Это значит, что период бурной марсианской атмосферы и метелей планетного масштаба закончился совсем недавно. По современным оценкам, приповерхностные ледниковые отложения в средних широтах Марса сформировались около 10–20 миллионов лет назад, для жизни планеты — это даже не вчера, а минуту назад. Остается надеяться, что подобное произойдет и в будущем, ведь плотная атмосфера значительно упростила бы процесс колонизации.

Глава первоначально подготовлена для научно-популярного портала «Чердак», и опубликована под названием «Марсианские льды показали в профиль».

Страница: <https://chrdk.ru/sci/marsian-ice-sheets-direct-observation>



4. EXOMARS TGO: РАЗГАДАТЬ ВТОРУЮ ЗАГАДКУ МАРСА



Никто не знает, есть/была ли жизнь на Марсе. Это первая загадка. Примерно пятнадцать лет назад второй загадкой стала вода на Марсе. Сейчас ее уже многократно разгадали – воду нашли, картографировали, изучили с поверхности. Но нашли загадку не менее важную – марсианский метан.



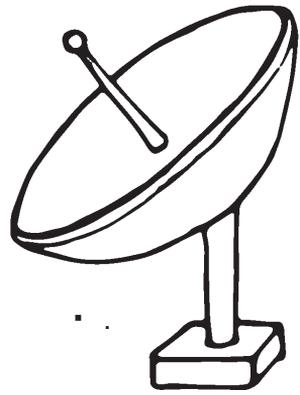
ExoMars Trace Gas Orbiter

Метан — это простое органическое соединение с одним атомом углерода и четырьмя — водорода. Метан играет большую роль в жизни человечества на Земле, так как это

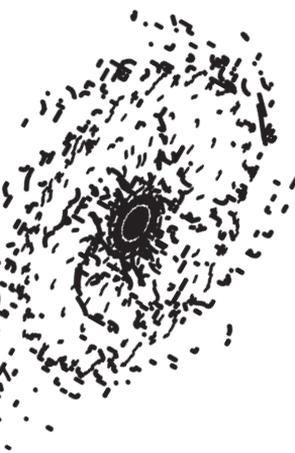
основной компонент природного газа. Все углеводороды называют органическими веществами, но далеко не всё относится к живым организмам. Однако сейчас считается, что до 90% земного метана, в том числе запасенного в недрах, имеет биологическое происхождение. В то же время, в космосе его тоже немало. Метан регистрировали на кометах, в атмосфере Юпитера метан занимает массу равную трем планетам Земля, а на спутнике Сатурна Титане текут метановые реки в ледяных берегах.

В 2003 году астрономы сообщили сенсационную новость — на Марсе найден метан. Более того, он был не равномерно «размазан» по всей атмосфере, а явно тяготел к определенным участкам планеты. Концентрация его была довольно ничтожна: от 250 до 10 частей на миллиард по разным оценкам. Общий объем выброса метана весной 2003 года примерно соответствовал 42 тысячам тонн газа, для сравнения: это примерно треть не самого крупного танкера-газовоза. То есть объемы скромные, и «Газпром» такие запасы заинтересовать не смогли, зато очень взволновали научный мир.

Метановые выбросы зарегистрировали одновременно американские и российские астрономы, а через год эти данные были подтверждены с марсианской орбиты спутником Mars Express, то есть ошибки быть не могло. Ученым потребовалось найти ответ: откуда он взялся. Объяснить всё марсиан-



ской жизнью — слишком заманчиво, но не достаточно аргументировано. Метан может быть результатом геофизической активности марсианских недр, а может вырабатываться в некоторых реакциях окисления железа... Однозначно можно было сказать, что этот метан по геологическим меркам выделился недавно, так как под солнечным ультрафиолетом органические соединения в атмосфере Марса распадаются за несколько сотен лет.



Пока ученые думали, откуда метан появился на Марсе, он пропал. То есть практически совсем. То ли рассеялся в атмосфере до ничтожного значения, то ли исчез по другой причине, оставив концентрации, которые едва регистрировались доступными на тот день приборами: телескопами с Земли и спектрометрами станции Mars Express.

Ученые приняли вызов, и к 2012 году снарядили марсоход Curiosity, оборудовав его чутким газоанализатором, способным определять метан атмосфере. Правда, послали его не туда, где наблюдались выбросы метана, так как главными в проекте были геологи, а у них нашлись свои цели в кратере Гейла.

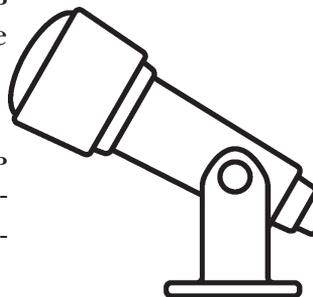
Успешно высадившись и освоившись на Марсе, Curiosity провел первые исследования и признал, что метана на планете нет. Точнее нет в той концентрации, которая была доступна приборам аппарата. Астро-

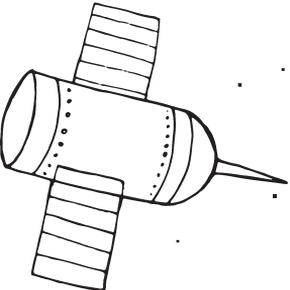
номы с Земли практически подтвердили его результаты: метана и правда было совсем мало, на пределе разрешающей способности земных спектрометров.

Пока исследователи размышляли о марсианском «метане Шредингера», прошел еще год и Curiosity прислал новые данные — таинственный газ снова появился в кратере Гейла... А потом снова пропал.

Пока американские ученые пытались рассмотреть метан с телескопов с Земли и гонялись за ним на марсоходе, европейские и российские планетологи решили взяться за дело по-своему. Получив колоссальный опыт совместной эксплуатации космический аппаратов Mars Express и Venus Express и значительно доработав исследовательские приборы, они решили искать марсианский метан с орбиты. Как уже упоминалось, Mars Express регистрировал метан, но его разрешающая способность по распределению атмосферных газов оставляла желать лучшего. Набравшись опыта, россияне и европейцы решили подготовить аппарат, который сможет искать метан с точностью не менее чем в тысячу раз превышающую возможности Mars Express. Так родилась идея космического аппарата ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO).

Точнее, идея у европейцев появилась давно, но она переживала нелегкую судьбу, пока Европейское космическое агент-





ство не подписало в 2013 году договор с Роскосмосом.

Сотрудничество по «ЭкзоМарсу» строится по принципам уже отработанным на «Экспрессах»: Россия обязалась предоставить две ракеты «Протон-М» для запуска спутника TGO в 2016-м и марсохода Paster в 2020-м году. На аппарате TGO были установлены российские научные приборы вместе с европейскими.

Первым рейсом отправился спутник Trace Gas Orbiter. Он сбросил тестовый спускаемый модуль Schiaparelli, а затем полтора года выходил на рабочую орбиту и уже весной 2018 года занялся разгадыванием «метановой головоломки». Заодно он сможет определить низкие концентрации других газов в атмосфере Марса, если они там есть. Например, если местные вулканы не совсем еще окаменели, и хотя бы немного сочатся вулканическими газами, TGO должен найти эти газы и определить их источники.

Вообще, если первое десятилетие XXI века было посвящено изучению геологии Марса как с орбиты, так и с поверхности, то сейчас уже идет «атмосферный» этап. В 2014 году к Марсу прибыли американский аппарат MAVEN и индийский Mars Orbiter Mission.

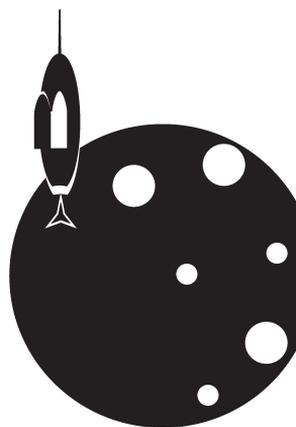
Аппарат NASA «заточен» под изучение атмосферы и магнитосферы Марса, но он за-

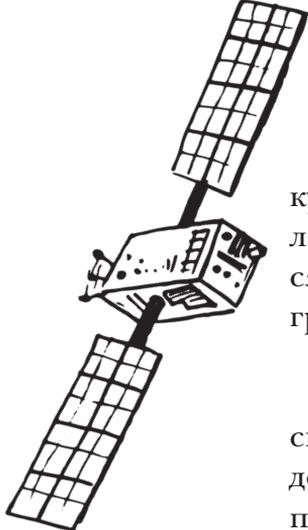
нимается верхними слоями и их взаимодействием с космическим ветром. То есть MAVEN должен ответить на вопрос «как Марс теряет свою атмосферу», в то время как ExoMars TGO будет искать возможные источники ее пополнения из недр планеты.

Индийские ученые тоже заинтересовались метановым вопросом и даже снарядили отдельный прибор для его поиска, но его качество оставляет желать лучшего. Индийцы здраво оценили свои возможности в межпланетных исследованиях и подчеркнули более демонстрационное значение своего аппарата.

ExoMars TGO — это трехметровый четырехтонный космический аппарат, который несет на борту 600 килограммовую «летающую тарелку» Schiaparelli и четыре основных научных прибора.

Schiaparelli потребовался европейцам, чтобы научиться садиться на Марс. Ранее у них был неудачный опыт посадки в 2003 году — небольшой аппарат Beagle-2 ушел в атмосферу и не подал больше признаков жизни. Как оказалось, Beagle-2 все-таки сумел мягко сесть, но прекратил работу, так и не выйдя на связь. Теперь же ESA попыталось повторить опыт на более высоком уровне: вооружив аппарат датчиками, которые будут собирать массу информации во время снижения и посадки.





Следующий этап проекта EхоMars — посадку марсохода, берет на себя Роскосмос. В далеком будущем, возможно, Европа захочет на новую амбициозную задачу — доставку грунта с Марса.

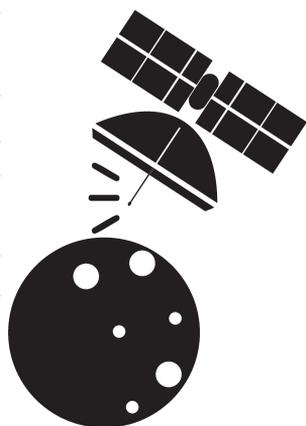
На Schiaparelli разместили и климатическую исследовательскую станцию, но она должна была проработать всего неделю — пока не сядут аккумуляторы. Долговременных источников питания для аппарата не предусмотрено. Еще одна любопытная деталь Schiaparelli — лазерный уголкового отражатель. Спутник EхоMars TGO не оборудован лазером, поэтому уголкового отражатель Schiaparelli точно так же оставили на будущее.

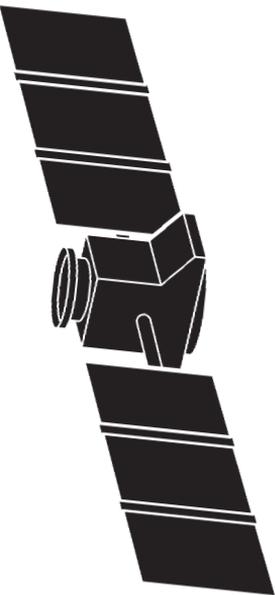
Для Schiaparelli выбрали место посадки на равнине Меридиана. На ней уже работает марсоход Opportunity, и эта посадка стала самым тесным сближением на Марсе двух посадочных аппаратов. Несмотря на «близость», реально их будут разделять сотни километров, поэтому «Оппи» не сможет изучить место неудачной посадки «Скиппи».

Два главных научных прибора EхоMars TGO: европейский NOMAD и российский ACS являются блоками нескольких спектрометров и частично дополняют друг друга, но захватывают разные диапазоны волн инфракрасного света. Именно на них возлагается главная задача миссии — картография газов атмосферы Марса.

Оба они пользуются одним методом — наблюдают атмосферу на просвет. То есть анализируют свет солнца, погружающегося в атмосферу Марса на линии горизонта. Этот метод и высокое спектральное разрешение приборов позволяет не просто определять газы в атмосфере, но даже отличать их изотопный состав. А это ключевой показатель, который в теории позволит отличить биогенный газ от геологических выбросов. Разница только — в атомном весе углерода.

На Земле жизнь предпочитает выделять метан с легким изотопом C-12, потому что его легче связывать с водородом в результате биохимических процессов. Геологические процессы не так избирательны, и в них C-12 и C-13 формируют метан примерно в равных пропорциях. Помимо метана на биологическую активность может указывать аммиак, который точно так же выделяется живыми организмами в результате жизнедеятельности. Пока аммиака на Марсе не находили, но если он хоть немного содержится в атмосфере, то TGO его найдет. Разумеется, ученые знают только земную жизнь и, фактически, ее признаки ищут на Марсе, но за неимением альтернатив приходится «искать там, где светлее». В свое оправдание они говорят, что законы физики и химии на наших планетах работают одинаково, геологическое строение похожее, а когда-то и условия были схожи, поэтому нет оснований пола-





гать, что эволюция вещества из неживого в живое проходила как-то иначе.

К слову сказать, до конца не ясно, как на Земле-то проходил процесс зарождения жизни, и это, кстати, важный аргумент в пользу исследования Марса. Казалось бы, зачем тратить сотни миллионов долларов, чтобы найти того, кто напустил газу на другой планете? А вот для того — чтобы понять, как мы на нашей-то планете оказались.

Сейчас уже мало кто из ученых всерьез полагает, что мы можем оказаться марсианами-переселенцами, в виде бактерий добравшиеся на метеоритах с Марса на Землю. Скорее возможен обратный вариант — найдя на Марсе местную жизнь придется доказать, что она действительно местная, а не залетела с Земли. Но все-таки, Марс является такой относительно независимой лабораторией, где вдалеке от Земли мог проводиться повторный природный эксперимент по созданию живой материи, способной к осознанию себя и окружающего мира, запуску космических аппаратов и написанию постов.

Кроме оптических спектрометров TGO несет на борту еще камеру CaSSIS, которая может снимать поверхность с разрешением до 5 метров, и проводить стереосъемку местности. Предыдущий аппарат ESA Mars Express уже много лет ведет свои наблюдения за поверхностью. Разрешение его ка-

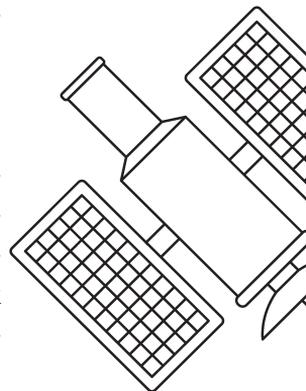
мер — до 20 метров, то есть снимки TGO будут охватывать более узкие полосы местности, зато детали поверхности видны будут лучше. Снимки этой камеры будут использованы, в том числе для выбора места посадки будущего марсохода Paster, который должен стартовать в 2020-м году.

Четвертый прибор TGO снова российский — нейтронный детектор FRENД. Его задача — картографирование содержания воды в грунте Марса на глубине до одного метра.

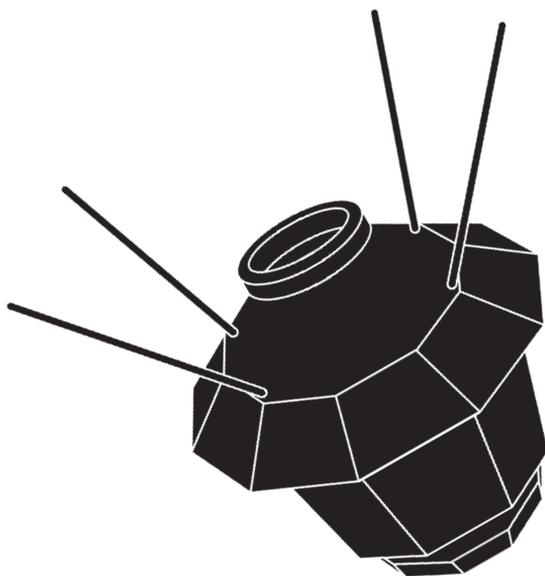
Подобный прибор того же Отдела ядерной планетологии Института космических исследований РАН у Марса уже летает, но разрешение его карт очень низкое — фактически равное высоте полета спутника.

HEND — летает на американском аппарате Mars Odyssey с 2001 года. Грубо говоря, он ловит все нейтроны, которые вылетают с поверхности, независимо от угла отражения. Поэтому очень сложно определить, откуда какой нейтрон прилетел, да и карты распределения воды, которые помог составить HEND, слишком мелкого масштаба.

На орбите Луны, на спутнике NASA LRO, протестировано следующее поколение прибора — LEND. Он уже имеет так называемый «коллиматор» — маску, которая отсекает часть нейтронов, позволяя принимать их только с узкого участка местности. Этот кол-



лиматор уже наделал шуму в лунной геологии, найдя воду там, где ее быть не должно. Так что, наверняка найдется что-то интересное и на Марсе, осталось только подождать несколько лет, пока наберется необходимый объем данных.



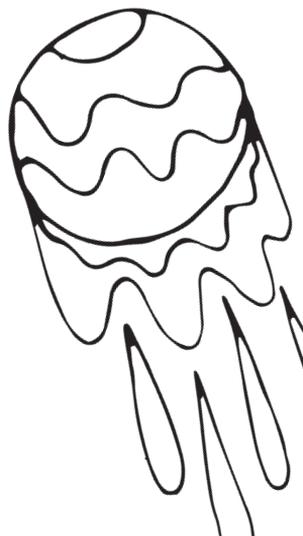
СЧИАРАРЕЛЛИ: ПОСАДКА НА МАРС ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

Спускаемый зонд Европейского космического агентства Schiaparelli был потерян 19 октября 2016 года в результате программной ошибки системы управления радара-высотомера.



Schiaparelli

Зонд должен был научить Европейское космическое агентство садиться на Марс... но не научил. И эта авария стала далеко не первой в попытках Земли достичь поверхности «Красной планеты».

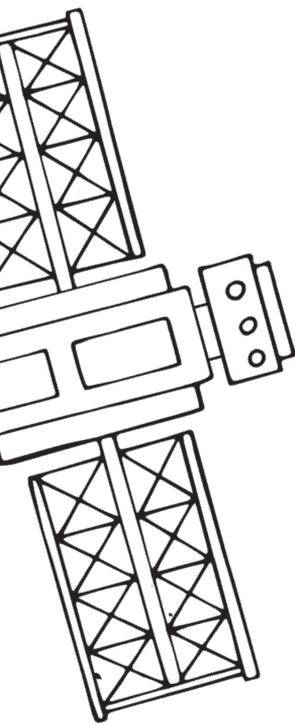


Сейчас на Марсе действуют два космических аппарата: марсоходы Opportunity и Curiosity. В предыдущие годы успешно потрудились еще два марсохода и четыре посадочные станции. Восемь аппаратов сели неудачно, разбившись о поверхность Красной планеты, или частично неудачно, проработав около минуты. Одна посадочная станция пролетела мимо Марса. То есть, счет между землянами и «ПВО марсиан» почти равный, но все же земляне пока проигрывают. Все полностью успешные посадочные миссии на Марсе оказались американскими.

С 1970-х годов инженерам NASA везло — почти все посадки на «Красную планету» удавались им с первой попытки, за одним редким исключением.

В 1971 году Марса достигло первое изделие человеческих рук: советский марсоход «Марс-2». Из-за ошибки определения угла входа в атмосферу скорость посадки была такой, что изделие разбилось о поверхность планеты и не смогло принести никакой научной пользы.

Брат-близнец «Марс-3» оказался более успешен — он благополучно спустился и сел, успел даже приступить к работе, но вышел из строя примерно через минуту. Пара этих аппаратов СССР должна была отработать технологию посадки на Марс, изучить свойства грунта: плотность, структуру, химический состав. Это исследование рассматрива-



лось как предварение более сложных программ: отправки мощного марсохода, а затем и пилотируемой высадки.

Частично с задачей удалось справиться: «Марс-3» показал, что садиться можно, и что Марс столь же твердый, как и Луна. Аппарат заложил практически классическую схему спуска, которая во многом повторялась вплоть до Curiosity, хотя в деталях были и отличия.

Как и большинство посадочных марсианских модулей, «Марс-3» входил в атмосферу планеты без предварительного торможения на перелетной скорости 5,8 километров в секунду. Первый удар атмосферы принимал на себя тормозной конус, который NASA называет Heat Shield, «Тепловой Щит». Название неслучайно, поскольку даже разреженная атмосфера Марса на такой скорости нагревает его до температуры выше 1500 градусов Цельсия.

Форма теплового щита рассчитана так, что трение атмосферы незначительно, а нагрев происходит из-за ударной волны, которую формирует перед собой щит. Сильно сжатый газ нагревается и передает температуру поверхности щита. Материал поверхности щита начинает испаряться и тем самым охлаждать более глубокие слои.

Космический аппарат ненадолго окутывает облако плазмы. Через плазму не прохо-

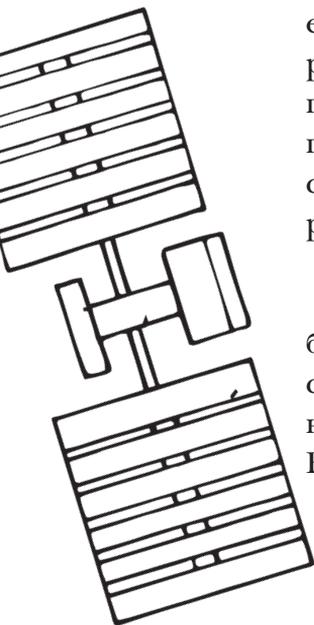


дят радиоволны, поэтому на самом жарком этапе спуска поддерживать связь с аппаратом невозможно. Но из-за расстояния между нашими планетами и задержки времени поступления сигнала на 7–10 минут, управлять посадкой с Земли все равно не получилось бы.

Тормозные конусы имелись у всех аппаратов, пытавшихся сесть на Марс. Но у всех, кроме советских «Марсов», щиты составляли часть полной теплозащитной капсулы, в которой прятались марсоход или модуль. На наших же аппаратах щит и «скорлупа» крепились отдельно.

Когда гиперзвуковая скорость падает до сверхзвуковой, щит перестает быть эффективным. Сразу от него не избавляются, но начинается этап парашютного торможения: сначала выпускается тонкий вытяжной, а за ним уже и основной парашют. Атмосферный поток еще высок — скорость составляет около 1500 километров в час, поэтому парашют называют сверхзвуковым. Чтобы поток не порвал резко раскрывшийся купол, используют технологию разрифовки: стропы заплетают таким образом, чтобы раскрытие было постепенным.

Чем шире раскрывается парашют, тем больше падает скорость, но атмосфера Марса настолько разрежена, что ее плотности не хватает для обеспечения мягкой посадки. Впрочем, и на Земле парашюта для мягкой



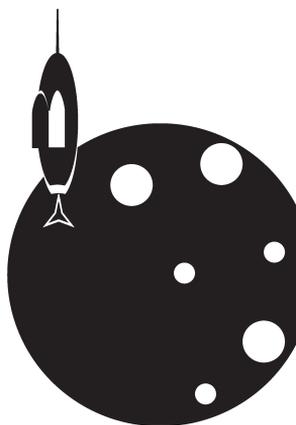
посадки недостаточно, и требуются двигатели мягкой посадки.

На Марсе парашют позволяет сбрасывать скорость примерно до 300 километров в час, и требуется еще какое-то инженерное решение, чтобы доставить в сохранности полезную нагрузку на поверхность. Здесь уже открывается больше простора для творчества инженеров и конструкторов.

Советские «Марсы» имели довольно малую массу для посадочных станций, поэтому обходились небольшими тормозными порохowymi двигателями. Причем, у «Марса-2» и «Марса-3» двигателей было два: один уводил парашют в сторону, а второй – «подвешивал» яйцеобразную капсулу на цепях над поверхностью планеты.

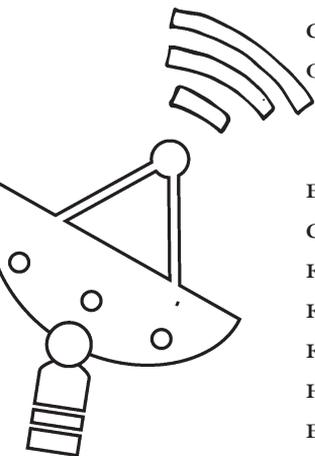
Последние метры «Марсы» пролетали в свободном падении, и удар на себя принимала толстая пенопластовая «скорлупа». Из-за смещенного центра масс, по принципу неваляшки, «яйцо» стабилизировалось, и верхняя часть кожуха отстреливалась в сторону. Затем раскладывались «лепестки», которые позволяли развернуть посадочную станцию вертикально, чтобы антенны могли передать данные на спутник.

У «Марса-6» в 1973 году был один твердотопливный двигатель мягкой посадки, который сразу и гасил скорость, и отводил парашют. Точнее, должен был это делать.



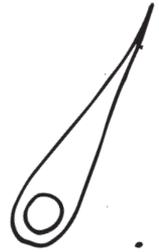
Что с ним произошло на самом деле, мы не знаем — передача данных с него прервалась примерно на этапе отделения парашюта, и сам аппарат на поверхности Марса пока не обнаружен. Существует гипотеза, что, как и в случае со Schiaparelli, к аварии привела неверная оценка расстояния до поверхности.

Передача данных в полете, реализованном на «Марс-6» — это тоже результат опыта «Марса-3». «Третий» молчал, как и задумывалось, но специалисты на Земле поняли, что лучше бы он вещал на протяжении всей посадки. И хотя «Марс-6» отключился, не добравшись до поверхности, поработать он все же успел: провел первый непосредственный анализ атмосферы Марса и передал результаты на Землю. Напарник «Марса-6», «Марс-7», промахнулся мимо планеты, и его сигналы какое-то время регистрировались орбитальной станцией.



Аппараты Viking-1 и Viking-2 от NASA в 1976 году использовали более сложную систему посадки — их уже оснастили жидкостными ракетными двигателями. Жидкостный двигатель позволяет автоматике контролировать импульс, добиваясь плавности спуска и меньшей скорости столкновения с поверхностью. При этом весь процесс посадки для Viking протекал легче, поскольку скорость входа аппаратов в атмосферу составляла всего 3 километра в секунду. Межпланетные аппараты сначала вы-

ходили на околомарсианскую орбиту, выбрали подходящее место, и только потом посадочные модули спускались в атмосферу. Благодаря такой схеме на поверхность «Красной планеты» удалось доставить массивные аппараты, которые проработали несколько лет и провели массу экспериментов, в том числе по поиску воды и жизни (правда, не нашли).



Следующая посадка произошла целых двадцать лет спустя, в 1997 году. Спускаемый аппарат Mars Pathfinder должен был протестировать несколько технологий, в том числе способ торможения при помощи «воздушных мешков». Первая часть спуска проходила по привычной для NASA схеме, в капсуле. А уже из капсулы на привязи вытягивался спускаемый аппарат. В нескольких десятках метров над поверхностью срабатывали твердотопливные тормозные двигатели. Вокруг аппарата надувались баллоны из прочной ткани, которую используют для создания скафандров.



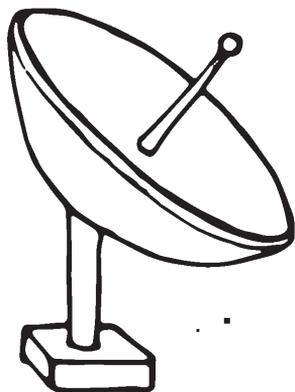
Модуль в «пузырях» ударялся о поверхность и сотни метров скакал, подобно мячу. В конце концов, баллоны сдувались, и Mars Pathfinder раскладывался по хитрой схеме, обеспечивающей вертикализацию аппарата, на каком бы боку ни оказался аппарат в конце движения.

Впервые эту технологию с «лепестками» применили еще в СССР для посадки

«Луны-9», а позже она пригодилась для посадки марсоходов Spirit и Opportunity.

Первый европейский посадочный зонд Beagle 2 в 2003 году садился похожим образом, только он умудрился обойтись даже без порохового тормозного двигателя. Спускался аппарат в капсуле и на парашюте, а потом тоже сразу скакал как мячик. Beagle 2 сел практически удачно, даже сумел немного поработать на поверхности, подобно «Марсу-3». Только на Земле узнали об этом спустя десять лет после посадки.

Для нормальной работы Beagle 2 надо было развернуть 4 лепестка с солнечными батареями и одну панель с приборами. Аппарат успел раскрыть только две солнечные батареи и остановился навсегда по неизвестной причине. Скорее всего, его аккумулятор сел, не успев зарядиться от Солнца, но это только предположение. Beagle 2 не передал данные о себе, поэтому, с точки зрения ESA, он ушел в атмосферу и навсегда замолчал. Нашли Beagle 2 только в 2013 году по снимкам марсианского спутника MRO.



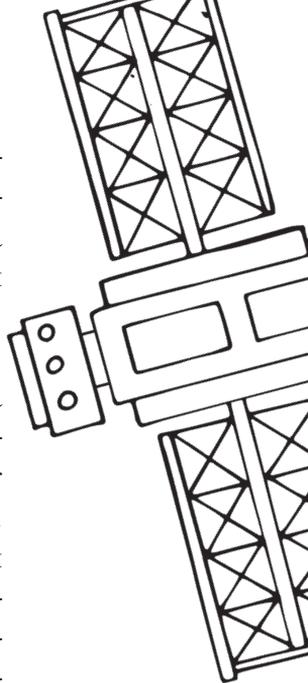
В 1999 году NASA потеряло свою единственную посадочную миссию на Марсе — аппарат Mars Polar Lander. К его модулю прилагались два отделяемых импактных (ударных) зонда Deep space 2. Предполагалось, что они будут садиться и работать самостоятельно. И хотя потеряли все вместе, можно считать эту неудачу сразу за три. Кар-

тина выглядела так же, как и у других аварий на посадке: аппараты ушли в атмосферу — и тишина. Южный полюс Марса оказался недостижим, даже следов миссии не нашли.

В 2009 году попытку покорения полюса, на этот раз Северного, повторили. Конструкция Phoenix во многом повторяла Polar Lander, только с учетом прежних ошибок. Это была спускаемая платформа, похожая на Viking, только спускалась она без торможения на орбите. Полет завершился удачной посадкой. Было изучено северное приполярье и найдена марсианская вода.

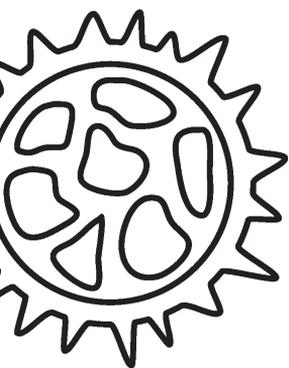
В 2012 году марсоход Curiosity стал самым тяжелым объектом, который удалось благополучно доставить на Марс. Мало того, что он был вдвое тяжелее средней массы других марсианских посадочных модулей, Curiosity отличался еще и высочайшей конструктивной сложностью, поэтому эквилибристика в надувном мяче ему не подходила, и даже ронять его со спускаемой платформы на высоте пары метров было нельзя. Сесть мягко платформа может, но на последних метрах реактивная струя поднимает слишком много пыли. Поэтому даже на легких аппаратах конструкторы стараются ставить как можно больше сопел, чтобы распределять реактивный поток.

Для посадки Curiosity пришлось разрабатывать новую сложнейшую конструкцию,



которая оставляла ракетные двигатели высоко наверху и вместе с ними поднимала мастерство посадки до фантастического уровня – SkyCrane.

По сути технология и название SkyCrane заимствованы у вертолетчиков. Именно там принцип «подлететь, зависнуть и погрузить» применяется давно и успешно. Только пропеллер на Марсе бесполезен, поэтому пришлось полагаться на ракетные двигатели. Сейчас взлетающей, зависающей и мягко садящейся ракетой никого не удивишь, а в середине 2000-х – это было весьма рискованное решение. Думаю, инженеры Jet Propulsion Laboratory потратили немало трудов, чтобы убедить всех чиновников NASA в успехе своего плана.



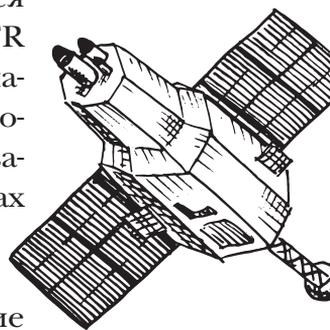
Наконец, вторая европейская попытка посадки на Марс – Schiaparelli, который опирался, кажется, на весь предыдущий опыт посадок на Марс: и на свой, и на чужой. В целом, посадочная схема повторяла схему Phoenix или Viking, только вместо ног удар приходился на широкий поддон из алюминиевых сот, что напоминает советские «Марсы».

Памятуя о неудаче Beagle 2, инженеры ESA разработали модуль «из целого куска», без каких-либо подвижных механизмов, антенн или панелей. От солнечных батарей вообще отказались.

Странно, что при этом решили обойтись без воздушных мешков, хотя они практически успешно посадили Beagle 2. Видимо, когда в 2013 году нашли пропавший зонд, разработка Schiaparelli дошла уже до того уровня, когда что-либо переделывать было поздно. Тем более, как показывают предварительные сообщения, сбой в посадке Schiaparelli случился на программном уровне, а не в «железе».

В целом, опыт полетов и посадок на Марс говорит о том, что это дело сложное, но возможное. И опыт здесь является определяющим фактором — частота попыток повышает шансы на успех, и даже наземной отработки с испытаниями всех возможных сценариев никогда не бывает мало.

В будущем, вероятно, полеты на Марс дополнятся новыми приемами и технологиями. И в России, и в США не первый год испытываются надувные тормозные щиты. Космопромышленник Илон Маск собирается сажать на поверхность Марса корабль BFR массой в десятки тонн при помощи аэродинамической посадки по схеме Space Shuttle. Сотрудники РКК «Энергия» тоже рассматривали такую схему еще в 1980-х — 1990-х годах и сочли ее вполне перспективной.

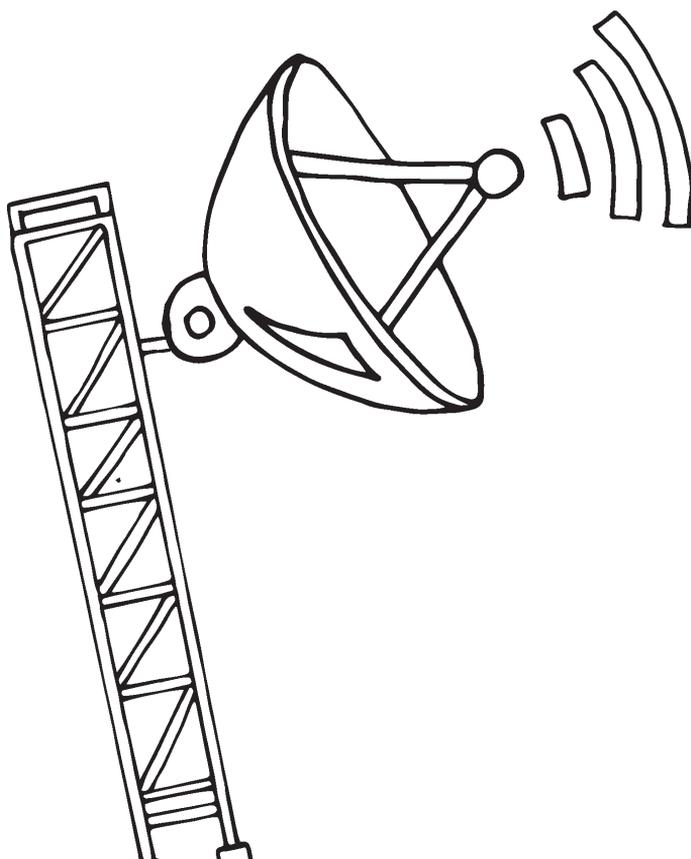


Из более реальных проектов в ближайшие годы стоит ожидать посадку марсохода Paster в рамках российско-европейского проекта ExoMars — там будет применена

платформа. Также нас ждет посадка американского марсохода MSL (Mars Science Laboratory) 2020 – SkyCrane. И, возможно, посадка китайского марсохода – как именно ее будут осуществлять, пока неизвестно, но, скорее всего, либо на платформе, либо по схеме Spirit/Opportunity.

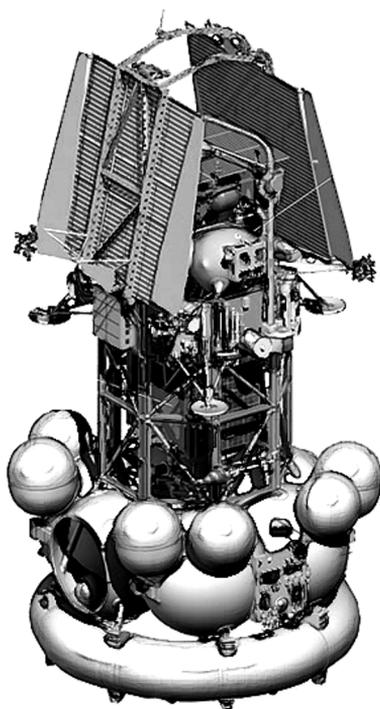
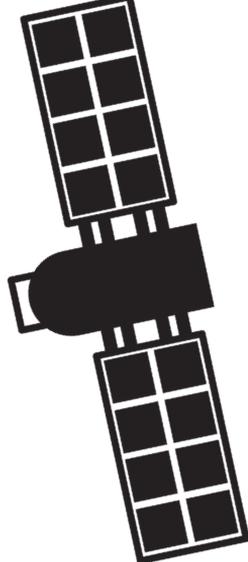
Глава первоначально подготовлена для научно-популярного портала N+1, и опубликована под названием «9:8 в пользу марсиан. Почему так трудно совершить успешную посадку на Красной планете».

Страница: <https://nplus1.ru/material/2016/10/27/mars-landing-difficulties>



«ФОБОС-ГРУСТЬ»

9 ноября 2011 года в космос отправилась первая в XXI веке российская автоматическая межпланетная станция «Фобос-Грунт». Задачи на нее возлагались беспрецедентной сложности: вернуть на Землю грунт с одного из спутников Марса – Фобоса. Успешный старт стал первым шагом на сложном пути к Красной планете и обратно, но уже на втором шаге – отлете с околоземной орбиты – что-то пошло не так.



«Фобос-Грунт»

Жизнь зонда «Фобос-Грунт» началась в нелегкое переходное время. С советских времен отечественной космонавтике не везло с Марсом. Практически ни один космический аппарат, отправленный к четвертой планете, не выполнил полностью свою научную программу, хотя отдельные успехи достигнуты были: первая посадка, первое непосредственное изучение атмосферы, первые цветные снимки с орбиты. Уже на закате Советского Союза, в 1988 году, к Марсу отправились две автоматические станции «Фобос». Их главной целью стал ближайший к Марсу и крупнейший из его спутников. И снова марсианских исследователей преследовали неудачи: сначала они потеряли «Фобос-1» из-за программной ошибки еще по пути, а «Фобос-2» прекратил работу через несколько месяцев. Он вышел на орбиту Марса и уже приступил к сближению с Фобосом, но тут прервалась связь, а причину сбоя так и не установили.

Уже в российских реалиях, практически на последнем издыхании, отечественная космонавтика вложила весь свой энтузиазм и стремление к изучению космоса в новую программу: «Марс-96». Люди работали в тяжелых условиях, с многомесячными задержками невысоких зарплат. Как и «Фобосы», «Марс-96» был международным проектом, на его борту установили немало иностранных научных приборов. Но все чаяния инженеров и ученых распались где-то над Тихим океаном или Южной Америкой, когда раз-



гонный блок не произвел второго включения для вывода аппарата на орлетную орбиту. На третьем витке вокруг Земли станция прекратила поддерживать связь с Землей, а четвертого уже не состоялось.



Потеря «Марса-96» тяжело ударила по космической отрасли и в особенности отразилась на НПО им. С.А. Лавочкина — главном предприятии СССР и России по межпланетной тематике и беспилотным научным комплексам. Именно тогда с завода и конструкторского бюро ушло немало специалистов, чья компетенция и опыт пригодились бы спустя 15 лет.

В условиях ограниченного финансирования отрасли российское космическое академическое сообщество наметило новую амбициозную цель для возвращения пошатнувшегося авторитета отечественной межпланетной космонавтики. И избрана была еще более сложная задача — добыча грунта с Фобоса. Научную составляющую проекта возложили на себя Институт космических исследований РАН и Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Совместно с российскими учеными в проекте приняли участие научные группы Франции, Германии, Голландии, Швейцарии, Италии, Швеции, Болгарии, Украины, Китая и США.

Фобос — это картофелеобразное космическое тело, вращающееся на высоте пример-

но 6 тысяч километров над поверхностью Марса в плоскости близкой к экваториальной. Несмотря на сходство с бесформенными астероидами, Фобос отличается от них плотностью, спектральными характеристиками и особенностями орбиты. Существует две основных гипотезы его возникновения: захват пролетающего астероида или выброс грунта с Марса в результате катастрофического столкновения. Ни одна из гипотез не находит полного подтверждения, исходя из имеющихся данных. В любом случае, ученые признают, что его реголит должен содержать как марсианскую породу, выброшенную в космос ударами астероидов по Марсу, так и древнее протовещество, из которого формировалась вся Солнечная система. Поэтому грунт Фобоса может рассказать об эволюции не только Марса, но и всех окружающих планет, в том числе Земли.



Задачу нашей космонавтики поставили сложную и сроки назвали близкие — 2003 год. Но станцию «Фобос-Грунт», как и всю космическую отрасль, преследовали общие проблемы: недофинансирование, постоянные изменения планов, переделки и полный пересмотр всей концепции. Накладывались также общий кризис высокотехнологичной промышленности и отсутствие отечественной современной электроники космического класса.

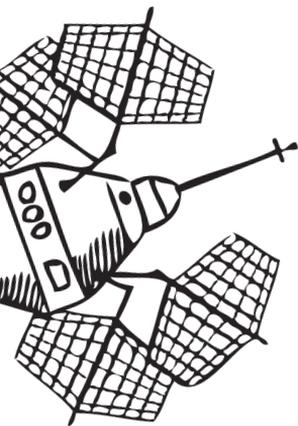
Сначала автоматическая межпланетная станция готовилась к старту со средней ра-

кетой «Союз-2», и достижение Марса предполагалось при помощи электроракетной двигательной установки. В проекте «Фобос-Грунт» присутствовало требование — обеспечить не менее 20% финансирования за счет привлечения коммерческих партнеров. Они нашлись в 2007 году в Китае. К и без того сложной автоматической межпланетной станции добавился попутный малый космический аппарат «Инхо-1». Проект пришлось серьезно переделывать. Электрический двигатель заменили на химический, разработав маршевую двигательную установку на базе созданного на НПО им. С.А. Лавочкина разгонного блока «Фрегат». Выведение на перелетную орбиту к Марсу серийным разгонным блоком было невозможно, так как аппарат требовал коррекции траектории во время перелета и торможения у Марса, поэтому были необходимы переделки бортового комплекса управления. Пуск перенесли на 2009 год. Ракета «Союз» уже оказалась мала для такой нагрузки, поэтому ее заменили на более мощный украинский носитель «Зенит-2». Обновленная масса превысила 13 тонн. За полгода до открытия пускового окна 2009 года, старт сдвинули до ноября 2011-го — из-за особенностей планетных орбит. На Марс с Земли легче всего лететь, если стартовать в течение одного месяца с периодом в два года.



Из-за постоянных переносов срока, переделок и недостаточного финансирования, многие выражали опасения по поводу успеш-

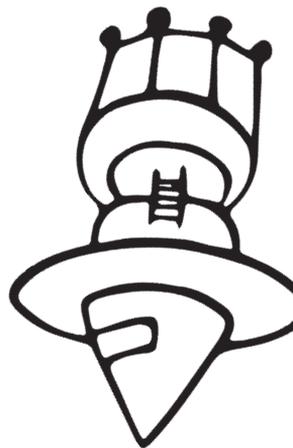
ности миссии. За месяц до старта на заседании Госдумы тогдашний глава Роскосмоса Владимир Поповкин пояснял, что сроки и так затянуты, и если не запустить аппарат в 2011-м, то лучше уже не пускать никогда, поскольку технологии постоянно устаревают, а опытные специалисты уходят. Вероятность успеха миссии, при условии пуска в 2011 году, посчитали в 93%, и госкомиссия приняла решение о пуске, хотя были и более сдержанные оценки – в 22,5%, но им не придали значения.



«Фобос-грунт» проектировался с учетом последних достижений техники: по модульной негерметичной многоступенчатой схеме. В перспективе, такая платформа рассматривалась как основа будущих космических программ от Меркурия до Юпитера. Компоновка позволяла широко варьировать состав полезной нагрузки, двигательную установку, менять назначение и программу будущих аппаратов. Таким образом, «Фобос-грунт» выполнял не только научные, но и технологические задачи, и должен был стать первой испытательной ласточкой целой армады российских межпланетных зондов, которые готовило НПО им. С.А. Лавочкина.

Программа полета предполагала выведение космического аппарата на опорную низкую околоземную орбиту с высшей точкой орбиты в 360 километров. Там он в автоматическом режиме должен был сориен-

тироваться сначала по Солнцу, чтобы солнечные батареи начали питание бортовой сети, затем — по звездам, такая ориентация является более точной. Звездная ориентация позволила выдать маршевой двигательной установке первый импульс для выхода на переходную эллиптическую орбиту с высшей точкой 4162 километра. После первого импульса отбрасывался дополнительный топливный бак, и устанавливалась двусторонняя связь с Землей. До этого со станции на Землю предполагалась передача телеметрии, но никаких команд на аппарат передать было невозможно. Такое решение было вынужденным, из-за экономии массы решили отказаться от двусторонней связи на низкой околоземной орбите, а для передачи на аппарат — модернизировали только самые большие антенны Дальней космической связи России. Они могли вести передачу только с расстояния в несколько тысяч километров. Даже на переходной орбите не предполагалась никакая передача команд, если «Фобос-Грунт» летит по программе полета. Связью воспользовались бы, только если потребовалось внести навигационные поправки для перехода на орбитальную траекторию к Марсу.



Перелет от Земли к Марсу кажется самым легким и простым этапом программы полета «Фобос-Грунт». Затем аппарату предстояло выйти на марсианскую орбиту, сбросить маршевую двигательную установку с тяжелым топливным баком, отделить соедини-



тельную ферму, высвободить из нее китайского «пассажира», и только потом приступить к сближению с Фобосом. После посадки на Фобосе ожидалась напряженная и сложная работа. Сбор грунта и отправка к Земле была лишь частью задачи. На поверхности оставалась долгоживущая станция для длительного изучения породы на местности и внешних условий. Место посадки выбрали такое, с которого никогда бы не было видно Марса — чтобы он не создавал лишней тени солнечным батареям. Возвратиться на Землю предстояло совсем небольшому модулю массой в 7 кг, который доставил бы 100-200 г инопланетного грунта. Вместе с ним вернулись бы образцы бактерий и других живых существ, впервые в истории совершившие межпланетный перелет.

К сожалению, ничего из намеченной программы выполнено не было. Никто не ожидал, что полет «Фобос-Грунта» с пугающими подробностями повторит печальный опыт своего предшественника — «Марс-96», отличаясь только длительностью полета и ускользающим шансом спасти миссию.

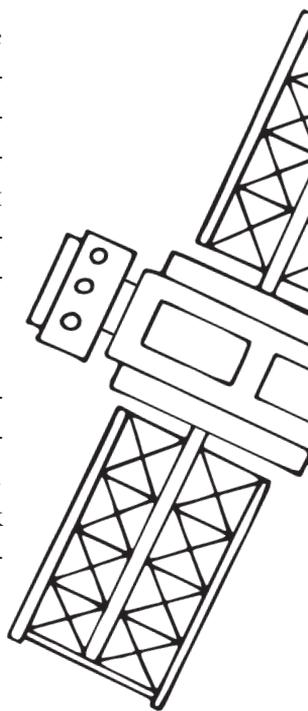
Ночью 9 ноября 2011 года ракета-носитель «Зенит-2SB» вывела «Фобос-Грунт» на опорную орбиту. Через 2,5 часа ожидалось первое включение маршевой двигательной установки. После старта ракеты космический аппарат скрылся из пределов видимости российских станций, но

иностранные станции подтвердили прием телеметрии и построение солнечной ориентации — выполнение программы полета началось успешно.

Оставалось дождаться включения маршевой двигательной установки. Институт космических исследований даже разместил обращение к астрономам-любителям мира — посмотреть в телескоп на полет «Фобос-Грунта» и подтвердить вспышку запущенного двигателя. Но вспышки так никто и не дождался. Двигатели молчали, станция молчала, хотя продолжала держаться солнечными батареями к Солнцу.

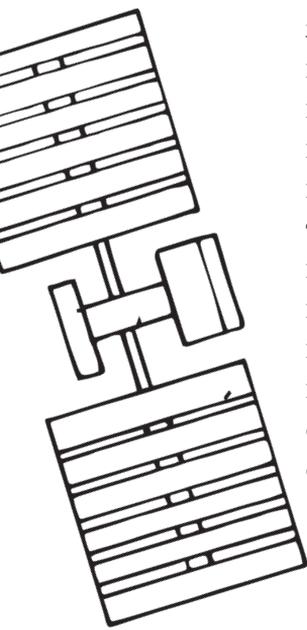
На следующих витках еще удавалось поймать телеметрию с бортового передатчика. Инженеры и программисты по скупым цифрам пытались понять причины сбоя, писали программу повторного запуска двигательной установки, но на вторые сутки после старта прекратилась и передача телеметрии. В это же время начались первые попытки передачи на борт обновленного набора команд. Российским специалистам предложили свою помощь европейские ученые: они подключили свою наземную станцию космической связи в Австралии.

Хотя причины сбоя пока никто не понимал, решающее значение имела возможность приема данных с Земли на борт. «Фобос-Грунт» был еще жив и ждал новых команд, но не мог их получить. Острона-



правленная антенна, которая должна была развернуться на российские станции космической связи с расстояния 4-х тысяч километров, оказалась практически неспособна поддерживать связь с высоты 300 километров. Спутник летел слишком быстро относительно поверхности Земли, и узкий «луч» диаграммы направленности антенны безвольно скользил по ней, не имея возможности остановиться, чтобы принять новые команды. Тяжелые многометровые антенны Дальней космической связи не успевали следить за быстро проносящейся по небу станцией, а мощность их передатчиков могла просто сжечь приемник «Фобоса-Грунта» с близкого расстояния.

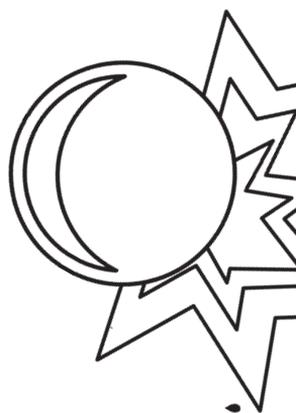
Низкая орбита позволяла держаться «Фобос-Грунту» в полете еще нескольких недель, но пусковое окно к Марсу закрывалось гораздо быстрее. Надежды на успешный пуск к Марсу таяли с каждым днем, но создатели межпланетной станции продолжали борьбу за свое детище. Теперь, при каждом удобном пролете над российскими наземными станциями, в сторону аварийного аппарата неслись запросы, чтобы оценить его готовность к приему команд, и готовились аварийные программы для возвращения к нормальной жизни бортового вычислительного комплекса и его старта к Марсу. В другом полушарии то же самое пытались сделать европейские коллеги на станции космической связи в Перте (Австралия).



Ответ удалось получить только через две недели — 23 ноября. Во время пролета над освещенной стороной Земли, когда солнечные батареи могли питать бортовую сеть, из Австралии смогли получить ответ от станции: по громкой связи специалисты Байконура слышали ликование европейских коллег. Анализ телеметрии показал, что «Фобос-Грунт» находится в аварийном режиме работы, и его бортовой вычислительный комплекс работает только тогда, когда есть солнечный свет на батареях. В это время над Россией проходила ночная часть орбиты, а значит все попытки связи и отправки команд оказались бесполезны.

Орбита космического аппарата постепенно снижалась. Тормозящее воздействие атмосферы возрастало с каждым витком. Еще через неделю наблюдатели заметили начало разрушения станции — от нее отделилось один или два фрагмента. Полет продолжался, и несколькими астрономам любителям удалось произвести съемку аппарата. «Фобос-Грунт» летел с развернутыми солнечными батареями, подтверждая успешное начало работы на орбите. На некоторых кадрах удалось разглядеть даже отделяемый топливный бак, который должен был отделиться после первого включения двигателя, но так и остался в составе аппарата.

«Фобос-Грунт» вошел в плотные слои земной атмосферы 15 января 2012 года на 1097-м витке вокруг Земли. Он распался



где-то над Тихим Океаном или Южной Америкой.

После завершения всех спасательных работ, когда судьба второй российской автоматической межпланетной станции была решена, встал главный вопрос о причинах аварии. Первое время винили программную ошибку на этапе построения ориентации по звездным датчикам, перед первым пуском маршевой двигательной установки. Была даже попытка обвинить американских военных в воздействии на космический аппарат. По мнению, высказанному главой Роскосмоса Владимиром Поповкиным, «Фобос-Грунт» мог попасть в излучение радара, которым американская станция облучала пролетающий поблизости астероид 2005 YU55 с целью зондирования. Но последующий более глубокий анализ телеметрии и моделирование на наземном макете бортового вычислительного комплекса позволил отсеять лишние и определить более убедительную причину.



Главной причиной аварии признали несовершенство конструкции космического аппарата. Первоначальный сбой бортового вычислительного комплекса был вызван воздействием космической радиации — тяжелой заряженной частицы. Такие частицы не редкость в космосе: что в межпланетном пространстве, что на околоземной орбите. Из-за высоких энергий таких частиц защититься от радиации практически не

возможно, мы и наша техника на Земле прикрыты десятками километров атмосферы, а в космосе конструкторы предусматривают различные методы защиты от сбоев, вызываемых такими частицами. Для повышения надежности обычно используют два бортовых вычислительных комплекса, которые страхуют друг друга. Возможно применение специальных алгоритмов определения ошибок в программе. Электронику для космических аппаратов тоже используют специальную, военного или космического исполнения, которое обеспечивает более стабильную работу в потоках космического излучения.

«Фобос-Грунт» имел дублированный бортовой вычислительный комплекс, в котором использовалась электроника военного назначения. Российские ГОСТы это позволяют. Космическая электроника имеет высокую стоимость, поэтому конструкторы вынуждены были прибегнуть к такому выбору из-за ограниченности бюджета. В чем конструкторы бортового вычислительного комплекса просчитались, так это во внутренней компоновке. Два дублированных полукomплекта вычислительного комплекса располагались близко друг к другу, в параллельных плоскостях, в результате одна космическая частица пробила оба полукomплекта сразу и привела к прекращению программы полета и перезагрузке компьютера. Космический аппарат еще сохранял полную работоспособность и ждал команд с Земли, но из-за невоз-

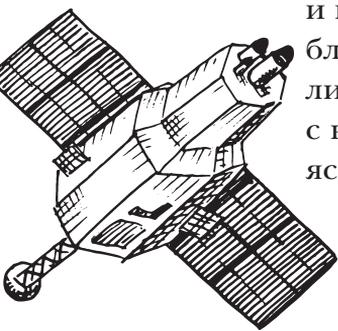


возможности установить связь на низкой орбите эту команду передать не удавалось.

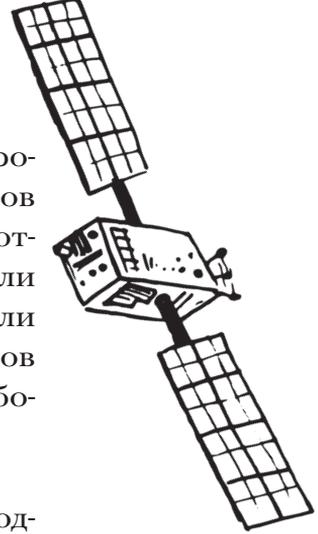
Позже выяснилось, что пробитые микросхемы оперативного запоминающего устройства относились как раз к тому типу, который наиболее уязвим именно к такого рода излучениям.

Согласно заключению госкомиссии, авария произошла «вследствие недооценки фактора космического пространства разработчиками и создателями межпланетной станции». Виновные в просчете сотрудники НПО имени Лавочкина были привлечены к административной ответственности.

Таким образом, виновными назвали разработчиков космического аппарата, которые выбрали слабые микросхемы и не предусмотрели возможности связи на низкой околоземной орбите. При этом никто не вспомнил, что их решения определялись не их желанием или компетенцией, а бюджетом и поставленными сроками. Тут можно вспомнить марсианскую аварию, которая произошла за десятилетие до «Фобос-Грунта»: американский научный зонд Mars Polar Lander должен был впервые совершить посадку в полярных регионах Марса, изучить грунт и местный лед, провести климатические наблюдения. Аппарат успешно стартовал с Земли, но после входа в атмосферу Марса связь с ним прервалась. Миссия погибла по невыясненной причине, а госкомиссия главной



причиной неудачи назвала недофинансирование и давление сроков. Конструкторов и программистов к административной ответственности не привлекали, а увеличили бюджет и через 4 года. Они реализовали сверхуспешную экспедицию двух марсоходов Spirit и Opportunity, один из которых работает по сей день — пятнадцатый год.



Полет «Фобоса-Грунта» показал, что сегодня российская межпланетная космонавтика совсем не та, которая досталась в наследство от СССР. Стало ясно, что требуется тренировка, повторение прежних успехов и реализация более простых проектов для отработки новой технологии и получения опыта молодыми инженерами. Следующая серия межпланетных станций — «Луна-25-26-27» («Луна-Глоб», «Луна-Глоб-2», «Луна-Ресурс») по задачам полета повторяют «Луну-9», «Луну-10», «Луну-16» 60-х годов прошлого века, хотя для них предусмотрена более сложная схема полета и научная программа.

Результатом полета «Фобос-Грунт» стал перенос или отмена последующих межпланетных аппаратов, которые готовились к реализации на платформе «Фобос-Грунт»: полет к астероиду Апофис отменили, посадку на Венеру перенесли на 15 лет, практически забыты несколько марсианских проектов, в том числе «Марс-Грунт».

Россия поддержала европейскую программу «ЭкзоМарс» и в ней надеется взять свой



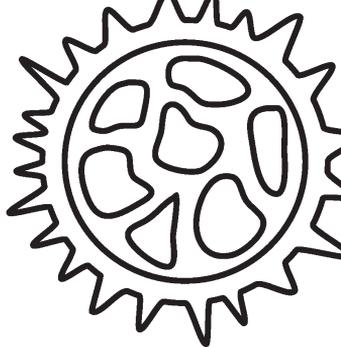
марсианский реванш. Программа включает два запуска российскими ракетами: первый этап – спутник TGO, который уже успешно работает на орбите у Марса, второй этап – марсоход, который будет садиться на российской посадочной платформе в 2021 году.

Работа в проекте «Фобос-Грунт» стала практической школой для молодого поколения инженеров предприятия. Они взяли под руководством немногочисленных опытных специалистов решать уникальные для отечественной космонавтики задачи: создание системы посадки на базе лазерного высотомера, лидара и телевизионной стереосистемы. Разрабатывали различные варианты манипуляторного грунтозаборного устройства и даже своеобразного искусственного интеллекта, способного самостоятельно, без указания с Земли, выбирать наиболее интересные образцы грунта. Их труды и приобретенные знания должны воплотиться в запуске «Фобос-Грунт-2», который включен в Федеральную космическую программу на 2015-2025 годы под названием «Экспедиция-М». Однако активная подготовка станции к полету начнется только после успешной посадки «Луны-25» в 2019 году, и европейского марсохода Paster в 2021-м.

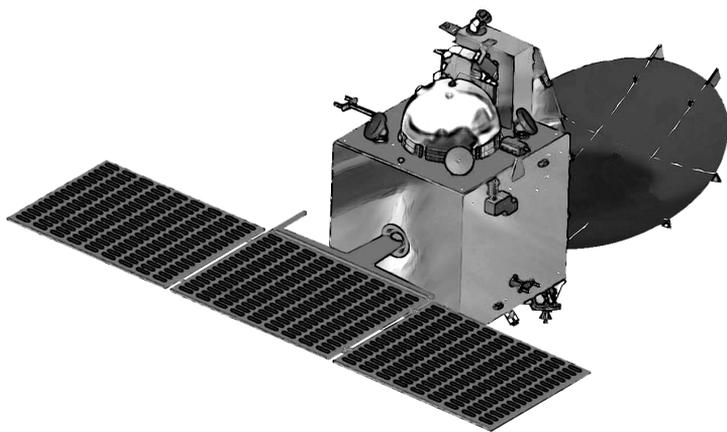
Глава первоначально подготовлена для познавательного журнала «Вокруг Света», и опубликована под названием «Ставка на красное».

Страница: <http://www.vokrugsveta.ru/article/261547/>

MARS ORBITER MISSION: ИНДИЙСКИЙ МАРС

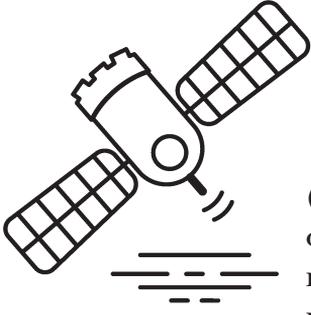


Индия может! Именно это можно сказать по результатам работы индийской автоматической межпланетной станции на орбите Марса. Mars Orbiter Mission или сокращенно MOM создан в самые короткие сроки и обошелся в рекордно малую сумму. Если говорить только о спутнике, то на его разработку потратили всего



Mars Orbiter Mission

25 миллионов долларов. При этом он успешно долетел и несколько лет исправно шлет цветные фотографии Красной планеты.



МООМ вращается на сильно вытянутой (высокоэллиптической) орбите, как ни один марсианский спутник. Эта орбита позволяет ему осматривать всю планету как с расстояния 75 тысяч километров, так и с высоты 375 километров. На аппарате установлены 5 научных приборов, один из которых — цветная фотокамера. Пробный кадр сделали еще на земной орбите, правда, качество, прямо сказать, невысокое.

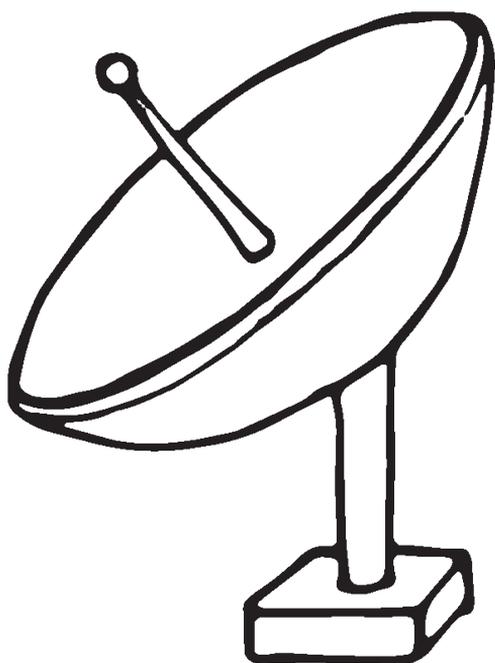
Первое фото с орбиты Марса подтвердило работоспособность аппарата, но вызвало язвительные комментарии интернет-пользователей в стиле «моя мобила снимает лучше».

Следующие кадры оказались нагляднее. На снимках можно было рассмотреть структуру атмосферы и весеннюю пыль, которая висит в южном полушарии. При наступлении теплого времени года на полярных шапках тает углекислотный лед, от чего поднимаются мощные ветра.

Снимок полного «глобуса» с расстояния 74,5 тысяч километров показал больше облаков у северного полюса.

Несмотря на низкое разрешение снимков, индийский аппарат показывает нам Марс, как никто другой. Американские и европейские спутники снимают с низкой орбиты камерами высокого разрешения

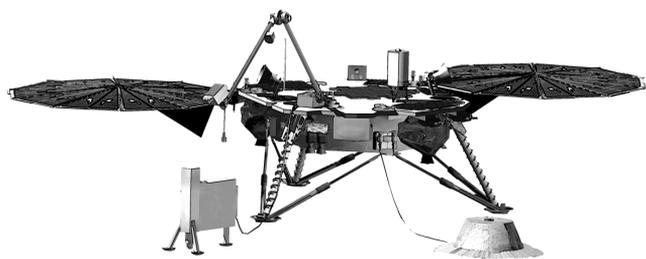
и не могут охватить всю планету, индийские марсианские кадры хороши именно с эстетической точки зрения. Аналогичные ракурсы съемки дает только маленькая «веб-камера» на европейском спутнике Mars Express, но у нее качество съемки совсем уж невысокое.



4.8 INSIGHT: ЛЕТИМ ДОЛБИТЬ МАРС



В мае 2018 года с военной базы Ванденберг в Калифорнии к Марсу отправилась группа космических аппаратов, которые должны получить новые данные о Красной планете. Главная нагрузка ракеты Atlas V – спускаемый аппарат InSight, который будет изучать Марс изнутри.



InSight

Конструкция InSight позаимствована у успешной миссии NASA Phoenix, которая высадилась в приполярье Марса десятью годами ранее. По сути, это круглый стол, на котором размещены научные инструменты и приборы. Электропитание модуля обеспечивается разворачивающимися как веер солнечными батареями.

Под «столом» располагаются ракетные двигатели, топливные баки, радар-высотомер, подпружиненные раскладные «ноги» и про-

чие системы мягкой посадки. Перелет совершается в теплозащитной капсуле, которая высвобождает космический аппарат только перед самой поверхностью.

Phoenix изучал грунт и водяной лед, которого много у марсианских полюсов. InSight же должен сесть близко к экватору, всего в нескольких сотнях километров от марсохода Curiosity — на вулканической равнине Элизий. Работа InSight должна продлиться около двух земных лет, то есть один марсианский год, хотя, возможно, работу продолжат, если системы будут функционировать нормально.

Марсоходы Spirit и Opportunity могли пробурить Марс только на 0,5 сантиметра. Прорыть траншею колесом получалось лишь на пару сантиметров. Phoenix копнул грунт сантиметра на три. Марсоход Curiosity бурит на 7 сантиметров.

InSight должен забить стальную сваю на глубину до 5 метров. Система HP3 (Heat Flow and Physical Properties Probe) разработана Германским космическим агентством DLR. На глубине несколько метров не будут изучать химию породы и не будут искать микроскопических марсиан. Всё проще — такая глубина нужна для того, чтобы определять температуру грунта от поверхности и до внедренного зонда.

В ходе забоя скважины еще больше узнают о плотности грунта, что важно для



уточнения моделей тепловой инерции, то есть определения плотности грунта, его скорости накапливания и отдачи тепла в течение суток. Поскольку данные по тепловой инерции получены уже со всей планеты при помощи спутников, лучшее понимание связи между плотностью и теплом поверхности позволит лучше узнать весь Марс.

Для точного измерения перепадов температур внутри скважины на аппарате разместили термодатчики на гибкой ленте, которая крепится к забиваемой свае. На ленте датчики располагаются через каждые 35 сантиметров. Ученые попытаются выяснить, насколько глубоко прогревается грунт под солнечными лучами, и как меняется баланс температур в течение марсианского года. Это знание послужит многим целям, например, позволит точнее определять глубину залегания вечной мерзлоты и оценивать возможные запасы воды.



Еще один способ познать нутро «бога войны» — это послушать при помощи сейсмометров — приборов для изучения колебаний грунта. Это будет уже не первая попытка. Сейсмометры стояли на спускаемых аппаратах Viking, которые начали свою работу еще в 77-м году. Однако из-за неудачного размещения они всё время регистрировали только порывы ветра и, кажется, только раз услышали подземный толчок неизвестного происхождения.

Сейсмический эксперимент предполагался на российской станции «Марс-96», но, к сожалению, миссия оборвалась в Тихом океане. Марсоходы, в принципе, тоже могли бы использовать свои акселерометры для регистрации заметных сейсмических толчков, но ничего существенного за время их работы в тектонике планеты не происходило.

InSight обладает сверхчувствительным французским прибором SEIS (Seismic Experiment for Interior Structure), который на порядки превосходит чистоту и качество своих марсианских предшественников. Уроки прошлого были учтены, и сейсмометр разместят непосредственно на поверхности Марса, под двумя защитными колпаками — от ветра и от перепадов температуры. SEIS обладает трехосевым широкополосным сейсмометром и трехсегментным сейсмометром короткого периода.

За счет размещения датчиков по трем осям сейсмометр сможет определять направление и глубину до источника сейсмического толчка, что, в свою очередь, позволит изучить недра Марса до самого ядра (если будет достаточно мощная волна). Точность же прибора такова, что он должен зафиксировать даже гравитационное воздействие спутника Марса — Фобоса, который, в отличие от земной Луны, имеет намного меньшие размеры и массу, а значит имеет незначительное воздействие на Марс.



Для установки на поверхности планеты сейсмометра и устройства забивания свай InSight оборудован специальным краноманипулятором с захватом и навигационной камерой. Камера повторяет конструкцию навигационных камер марсоходов, только она цветная, но снимки все равно не будут превышать один мегапиксель. Еще одна камера будет располагаться под «столом» у ног посадочного устройства, чтобы лучше наблюдать за установленными на планете приборами.

Вращение планет вокруг своей оси нестабильно, за тысячи лет ось вращения планеты меняет направление и совершает покачивания, эти движения называют прецессией и нутацией. Кроме того, возможны отклонения в процессе суточного и годового вращения. Дополнительное влияние на осевое вращение Марса оказывает наличие и размер жидкого ядра в центре планеты, приливные воздействия Фобоса и Деймоса и перераспределение массы углекислого газа по поверхности, который в зависимости от сезона выпадает льдом то на одном, то на другом полюсе.



Земная ось совершает полный прецессионный цикл за 25 765 лет. Марс — примерно за 175 000 лет.

Данные по прецессии Марса были получены на основе анализа движения космических аппаратов Mars Odyssey и Mars Global

Surveyor при помощи эффекта Доплера. Данный эффект влияет на частоту передаваемого сигнала с космического зонда и на зонд в зависимости от изменения его скорости. В случае с орбитальными аппаратами, летающими вокруг Марса, точность измерений достигает 1 м/с, но если передатчик и приемник разместить на поверхности планеты, то точность должна возрасти.

Подобные эксперименты проводили с посадочным зондом Mars Pathfinder и с марсоходами Spirit и Opportunity, когда они останавливались в своем путешествии чтобы перезимовать. Но длительность этих экспериментов не достигала и полугода, а чтобы изучить все детали вращения планеты, надо наблюдать как минимум год. Для точного определения расположения InSight и всех подробностей его перемещения вместе с планетой, на его борту размещен прибор RISE (Rotation and Interior Structure Experiment). По сути, это два радиопередатчика X-диапазона с рупорными антеннами среднего усиления, направленными в противоположные стороны. Теоретический предел точности определения скорости для аппарата, размещенного на поверхности Марса, составляет 5 мм/с, но в NASA ожидают точность около 5-10 см/с.

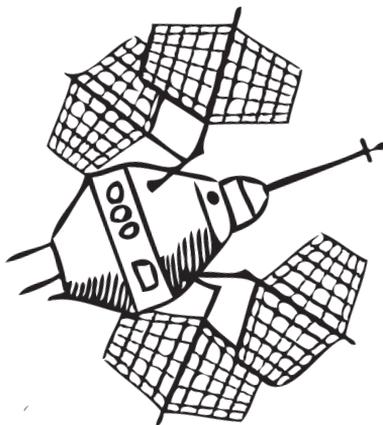
При необходимости RISE может использоваться для передачи полезной информации, но в нормальном режиме для этого будет применяться отдельная антенна UHF-



диапазона (радиоволны ультравысокой частоты), передающая данные на орбитальные аппараты.

Данные с трех основных приборов InSight NASA сравнивает с жизненными показателями Марса: SEIS послушает дыхание и пульс, HP3 изменит температуру тела, RISE замерит двигательные рефлексы. Кроме этого, на приборном столе InSight размещены испанские устройства TWINS для наблюдения за климатом, аналогичные прибору REMS марсохода Curiosity. Под ветрозащитным колпаком сейсмометра скрывается датчик атмосферного давления, рядом располагается магнитометр. На другой стороне «стола» цветная таблица для калибровки фотокамеры и лазерный уголковый отражатель LaRRI, который пригодится, если кто-то, пролетая над Марсом, решит осветить лазером в InSight.

Посадка InSight ожидается в ноябре 2018 года.



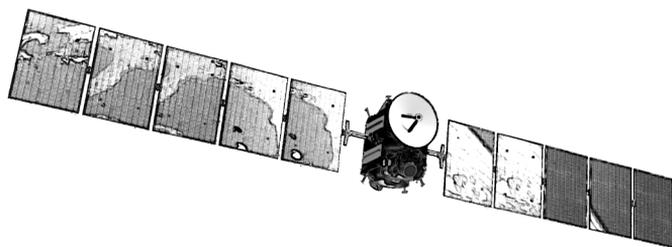


ЦЕРЕРА



5.1 DAWN: РАССВЕТ НАД ЦЕРЕРОЙ

С начала 2015 года космический зонд NASA Dawn («Рассвет») приближался к карликовой планете Церера. С каждым днем снимки этого загадочного космического тела, вращающегося между орбитами Марса и Юпитера, открывали всё новые и новые подробности.



Dawn

Загадки Цереры начались еще до того, как Dawn прибыл к ней. Полтора годами ранее инфракрасный космический телескоп ESA Herschel с расстояния почти в 300 миллионов километров смог определить две точки на поверхности карликовой планеты, откуда испаряется вода. Их назвали Region A и Piazzi (в честь первооткрывателя Цереры). Суммарное испарение оценили примерно в 6 кг/с, то есть оно было не такое мощное, как гейзеры Энцелада (спутник Сатурна), которые выдают 200 кг/с.

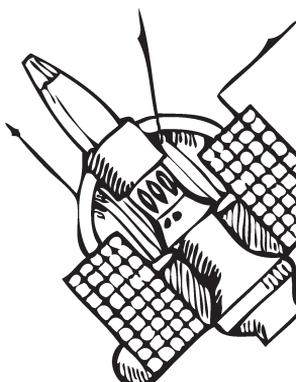
Получается, за земной год выбросы Цереры достигают примерно 200 тысяч тонн — уже небольшое озеро.

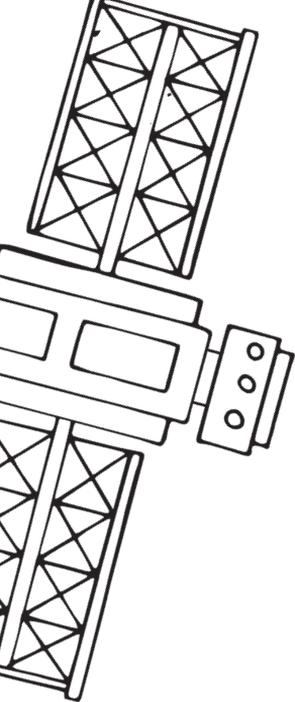
Dawn — представляет собой классический зонд для исследования безатмосферных тел Солнечной системы: на борту размещен небольшой панхроматический телескоп с восемью спектральными фильтрами на колесе, инфракрасный спектрометр и гамма-нейтронный спектрометр.

В феврале 2015 первые снимки Dawn с более-менее приличным разрешением стали приносить первые открытия на поверхности карликовой планеты. Точка, которая примерно соответствовала источнику испарения воды Region A, оказалась метеоритным диаметром в 90 км. На дне кратера обнаружили очень яркие, по сравнению с окружающей местностью, пятна какого-то вещества, хорошо отражающего солнечный свет. Размер этих пятен доходил до 6-ти километров.

В первые месяцы исследования невозможно было установить, что это за яркие объекты, и каково их происхождение. Были предположения, что это лед криовулкана или отложение солей.

Сам по себе лед на Церере не удивителен. Считается, что внешняя кора карликовой планеты в значительной степени состоит из замерзшей воды. Церера находится практи-





чески на границе так называемой «снеговой линии» (frost line), которая отделяет внутреннюю часть Солнечной системы от внешней. Разница — во взаимодействии замерзшей воды и солнечного света. Внутри Солнечной системы — Солнце испаряет лед, за пределами снеговой линии — его свет не имеет достаточной интенсивности и позволяет водяному пару конденсироваться в лед. На орбите Юпитера возможно существование ледяных лун вроде Европы, а на орбите Марса — нет.

Церера находится у границы снеговой линии, но все же внутри нее, и лед должен бы испаряться под прямыми солнечными лучами. К счастью для льда карликовой планеты, он прикрыт темным «мусором», который усыпал Цереру за миллиарды лет, проведенные в поясе астероидов. Поэтому поверхность Цереры цветом даже немного темнее вполне сухой Луны.

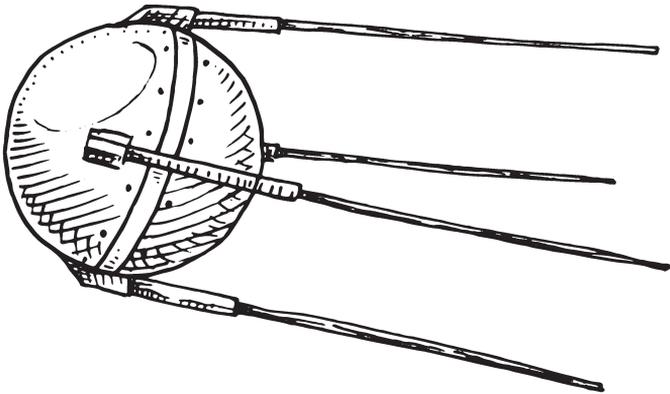
Можно было бы предположить, что белые пятна — это результат относительно недавнего падения на Цереру крупного метеорита или мелкого астероида. При падении астероид мог раздробиться из-за гравитационного воздействия Цереры и выпасть обломками разного размера, оставив несколько отметин на обнаженном льду.

Более экзотичная и интригующая версия — криовулкан. К примеру, на спутнике Сатурна Титане смогли обнаружить несколько

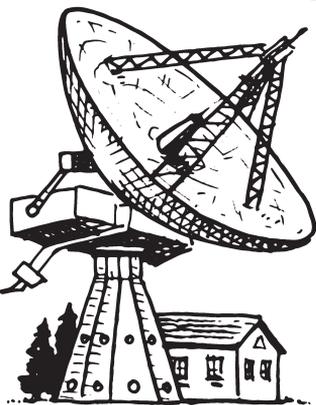
ко криовулканов — это такие вулканы, где вместо лавы течет вязкий водяной лед в смеси с аммиаком. Но у Титана есть причина, разогревающая недра — гравитационное воздействие Сатурна. У Цереры такой причины нет, поэтому вулканическая гипотеза интереснее, так как подразумевает неизвестный источник энергии в недрах.

Яркие пятна на Церере пока не разгаданы, а вот о вулканизме, хотя бы прошлом, можно говорить уже более уверенно. Dawn смог увидеть другой объект на теле карликовой планеты, который очень похож на вулкан.

В общем, Церера оказалась не простым каменным астероидом и загадала кучу загадок своей сложной историей, которая, возможно, еще не завершилась.



2. DAWN: РАСКРЫВАЯ ТАЙНЫ МЕЖПЛАНЕТНОГО ПРИШЕЛЬЦА



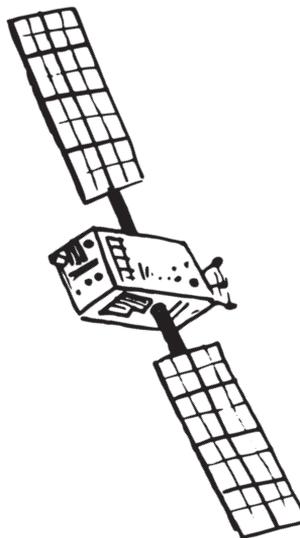
Церера вращается вокруг Солнца примерно между Марсом и Юпитером в поясе астероидов, но научные результаты Dawn позволяют предполагать, что прибыла она в нынешнее «место парковки» из более дальних краев.

Цереру открыли более 200 лет назад, но почти два века люди ничего не могли увидеть, кроме точки или маленького пятнышка из-за несовершенства оптики. С Цереры началось открытие Главного астероидного пояса, и за внешнее сходство с далекими звездами астероиды получили свое название — «звездоподобные». Их размеры так малы, что телескопы прошлого и позапрошлого века были не способны различить хоть какие-то детали поверхности. Сначала Цереру считали планетой, но быстро «разжаловали» в астероиды, и в этом звании она провела два века. Дискуссия о статусе Плутона привела к уточнению термина «планета» и введению нового термина «карликовая планета». В 2006 году Церера получила звание карликовой планеты и среди них стала самой маленькой и самой близкой к Земле. К этому времени космический телескоп Hubble смог увидеть ее уже лучше и показать сферическую форму, благодаря кото-

рой Церере и досталось это звание. Диаметр Цереры составляет примерно 950 километров, что в 3,5 раза меньше диаметра нашей Луны и в 2,5 раза — Плутона. Спутник Плутона Харон — чуть больше Цереры, но она летает сама по себе вокруг Солнца, поэтому заслужила особое звание.

Остальные карликовые планеты: Плутон, Эрида, Хаумеа и Макемаке вращаются намного дальше — за орбитой Нептуна. Из них только Плутон на краткое время посещался земным зондом New Horizons. В 2015 году к Церере прибыла межпланетная автоматическая станция Dawn, за три года станция сменила несколько орбит разной высоты: 5100-4400-1500-385-200 километров, и теперь Церера — самая изученная карликовая планета.

Особенностью конструкции Dawn является его двигательная установка — он использует электроракетные ионные двигатели. Особенностью этих двигателей является высокая скорость истечения реактивных газов, которая позволяет расходовать запас гораздо экономнее более распространенных химических двигателей. Недостатком ионников является ничтожно малое количество газа в реактивной струе, которая толкает космический аппарат вперед. Поэтому там, где химическому двигателю потребуется включение на несколько минут, ионному придется работать десятки часов. К тому же, электроракетные двигатели тре-





буют много энергии, поэтому Dawn оснащен солнечными батареями с размахом почти 20 метров.

Несмотря на недостатки ионных двигателей, они позволили Dawn совершить долгий и многоэтапный вояж в поясе астероидов и провести сложную научную программу. Стартовав в 2007 году, Dawn прибыл к самому большому астероиду в Главном поясе между Марсом и Юпитером — Весте. Это яйцеобразное грубое каменное тело размером около 550 километров. Если бы Веста имела сферическую форму как Церера, то тоже звалась бы карликовой планетой.

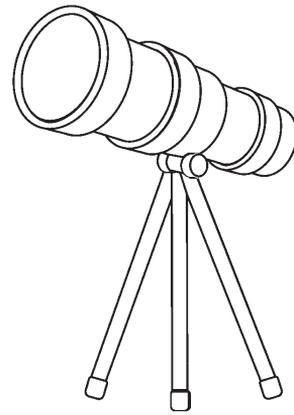
Dawn вышел на орбиту вокруг Весты и больше года изучал ее с трех разных орбит. Затем зонд воспользовался преимуществами ионной тяги и вернулся на межпланетную траекторию, чтобы добраться до следующей важной цели — карликовой планеты Церера. Перелет длился два с половиной года.

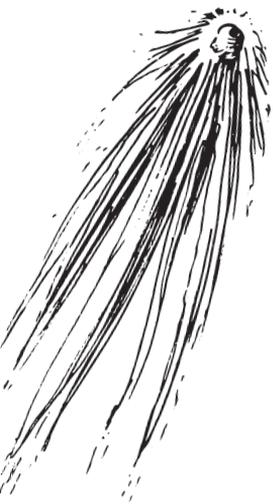
Любопытный факт: Dawn провел в поясе астероидов восемь лет и совершил три оборота вокруг Солнца, но не встретил ни одного астероида кроме Весты. Это показательный пример того, насколько заполнено астероидами пространство в самой гуще Главного пояса. Если бы в пути попался хоть один известный астероид, NASA не упустило бы возможности изучить его хотя бы издали и на пролетной траектории.

Ученые ожидали обнаружить воду на Церере, ведь еще ранее анализ ее орбитальных характеристик позволил высчитать ее массу, а после уточнения размеров получить среднюю плотность 2,1 г на куб см. Это очень мало в сравнении с каменными астероидами. У Весты плотность 3,4 г на куб см, а у самой распространенной в Солнечной системе каменной породы базальта плотность около 2,6 г на куб см. Поэтому еще до прибытия Dawn предполагалось большое содержание воды, до 50% в мантии Цереры. Для сравнения, метеориты, прилетевшие на Землю с Весты, содержат не более 0,04% воды.

Сферическая форма Цереры указывает на прошедшую дифференциацию — разделение на каменно-ледяную мантию и каменное ядро, возможно, с примесью металлов. Всё это покрыто тонким слоем реголита, накопившимся за миллиарды лет на поверхности карликовой планеты.

Открытия Dawn начались с ярких пятен в кратере, названном Оккатор, но это было только начало. Сразу заметили еще одну приметную особенность — почти правильный конус горы, названной Ахуна. Она выделялась на фоне средней «шероховатости» поверхности, возвышаясь на 5 километров с основанием 20 километров. Рядом с горой располагается глубокий метеоритный кратер примерно такого же размера, но, вероятно, они не связаны. Зато с противоположной стороны карликовой планеты находит-



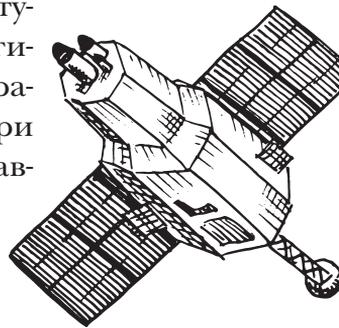


ся древний и самый большой на Церере кратер от астероида диаметром 280 километров. Возможно, гора Ахуна — это вулкан, который сформировался в точке фокусировки сейсмических волн от удара с обратной стороны. Подобные процессы могли происходить на Меркурии (Равнина Жары), Марсе (нагорье Фарсида и Элизий), Земле (плато Пutorана). Доказательства вулканизма на горе Ахуна нашли при помощи инфракрасного спектрометра — на вершине и склонах определили отложения карбоната натрия. Вероятнее всего, Ахуна является криовулканом, то есть вулканом извергающим воду с различными примесями. К сожалению, свежих следов вулканизма гора не имеет.

За два года Dawn смог определить множество материалов, которые указывали на прошлую геологическую и химическую активность жидкой воды на Церере: нашлась глина, которая является результатом размывания водой вулканических пород, карбоната натрия и его варианта, связанного с водой в форме гидрокарбоната, более известного как пищевая сода, тоже нашлось много. Органические соединения ответственны за незначительное покраснение в выбросах из некоторых метеоритных кратеров. Более того, оказалось, что эволюция поверхности еще продолжается: со склонов некоторых кратеров сходят оползни, вода испаряется с нагретых солнцем участков поверхности, создает временную атмосферу и оседает инеем в холодной тени.

Самым ярким подтверждением гидротермальной активности на Церере стали те самые яркие пятна в кратере Оккатор. Сам кратер возник примерно 80 миллионов лет назад, но белые отложения, которые тоже оказались содой, моложе его на 30 миллионов лет. Самые свежие отложения — вообще недавние, по геологическим меркам — около 4 миллионов лет. В центре наиболее крупного карбонатного пятна тоже возвышается криовулканический купол, только значительно меньше Ахуны.

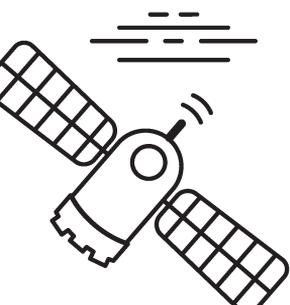
Еще одну загадку подкинуло изучение гравитационного поля Цереры. По его результатам плотность верхнего слоя карликовой планеты довольно низкая — ближе ко льду, чем к камню. По более ранним исследованиям вода должна составлять 40-50% верхней мантии. При этом вызывает удивление стабильность крупных геологических образований, вроде горы Ахуна или многих глубоких кратеров. Обычная мерзлота не удержала бы такие структуры из-за пластичности льда. Получается, что-то внутри «держит каркас». Ученые предположили, что в качестве «арматуры» ледяных недр Цереры выступают клатраты — газовые гидраты — это кристаллические соединения воды и различных газов, которые формируются при определенном соотношении температуры и давления. Например, метановый гидрат из воды и метана возникает при 0 градусах Цельсия при давлении 50 атм. При понижении температуры необходимое дав-



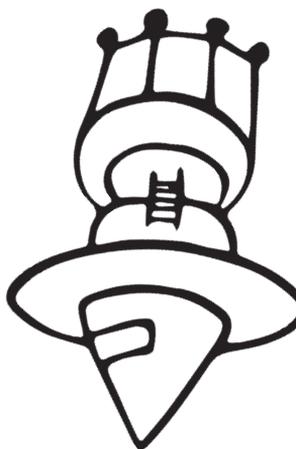
ление уменьшается. Клатраты могут быть в 100–1000 раз прочнее льда при той же плотности. То есть, перед нами косвенное доказательство скрытых в недрах Цереры летучих веществ, которых уже нет на поверхности.

Еще одним подтверждением прошлой дегазации Цереры являются обнаруженные цепи небольших кратеров шириной 1-4 километра, длиной до 500 километров. Предположительно они возникли в реголите над трещинами в коре карликовой планеты. Трещины могут иметь разное происхождение: от тектоники, от мощного астероидного удара, от изменения объема космического тела вследствие его остывания. Но каждая из этих причин имеет определенные признаки, которых нет на Церере. Наиболее убедительной гипотезой стала именно дегазация, когда из толщи коры через трещины наружу выделялись потоки газов из внутренних резервуаров.

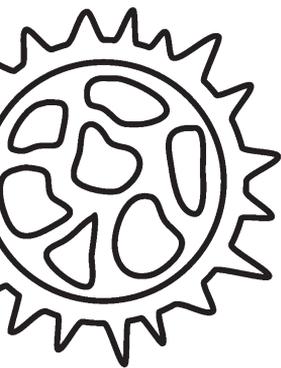
Самой интригующей находкой на Церере стал аммиак, обнаруживаемый на поверхности с карбонатами и глинами. Аммиак, растворенный в воде, понижает ее температуру замерзания, что позволяет криовулканам извергаться даже при минусовой температуре. Аммиак интересен прежде всего тем, что указывает на происхождение Цереры где-то за пределами ее нынешней орбиты, то есть она пришелец в Главном поясе астероидов.



Такой вывод следует «снеговой линии» — расстояния от Солнца, на котором тепла становится недостаточно для сохранения газообразной формы, что приводит к конденсации газа в твердую форму. Во времена формирования Солнечной системы снеговая линия для воды располагалась на расстоянии примерно 420 миллионов километров от Солнца, то есть примерно там, где вращается Церера. Сейчас водяная снеговая линия располагается еще дальше — около 750 миллионов километров от Солнца, почти у орбиты Юпитера. Ближе этого расстояния вращаются только каменные планеты, спутники и астероиды, лед на которых может быть только у полюсов, или в тени, или под поверхностью. На земных горных вершинах лед держится благодаря атмосферному давлению. Дальше водяной снеговой линии в изобилии летают ледяные кометы, и спутники планет почти все или состоят из льда, или покрыты льдом.



В отличие от воды, аммиак имеет более низкую температуру конденсации, и при формировании Солнечной системы его снеговая линия лежала примерно на 80 миллионов километров дальше орбиты Цереры, то есть он никак не мог принять участие в ее создании. Есть и другие косвенные признаки того, что Церера — гостья в Главном поясе. Как уже упоминалось, воды в карликовой планете несравнимо больше чем в астероидах по соседству. Исключения только в «выродившихся» кометах и даль-



них астероидах у орбиты Юпитера. Кроме того практически все крупные астероиды Главного пояса имеют собственные семейства, то есть группы мелких астероидов, которые имеют общие спектральные характеристики и близкие орбиты, а у Цереры такого нет.

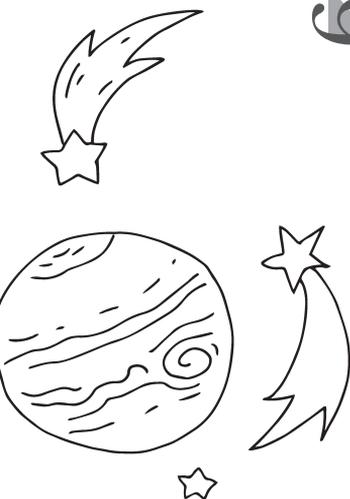
В целом, следует признать, что Церера по форме и составу больше похожа на большие спутники Юпитера или даже на остальные карликовые планеты, вроде Плутона. Шарообразные спутники Сатурна в основном имеют меньшую плотность, чем Церера, за счет большего содержания льда. Плутон — плотнее ледяных спутников, но до Цереры недотягивает, а она могла набрать плотность за счет «сброса» легких газов уже после приближения к Солнцу. Наклон орбиты Цереры подсказывает, что она прибыла не от Юпитера, так что, возможно, когда-то она была карликовой планетой на задворках Солнечной системы. Возможно, более подробное изучение даст ответы.

Летом 2018 года Dawn перешел на самую низкую финальную орбиту со сближением к поверхности до 35 километров, это обещает новые подробности на поверхности и новые открытия. Хотя в перспективе стоило бы запустить туда и посадочный зонд. Уже совершенных открытий достаточно, чтобы понять ее высокое значение для исследования истории и эволюции Солнечной системы.



КОМЕТЫ И АСТЕРОИДЫ

6.1 ПРОСЮОН: МИКРОСПУТНИК ДЛЯ БОЛЬШОГО КОСМОСА



В конце 2014 года, японские университеты при поддержке Японского космического агентства JAXA отправили в межпланетное пространство микроспутник Просюон. Он стал первым аппаратом малого класса, который выбрался в межпланетное пространство и показал практическую возможность применения там некосмической электроники.



Просюон

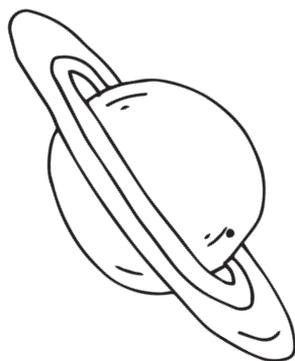
Сегодня на околоземной орбите, на высотах до 1 тыс. км, работает большое количество микроспутников — аппаратов до 100 кг. В основном они создаются частными компа-

ниями и университетами. Некоторые микро-спутники уже приносят доход создателям, но большинство выполняет экспериментальные и образовательные задачи. Мировая космонавтика еще учится эффективно их применять и оценивает возможности.

Смелый эксперимент затеяли в Японии — создать небольшой недорогой космический аппарат для проведения исследований в дальнем космосе.

Главное отличие межпланетного пространства от околоземного — в магнитном поле. Земное магнитное поле не только экранирует слабо- и среднеэнергичные потоки солнечного ветра, но и облегчает управление спутниками. Около Земли можно использовать магнитное поле, чтобы «опереться» на него для разворота спутника по нужной оси. Для этого на спутниках устанавливается трехосевая система магнитной ориентации на МИО — магнитных исполнительных органах. Для более точной ориентации, например при наведении антенны или телескопа и слежения за целью, используется другая система — двигателей-маховиков.

Когда двигатель-маховик раскручивается на максимальную скорость, он становится бесполезен, и его надо «разгрузить» — останавливать. Разгрузить маховик можно несколькими способами: малыми ракетными двигателями ориентации, разворотом спутника или теми самыми магнитными испол-



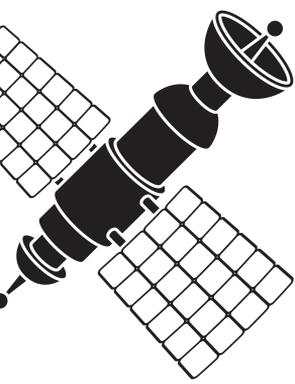
нительными органами. То есть магнитное поле Земли не только прикрывает спутники от потоков солнечных частиц, но и помогает экономить топливо на орбите и даже обходиться без него. Действие магнитного поля Земли распространяется примерно на 60 тысяч километров, а дальше уже — межпланетное пространство.

Гросуон разрабатывался в Университете Токио при поддержке Японского космического агентства и Японского института аэронавтики и космонавтики, плюс еще пять университетов и институтов участвовало при разработке различных компонентов и подготовке полета.

Запускался аппарат с космодрома Танегасима. Он набрал вторую космическую скорость вместе с возвращаемой автоматической космической станцией JAXA Hayabusa-2, которую послали за образцами астероидного вещества к астероиду (162173) Рюгу. Гросуон полетел к другому астероиду и не предполагал задерживаться у него или возвращаться.

Задача микроспутника состояла в съемке астероида с пролета. Дополнительная задача стояла в исследовании земной плазмосферы и геокороны ультрафиолетовым спектрометром LAICA.

Геокоорона — это облако водорода, которое окутывает Землю. Наблюдать ее можно



только со стороны и в ультрафиолетовом спектре. Ее снимали астронавты Apollo 16 и китайский модуль Chang'e 3.

Гросуон вывели на гелиоцентрическую орбиту, то есть он набрал вторую космическую скорость и стал вращаться вокруг Солнца. По программе он должен был пролететь один оборот, догнать Землю и провести маневр коррекции орбиты, чтобы отправиться уже к астероиду.

Астероид в качестве цели выбрали не простой, а со спутником. Такие бинарные астероиды довольно редки, и космические аппараты вблизи наблюдали только один — астероид Ида с маленьким спутником, который назвали Дактилем. Целью для Гросуон выбрали восьмисотметровый астероид 2000 DP107 и его пару. Этот астероид наблюдали только с Земли при помощи радаров.

Для достижения своей цели микроспутник оборудовали ионным двигателем, который питался от солнечных батарей и «выдувал» запасенный в углепластиковом баке газ — ксенон.

Для ориентации и разгрузки маховиков использовался тот же ксенон, который выдувался (уже без кавычек) через микродвигатели ориентации.

Связь с Землей предусматривалась в X-диапазоне с наземной станцией JAXA,

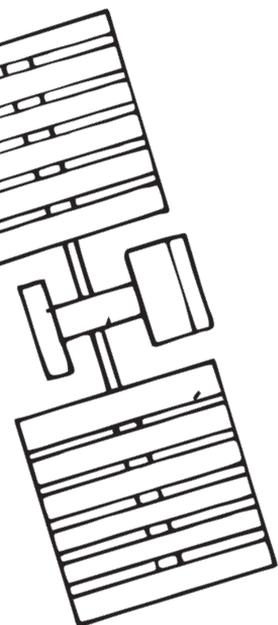


оборудованной 64-метровой антенной, и со станциями Deep Space Network NASA.

На первом этапе полета аппарат показал себя очень хорошо. Электроника работала стабильно. Тесты научных приборов показали их работоспособность. Молодые ученые смогли даже получить ультрафиолетовые снимки кометы 67P/Чурюмова-Герасименко и плазмосферы Земли. На нашу планету посмотрели с расстояния 630 тысяч километров, и оказалось, что геокорона распространяется на расстояние почти 250 тысяч километров, то есть Земля летит в облаке водорода, который постоянно улетучивается с нее.

Важный этап на пути к Земле — испытания ионного двигателя — тоже прошел успешно. Двигатель развивал тягу даже больше, чем ожидалось — 330 мкН вместо 250 мкН. Однако когда дело дошло до коррекции орбиты, двигатель отказал. По результатам оценки неисправности, пришли к выводу, что всему виной металлическая соринка, затаявшаяся между двумя контактами.

Итак, Roscosmos не смог улететь к астероиду, но сохранил работоспособность, поэтому принялся за наблюдения ближайшей доступной цели — Земли. Сближение с нашей планетой проходило в конце 2015 года, и студенты активно освещали процесс сближения на своей странице в Facebook. Хотя большого интереса у СМИ их достижения



не вызвали. Им удалось наблюдать систему Земли и Луны при помощи своего телескопа с расстояния в несколько миллионов километров.

Максимальное сближение с Землей должно было состояться 3 декабря 2015 года, на расстоянии примерно в 2,7 миллиона километров, и именно в этот день с аппаратом пропала связь. Разработчики пообещали в течение двух месяцев продолжать попытки вернуться к работе, но безуспешно. Поэтому сегодня полет Procyon можно считать завершенным, и теперь он сам превратился лишь в небольшой околоземный астероид, который продолжит вращение вокруг Солнца, периодически сближаясь с Землей. Падение нам на голову не грозит, даже если он и встретится с нашей планетой, то сгорит в плотных слоях атмосферы.

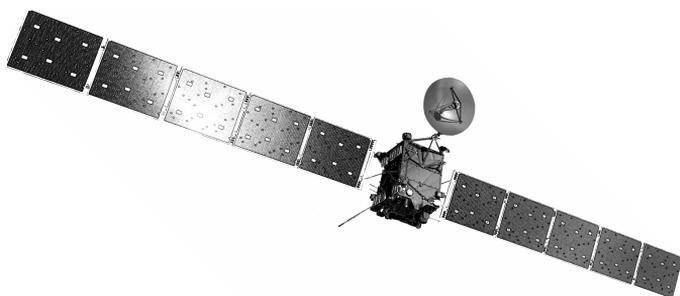
Несмотря на невыполненные задачи, Procyon нельзя назвать полной неудачей. Главную цель — подтвердить возможность эксплуатации межпланетных микроспутников — он доказал. Один год работы для такого проекта и бюджета всего около 5-ти миллионов долларов — это очень неплохой результат. Плюс ко всему, богатый опыт разработки, управления и эксплуатации межпланетной космической техники получили студенты нескольких японских университетов, и у них теперь есть готовые наработки, на основе которых можно создавать новые межпланетные микростанции.



6.2 ROSETTA: ДОЛГИЙ ПУТЬ НА РАБОТУ



Летом и осенью 2014 года в космосе состоялась кульминация одной из самых интересных исследовательских операций, сравнимых по значимости с посадкой марсохода Curiosity – реализация многолетней программы Rosetta. Этот космический аппарат стартовал в 2004 году и долгие десять лет летал во внутренней Солнечной системе, совершая корректировки и гравитационные маневры только для того, чтобы выйти на орбиту кометы (67P) Чурюмова-Герасименко. Rosetta должна была настигнуть комету, как следует изучить с расстояния и высадить спускаемый аппарат Philae. Тот провел свою часть исследований, чтобы совместно рассказать нам о кометах так много, как это только возможно в роботизированной миссии.



Rosetta

Комета Чурюмова-Герасименко не является каким-то уникальным космическим телом, требующим обязательного изучения. Наоборот, это обыкновенная короткопериодическая комета, возвращающаяся к Солнцу каждые 6,6 года. Она не улетает дальше орбиты Юпитера, зато ее траектория предсказуема и удачно подвернулась к стартовому окну космического аппарата. Ранее Rosetta планировалась для другой кометы, но неполадки с ракетой-носителем вынудили отложить запуск, поэтому цель изменилась.



Любопытный вопрос: почему к комете пришлось лететь целых десять лет, если она прилетает чаще? Причина этого — научная программа Rosetta. Все предыдущие миссии, начиная с американо-европейского ICE и советской «Веги» в 80-е, заканчивая аппаратом Stardust в 2011 году, предназначенного для исследования кометы 81P/Вильда, проходили на встречных или пролетных курсах с кометой. За тридцать лет ученые смогли сфотографировать вблизи кометное ядро; смогли скинуть на комету металлическую болванку, а через несколько лет взглянуть на результат падения; смогли даже привезти на Землю немного кометной пыли из хвоста кометы. Но чтобы провести рядом с ядром кометы достаточно длительное время и чтобы сесть на нее, простой встречи мало. Взаимная скорость кометы и зонда может достигать десятков и даже сотен километров в секунду, поэтому «в лоб» комету можно

только бомбить, ну или высадить на ней Брюса Уиллиса, чтобы он повторил свой подвиг из фильма «Армагедон».

Долгий путь позволил Rosetta занять орбиту, на которой комета догоняла космический аппарат, и ему оставалось только сравнивать скорости в нужный момент, а дальше следовать тем же курсом.

На борту трехтонного космического аппарата размещались 12 научных приборов для изучения температуры, состава, поверхности ядра и интенсивности испарения кометного хвоста. Радарный эксперимент предполагал сделать радарное «УЗИ» кометному ядру, чтобы определить ее внутреннюю структуру. Но наиболее интересные с точки зрения эффективности «картинки» ожидалась результаты от оптической камеры OSIRIS (Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System). Это вдвоенное фотоустройство, оборудованное двумя камерами с объективами 700 мм и 140 мм и CCD-матрицами 2048x2048 пикселей.



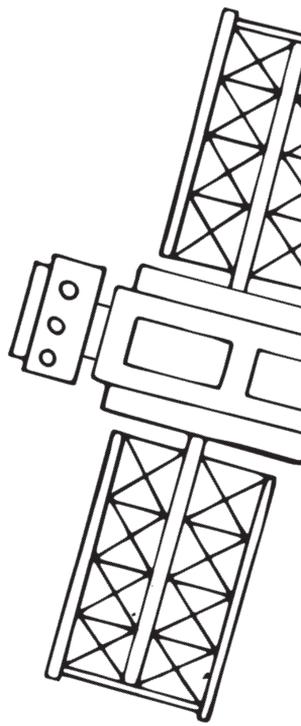
За то время, что Rosetta провела в пути, она не бездельничала, а реализовала исследовательскую программу, достойную нескольких самостоятельных миссий. Вообще она демонстрирует пример того, как полезно иметь космический аппарат, мечущийся туда-сюда по Солнечной системе с дальноточным фотоаппаратом.

Через полтора года после старта Rosetta издалека посмотрела на реализацию миссии NASA Deep Impact, созданной для изучения кометы Tempel 1. Удар импактора (ударного зонда) по комете Tempel 1 вызвал увеличение ее яркости, которое засекли датчики Rosetta.

Через два года Rosetta пролетела на близком расстоянии от Марса и провела наблюдения планеты в нескольких спектральных диапазонах. Даже бортовая камера спускаемого аппарата Philae сделала тестовый кадр.

После Марса Rosetta «уснула» чтобы проснуться через полтора года в 2008-м для съемки пролетающего на расстоянии 800 километров шестикилометрового астероида Штейнс. Правда, системный сбой помешал провести съемку астероида дальнобойной камерой, но широкоугольная позволила сделать снимки детализацией до 80 метров на пиксель и получить ценные данные об объекте.

Еще с Земли было определено, что астероид относится к спектральному классу E. Осмотр с близкого расстояния это подтвердил. Оказалось, Штейнс состоит из силикатов, бедных на железо, но богатых магнием, при этом некоторые минералы перенесли нагрев более 1000 градусов Цельсия. Наблюдения поверхности и особенностей вращения астероида смогли подтвердить на практике YORP-эффект. Этот эффект возникает



(точнее проявляется заметнее) у небольших астероидов неправильной формы. Неравномерный нагрев поверхности приводит к тому, что инфракрасное излучение нагретой части создает реактивную тягу, которая повышает скорость вращения астероида.

Любопытно, что исходя из теории YORP-эффекта, Штейнс должен был иметь форму двойного конуса, но большой ударный кратер на южном полюсе «сплюснул» астероид и придал ему форму «бриллианта». Этот же удар, похоже, расколол пополам космическое тело, при этом оно продолжает держаться за счет сил гравитации, хотя ученые рассмотрели признаки гигантской трещины, рассекающей Штейнс.



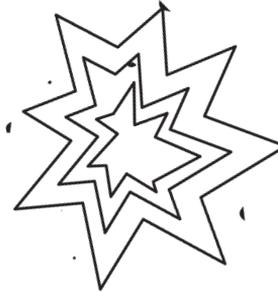
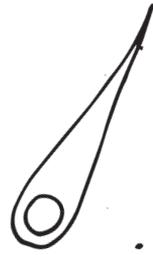
Весной 2010 года Rosetta позволила лучше идентифицировать кометоподобное тело P/2010 A2, обнаруженное в поясе астероидов. Эта «комета» наделала шуму в стане астрономов в 2010 году, когда оказалось, что она совсем не комета. Космическое тело рассмотрели одновременно с двух направлений космический телескоп Hubble и камеры Rosetta. Наблюдения, проведенные под разными углами, позволили определить, что перед нами не комета, а результат космического ДТП, когда в 150-метровый астероид врезался маленький обломок размером около метра.

Более интересной работа Rosetta в 2010 году стала при сближении с астероидом (21)

Лютеция. Это стокилометровый астероид, который осмотрела Rosetta с расстояния 3170 километров. На этот раз 700 мм камера сработала отлично, поэтому даже с такого расстояния получилось снять детали поверхности до 60 м на пиксель.

Лютеция — это весьма интересный и загадочный объект, исследование которого вызвало много вопросов. Ранее астрономы с Земли определили его спектральный класс как М — астероиды с большим количеством металлов, тогда как спектральные исследования Rosetta указывали скорее на класс С — темных углеродистых астероидов. Снимки поверхности позволили сделать вывод, что Лютеция на 3 километра покрыта толстым ковром раздробленного реголита, скрывающим коренные породы. Анализ массы позволил определить ее плотность: выше чем у каменных, но ниже чем у металлических астероидов, что тоже вводило в недоумение. В результате ученые решили, что перед нами одна из немногих оставшихся с момента зарождения Солнечной системы планетезималей — «зародышей планет».

Когда-то Лютеция начала процесс дифференциации вещества, переместив тяжелые металлические породы в центр и выведя легкие каменные — к поверхности. Однако она оказалась слишком далеко от орбит формирования каменных планет Солнечной системы и слишком близко к Юпитеру, чьи гравитационные возмущения не позволили



набрать нужную массу. Более того, считается, что раньше форма Лютеции приближалась к сфере, но многократные столкновения в поясе астероидов за 3,5 миллиардов лет обезобразили ее облик.

После осмотра Лютеции Rosetta снова уснула, чтобы проснуться только 20 января 2014 года, когда началась проверка оборудования. Никаких неполадок не было выявлено, что кажется фантастическим результатом для космического аппарата, прошедшего десять лет в открытом космосе и дважды пролетавшего через пояс астероидов.



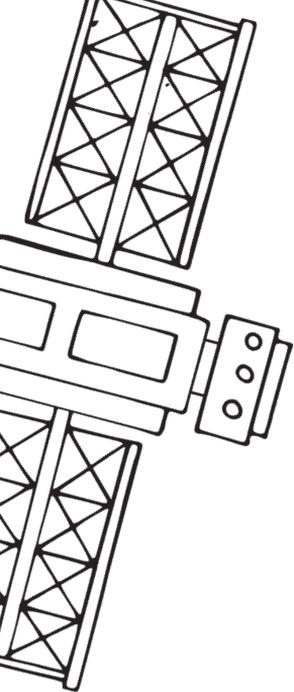
ROSETTA 2014: ПЕРВЫЙ ВЗГЛЯД НА КОМЕТУ В СРАВНЕНИИ С ПРЕД- ШЕСТВЕННИКАМИ

«Комета всего в 100 километрах».

Эти слова могли быть началом фильма-катастрофы, но нет – это репортаж со сближения зонда Rosetta с кометой 67P/Чурюмова-Герасименко. Европейское космическое агентство опубликовало снимки, которые показывали комету в беспрецедентно высоком качестве. Дело не в том, что у Rosetta какая-то особенная камера, а в том, что она приблизилась к ядру кометы так близко, как никто другой.

Единственное исключение – ударный зонд Smart Impactor в составе аппарата Deep Impact, который врезался в комету Tempel 1. Но у всех предыдущих космических аппаратов, пролетавших рядом с кометами, не было возможности осмотреть ядро со всех сторон, так как встречи происходили на встречных траекториях. Зонды проносились мимо ядра на скорости в десятки километров в секунды и успевали сделать всего несколько кадров.

Rosetta же фактически находилась на орбите кометы (точнее поддерживала вращение вокруг ядра при помощи своих двигателей из-за слабой гравитации кометного



ядра) и постепенно сокращала расстояние. То есть новые снимки покажут поверхность ядра в еще более высоком качестве, но их надо ждать.

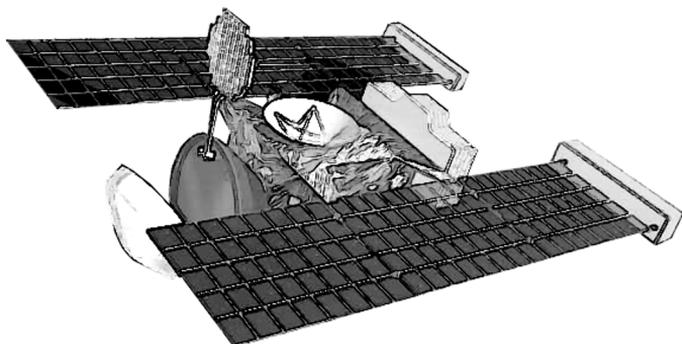
А чтобы понять, насколько съемка Rosetta превосходит предшественников, стоит сравнить с тем, что было ранее.

Первая встреча беспилотных космических аппаратов с кометой произошла в 1986 году, когда на встречу кометы Галлея отправилась целая группировка космических аппаратов: советские «Вега-1» и «Вега-2», японские Suisei и Sakigake, и европейский Giotto. Последний смог подобраться на максимально близкое расстояние в 596 километров и впервые снять ядро кометы, частично окутанное комой (комой называют атмосферу кометы).

Советская «Вега» тоже провела съемку, только в инфракрасном диапазоне, и расстояние было около 9 тысяч километров.

Далее эстафета в кометных исследованиях перешла к NASA. Следующим кометным исследователем стал малый экспериментальный зонд DeepSpace 1, встретивший в 2001 году комету Borrelly.

Дальнейшие миссии были с усложнением задачи. Операция Stardust в 2004 году реализовала задачу захвата кометной пыли и доставки ее на Землю. На это раз исследованию подвергли комету Wild 2.



Stardust

Следом полетел Deep Impact, который успешно провел бомбардировку кометы ударным зондом, проделав в ядре небольшой, но заметный кратер, который позже снял Stardust.

На падающем на комету ударном зонде была установлена камера, которая вела съемку по мере сближения, так достигли наивысшего разрешения кадров на тот момент. Это были самые качественные снимки поверхности ядра кометы до прибытия Rosetta.

После успешного столкновения зонд Deep Impact, запустивший ударник, был переименован в EROXI, и под этим именем смог рассмотреть комету Hartley 2.

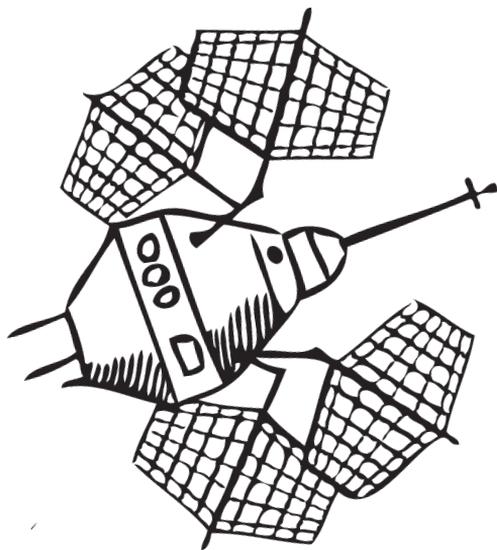
Любопытным фактом оказалось, что более половины комет демонстрируют двойную структуру ядра. Такую же структуру демонстрирует и комета 67P/Чурюмова-



Герасименко. Rosetta была призвана узнать причины такой формы кометных ядер, для чего ее оснастили радаром, который позволил бы сделать комете «УЗИ»: увидеть ее изнутри.

В дни сближения Rosetta с кометой 67P/Чурюмова-Герасименко мне удалось встретиться с одним из первооткрывателей кометы — Климом Ивановичем Чурюмовым и поздравить его с успешным началом исследований.

Он всю свою жизнь посвятил исследованию комет, а с 2004 года работал директором Киевского планетария и занимался популяризацией астрономии. Ещё в 1969 году вместе со своей аспиранткой Светланой Герасименко он открыл комету, к которой в 2014 году прибыл исследовательский зонд Rosetta. К.И. Чурюмов скончался в 2016 году, через две недели после жесткой посадки Rosetta на ядро кометы и прекращения программы исследований.





ROSETTA: КОМЕТА В ВОСЬМИ КИЛОМЕТРАХ

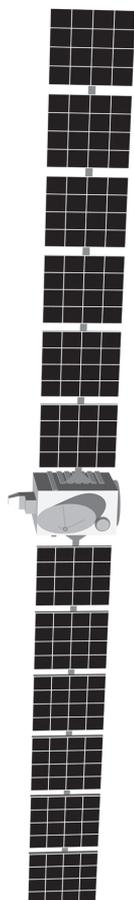
В октябре 2014 нам представилась уникальная возможность увидеть поверхность ядра кометы с расстояния 7,7 километра. В это время аппарат Rosetta, уже готовился к сбросу десантного модуля Philae.

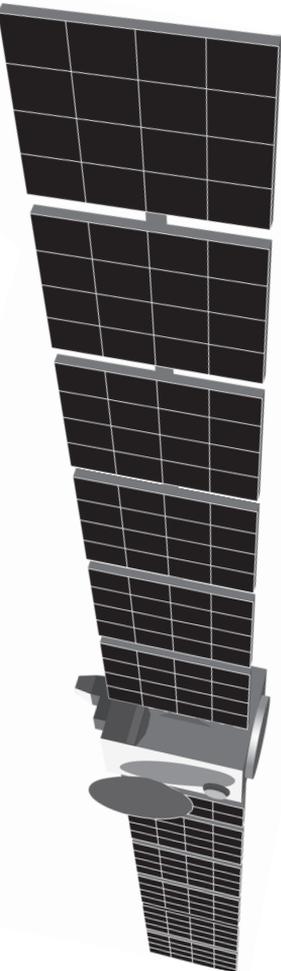
За месяц до этого Rosetta вышла на квази-орбиту вокруг ядра кометы 67P/Чурюмова-Герасименко. Орбита квази потому, что зонд вращается вокруг кометы, но гравитации не хватает для его захвата, поэтому Rosetta может спокойно маневрировать при помощи двигателей.

Во время полета Европейское космическое агентство (ESA) публиковало только снимки с черно-белых навигационных камер. Кадры более «дальнобойной» камеры OSIRIS ученые держали при себе из опасения, что кто-то сможет сделать открытия быстрее них. Полные материалы с Rosetta начали выкладывать только через год после начала научной работы.

Но даже навигационные камеры открывали шикарные пейзажи пятикилометрового куска льда и камня.

С навигационными камерами можно изучать комету очень подробно. Например, не-





которые обратили внимание на песчаные дюны, видимые на близких снимках. Сначала эти образования вызвали замешательство, ведь кома — большая, но разреженная, то есть фактически никакого ветра быть на поверхности не может. Но потом присмотрелись внимательнее и примерно в той же области обнаружили газовые джеты, которые бьют из тела кометы.

Судя по всему, эти потоки газа, который выделяется при нагревании ядра солнечными лучами, вырываются наружу с большой скоростью и увлекают пылинки и песчинки. Пыль улетает в космос, а мелкие песчинки уже слишком массивные, чтобы покинуть комету вместе с газом, и они выпадают, формируя дюны.

Еще ученые ESA решили наблюдать за крупным валуном, который рассмотрели на относительно ровной поверхности.

Его назвали Хеопс и опубликовали несколько фото под разными углами и с разного расстояния. Кажется, ученых привлекла его неоднородная структура. Похоже, что он включает в себя темные и светлые фрагменты.

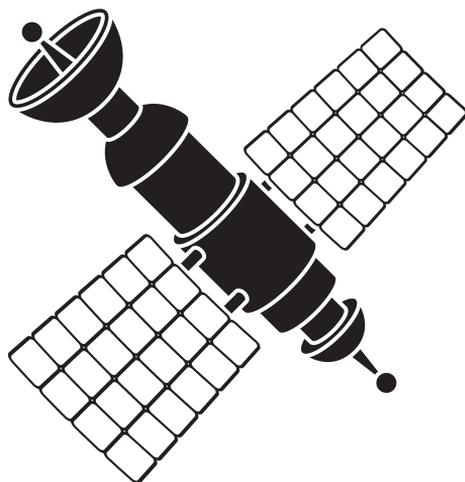
Кстати, о свете и тьме. На снимках Rosetta поверхность кометы представляется нам чем-то вроде поверхности Луны по отражающим свойствам — светло-серой или серебристой. На самом деле это не так, съемка

ведется с высокой светочувствительностью, и для нашего глаза комета была бы больше похожа на гигантский кусок угля, чем на серебристую громаду.

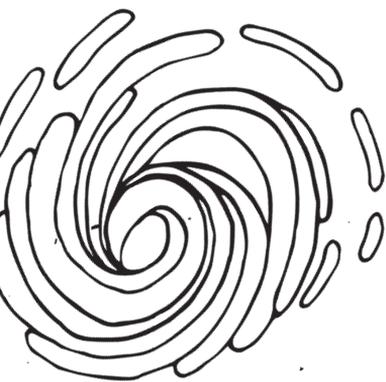
Специалисты ESA сделали поясняющую схему, которая позволяет сравнить степень отражающей способности различных тел Солнечной системы.

Самый блестящий объект в системе — ледяной спутник Сатурна Энцелад отражает 90% света, Земля — 30% света, Луна — 12%, а ядро кометы 67P/Чурюмова-Герасименко — всего 6%.

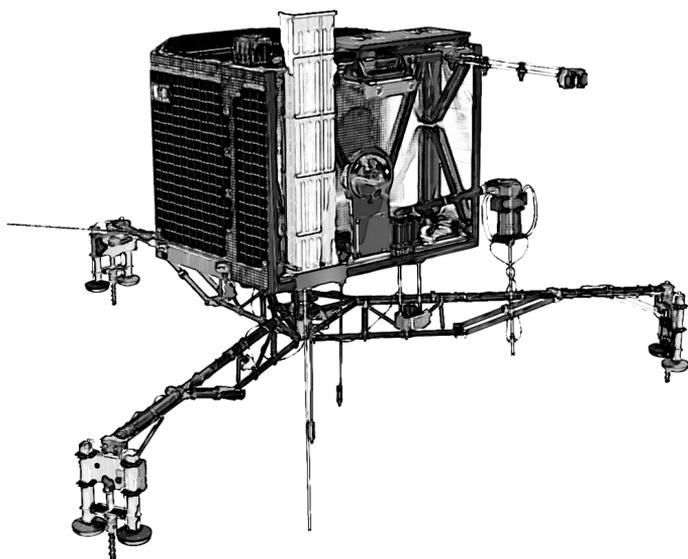
12 ноября началась самая захватывающая космическая операция 2014 года — посадка на комету. Комета и Rosetta неслись со скоростью 55 тысяч км/ч (15,2 км/с) в 250 миллионах километрах от Земли. И десантному модулю Philae предстояло сделать то, чего не совершалось еще в истории космонавтики.



PHILAE: ПОСАДКА НА КОМЕТУ



Самая сложная космическая операция 2014 года – высадка спускаемого модуля на поверхность кометы 67P/Чурюмова-Герасименко прошла, как минимум, с частичным успехом. Спускаемый аппарат Philae (в английском языке произносится как «Филэй», в русском «Филы», но мы же знаем, что малыша зовут Филя) находился на поверхности ядра кометы, стоял твердо на трех ногах, и все приборы, отработав исправно, получили первые данные и передали их на Землю.

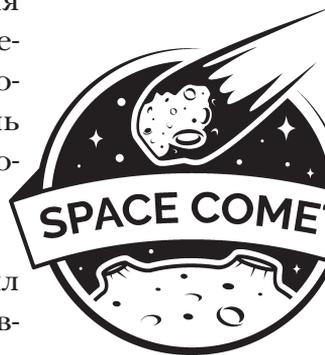


Philae

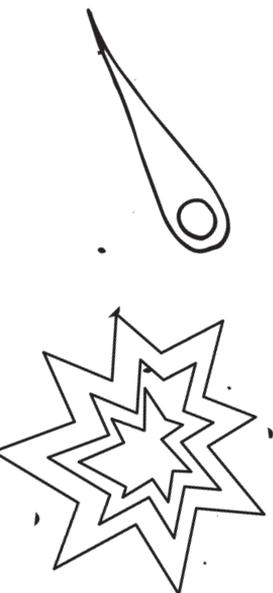
Посадка была небезупречной. С момента отделения Philae от станции-носителя Rosetta начались проблемы: сначала определили, что прижимные двигатели не работают. Эти двигатели должны были уберечь зонд от отскакивания при касании с поверхностью.

Стокилограммовый зонд у кометы весил около 5 граммов, скорость снижения составляла 1 м/с, скорость выхода на орбиту кометы — 0,5 м/с. Чтобы не улететь в открытый космос, ударившись о поверхность, Philae был оборудован еще двумя гарпунами. Но, как оказалось, они тоже не сработали. Зонд отскочил, пролетел около километра, «прикометился» еще раз, снова подскочил, и только третья посадка стала окончательной. На первом месте посадки повезло с рыхлым грунтом, который частично погасил кинетическую энергию аппарата. Поэтому посадка все же состоялась, но не туда, куда предполагали — место финальной остановки пока даже не было определено, был известен только примерный сектор: собирались сажать в приполярную равнину, а Philae отскочил к пересеченной местности, у края большого кратера.

Снова повезло в том, что, несмотря на прыжки, аппарат сел на все три ноги, не перевернувшись и не накренившись — работала система ориентации и стабилизации. Но рельеф местности оказался неудачным. Первый кадр поверхности натолкнул



на мысль о перевернутом зонде, но оказалось, что это отвесный утес. Его можно хорошо изучить на снимках. Утес отбрасывает тень на Philae, препятствуя подпитке аккумуляторов от солнечных батарей. То есть аппарату сложно будет вести длительные наблюдения и передавать данные.



Philae был оборудован двумя аккумуляторами: автономным и перезаряжаемым. Оба были «заправлены» перед отстыковкой, но длительная работа обеспечивалась благодаря второму. После посадки выяснилось, что солнце освещает солнечные батареи от полудня часов и менее — в двенадцатичасовые сутки кометы. Это самая большая сложность, которая поставила под угрозу всю спускаемую миссию.

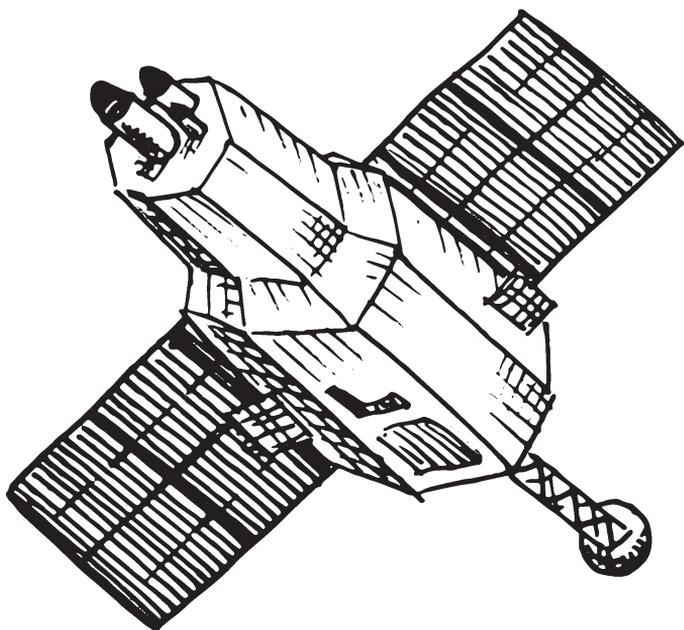
С Philae провели два сеанса связи по три часа. В первый сеанс загрузили плотную программу работы. Фактически за несколько часов, на которые хватало заряда аккумуляторов, требовалось отработать всем научным приборам, получить данные и передать их на Rosetta.

Во второй сеанс связи проверили состояние, получили новые снимки и остальные данные. Главная цель миссии была достигнута — по одному замеру провел каждый прибор: бур сумел провести забор грунта, образцы проверили на органику и изотопный состав газов, радар сумел провести «томографию» кометы. После того, как заряд ба-

тарей исчерпали до критической отметки, Philae отправили в гибернацию.

Следующие сеансы связи предполагались раз в сутки, но ученые лишь надеялись, что удастся набрать заряд за несколько дней. Судьба аппарата оставалась неизвестна, никто не мог даже гарантировать его пробуждение.

С другой стороны, ранее предполагалось, что аппарат на поверхности проработает 1–2 месяца, а потом интенсивное излучение приближающегося Солнца должно было убить Philae. Теперь появлялась надежда, что теневое положение зонда позволит работать ему значительно дольше, только с большими перерывами. Главное — чтобы проснулся...



ROSETTA И PHILAE: КОСМИЧЕСКАЯ ОРГАНИКА НА КОМЕ- ТАХ И НЕ ТОЛЬКО



Проработав около 60 часов, аппарат Philae успел провести предварительные исследования. Один из приборов сумел зарегистрировать органические соединения, о чем тогда написали в официальном пресс-релизе.

Это новость наделала шуму в СМИ, и появились вопросы вроде «Что, нашли-таки иноземную жизнь?»

Для того чтобы ответить на этот вопрос, начнем с истоков — что такое «органика».

В быту принято считать, что это что-то напрямую связанное с жизнедеятельностью организмов, то есть с жизнью, но в науке это понятие шире. Более того, в науке нет однозначного определения — что есть органика. Прежде всего, для органики необходим углерод. Он может создавать бесконечное множество соединений, и если в них участвуют атомы водорода, то такое вещество однозначно считается органическим. Но есть несколько соединений, которые не являются углеводородами, но тем не менее относятся к органике просто исторически, по традиции. Но мы продолжим разговор только об углеводородах, ведь именно их,

скорее всего, тогда и нашел газоанализатор COSAC на борту Philae на комете.

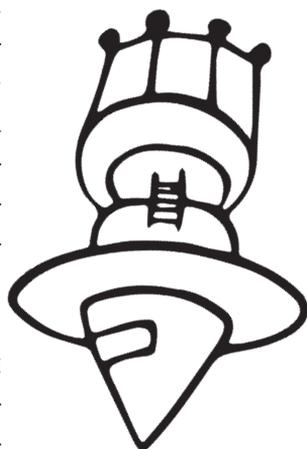
Вообще органика (углеводороды) на комете — это не новость. Более того, не новость и органика в метеоритах, которые падают на Землю.

Одно из самых простых органических соединений, которого в избытке в Солнечной системе — это метан. На Юпитере, к примеру, масса метана примерно равна массе всей планеты Земля. На спутнике Сатурна Титане его поменьше, но хватает для наполнения нескольких морей, рек и облаков, которые регулярно проливаются метановым дождем.

Только на Земле, как считается, большая часть метана имеет биогенное происхождение — результат жизнедеятельности микроорганизмов, разлагающих более сложные органические соединения. Считается так потому, что в нашей атмосфере слишком много кислорода, который окисляет метан.

На кометах тоже имеется метан — в составе тех летучих соединений, которые испаряются по мере приближения кометы к Солнцу. Регистрировали метан и на Марсе, но в таких ничтожных концентрациях, что пока не определились с его происхождением.

Но метан — это цветочки. В Солнечной системе летает органика и поинтереснее. Пер-

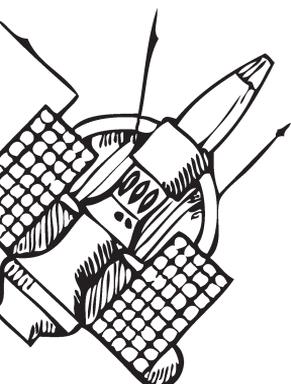


вые намеки на органические соединения в составе кометы были получены в 1986 году при исследовании кометы Галлея группой космических аппаратов, включавших в себя, в том числе советские «Веги».

Позже, в 1996 году, при дистанционном исследовании с Земли инфракрасными и радиотелескопами, у кометы С/1996В2 Нукатаке определили выделения метанола, метилцианида, цианида водорода, формальдегида, метана, этанола и этана.

Наконец, миссия Stardust смогла доставить частички кометной пыли на Землю. Как оказалось, комета 81P/Wild 2 была далеко не такой простой, как ожидалось. Результаты анализов добытой пыли привели к некоторому переосмыслению того, что такое вообще кометы. Ранее казалось, что кометы и астероиды — это обособленные тела, которые формировались различными путями в различных регионах протопланетного облака. Теперь же оказалось, что пылевые частицы комет практически идентичны составу углеродсодержащим метеоритам С-класса.

Эти же метеориты, особенно группы CI, CM, и CR, содержат в себе богатейший набор сложных органических соединений, в том числе пуриновые и пиримидиновые азотистые основания, которые в земных организмах являются структурными единицами хранения информации в РНК и ДНК. Ха-

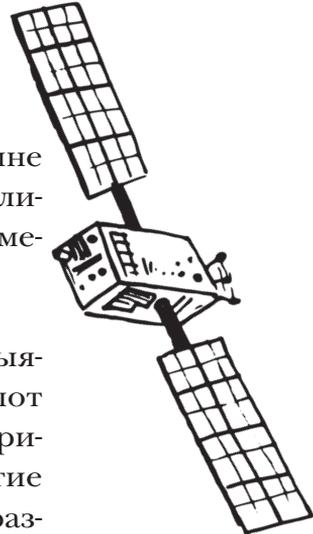


рактарно, что эти метеориты даже внешне походи на уголь, за что и называются «углистыми». Кометные ядра точно так же имеют очень темный цвет.

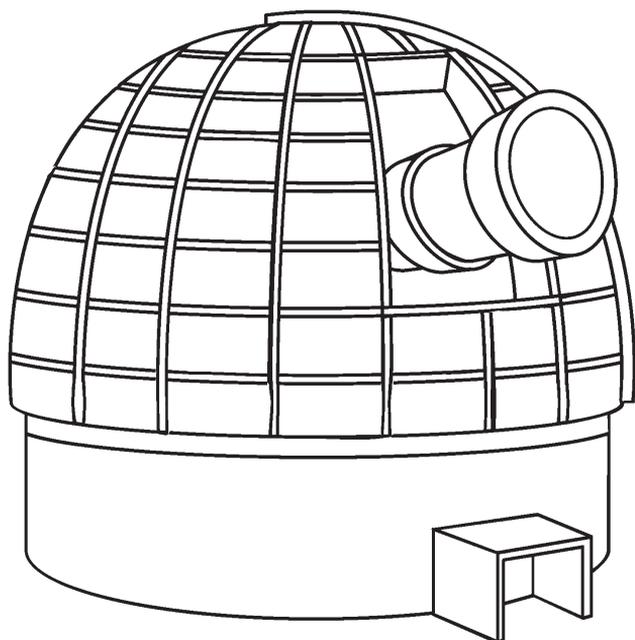
Исследование углистых метеоритов выявило целый спектр различных аминокислот и сложных органических соединений. Причем ученые подчеркивают, что их открытие не является результатом загрязнения образцов на Земле. Это было установлено по ряду факторов: некоторые найденные аминокислоты не формируются на Земле; метеориты, подобранные во льдах Антарктиды и в пустыне Австралии, не продемонстрировали разницы в содержании углеводов; изотопные соотношения легкого водорода и дейтерия в молекулах отличалось от земных типов.

Сегодня ученые приходят к выводу, что некоторые астероиды, которые обнаружены на данный момент в Солнечной системе, являются «спящими» кометами или ядрами комет, которые исчерпали запасы летучих соединений или затаили их глубоко под поверхностью.

Другой неожиданный факт, правда, не связанный напрямую с органикой, состоит в том, что как метеориты С-класса, так и частички кометной пыли содержат в себе минералы, которые формировались при высокой температуре свыше 1000 градусов Цельсия. Это никак не согласуется с ран-



ней гипотезой, что кометы формировались на окраине Солнечной системы в ходе конденсации газов. Поэтому-то интересна не только органика, а вообще все, что там нашел на 67P/Чурюмова-Герасименко малыш Philae, и как придется переписывать учебники после интерпретации полученных им данных.



PHILAE: ПРОЩАНИЕ

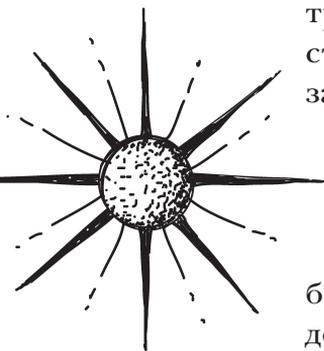
Philae Lander может претендовать на государственную премию за работу вопреки всем обстоятельствам. Пережив десятилетний перелет и аварийную посадку, он все же сумел героически выполнить свою задачу и провести исследование кометы, пока позволял заряд батарей. Летом 2015 года он всех удивил, вернувшись к жизни, но спустя год практически не осталось возможности повторить этот подвиг.

Автоматическая межпланетная станция Rosetta Европейского космического агентства (ESA), с посадочным аппаратом Philae отправилась в космос в 2004 году для исследования кометы 67P/Чурюмова-Герасименко. Летом 2014 года произошло сближение Rosetta и ядра кометы. Кроме исследования кометы с расстояния, миссия предполагала прямой контакт с ядром кометы. Посадку должен был совершить спускаемый модуль Philae Lander. Изучив комету с расстояния, ученые выбрали подходящее место для посадки. Это было равнинное место, названное Агилкия у Южного полюса кометы.

12 ноября 2014 года Philae успешно отстыковался от Rosetta и отправился на встречу с кометой. Траектория была выбрана безупречно, и ничто не предвещало проблем, но последние метры полета оказались аварийными.



Сила притяжения четырехкилометрового куска льда и пыли невысока, поэтому Philae был оборудован несколькими инструментами, которые должны были удерживать его на поверхности. В нескольких метрах от кометы аппарат должен был выстрелить специальные гарпуны, чтобы закрепиться в реголите.



Выстрела не произошло.

Коснувшись поверхности, Philae должен был включить ракетные двигатели, которые должны были «дуть» вверх и прижимать аппарат к комете.

Двигатели не сработали.

Во время работы двигателей, модуль должен был ввинтить в поверхность буры на своих ногах, чтобы надежно закрепиться на поверхности. Но без гарпунов и двигателей его ждала драматическая судьба, в которой буры оказались бесполезны. Philae повезло, что рыхлый грунт поглотил часть его кинетической энергии, и аппарат от первого удара не отбросило в космическое пространство. Зонд отскочил, пролетел несколько сот метров, снова отскочи и остановился в темной расщелине только после четвертого прыжка.

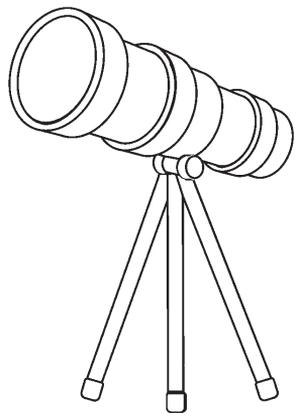
Финальное место посадки сильно отличалось от того, что готовили ранее. Фактически Philae застрял в трещине глубиной несколько метров. Никто не знал места его

фактической посадки. Результаты осмотра камерами с Rosetta и информация о выработке энергии солнечными батареями показали, что это довольно темное место. У ученых оставалось около двух-трех суток, чтобы реализовать весь научный потенциал Philae, задействовать все исследовательские приборы и инструменты, пока не исчерпается запас аккумуляторных батарей.

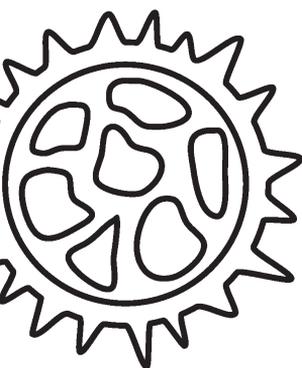
По словам ученых, за 64 часа работы Philae удалось реализовать на 80% свою научную программу. Philae сумел оценить твердость поверхности и измерить ее температуру пентрометром MUPUS, осмотреть поверхность камерами ROLIS, «просветить» ее георадаром CONSERT. Хроматографы Ptolemy и COSAC смогли «вдохнуть» газы кометы и изучить состав ее пыли. Более того, благодаря отскоку аппарата, удалось провести замеры некоторыми приборами в двух участках поверхности.

Что же смог узнать модуль?

Как в целом ранее и предполагалось, комета представляет собой смесь льда и пыли, причем довольно рыхлой консистенции. По данным радарного просвечивания ее пористость составляет 75-85%. При этом, поверхность непосредственно в месте посадки оказалась неожиданно твердой. Ударник не смог продвинуться глубже 3 сантиметров рыхлого грунта. Дальше ему путь преградил твердый лед.



Обнаруженные газы у поверхности ядра кометы показали богатый набор органических соединений: формальдегид, метилизотиоцианат, ацетон, пропиональдегид, ацетамид и еще 11 органических соединений, богатых на углерод и азот. Основу атмосферы составляли водяные пары, угарный и углекислый газы. Исследователи отмечают, что обнаруженные органические соединения участвуют в синтезе аминокислот, сахаров, нуклеотидов и азотистых оснований — то есть являются готовыми «кирпичиками» жизни. Это не доказывает, что где-то кроме Земли есть жизнь, скорее подтверждает гипотезы о том, что кометы играли не последнюю роль в формировании жизни на Земле и могли принести на планету органические «заготовки», из которых в конечном счете появились и мы. Так что, продолжая мысль Карла Сагана, мы состоим не только из звездного вещества, но и из кометного. Может быть, оттуда такая тяга к космическим полетам?

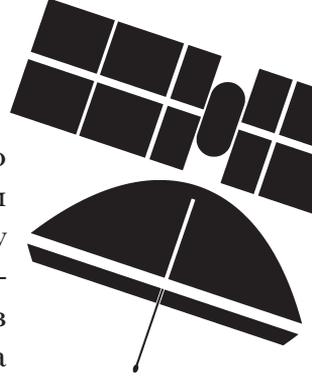


К сожалению, радарный инструмент CONSERT не успел установить происхождение двойной структуры кометы. Для полноценного исследования недр ядра сигналы предполагалось посылать на Rosetta, а та уже должна была курсировать с обратной стороны кометы и принимать передачу CONSERT. Из-за ограниченности рабочего времени удалось пройти «по верхам», не углубляясь дальше 100 метров в тело кометы.

По истечении 64 часов Philae уснул. То есть ушел в режим гибернации, в котором он пребывал и во время полета. Поначалу ученые давали весьма оптимистичные прогнозы по его пробуждению: сначала через неделю, потом через две, потом через два месяца. Но аппарат молчал. Комета приближалась к Солнцу, поэтому ожидалось, что солнечные батареи Philae будут получать больше энергии, и это позволит подзарядить аккумуляторы и вернуться к работе. По предварительной программе, если бы посадка удалась на равнину, к марту 2015 года палящие лучи Солнца привели бы к перегреву и выходу из строя аппарата. Но тень трещины берегла аппарат, хотя и не давала ему возможности вернуться к работе.

Летом 2015 года ученые решили повторить попытки выйти на связь. Прямой контакт Philae с Землей был невозможен, поэтому Rosetta выступала ретранслятором. И близкое Солнце вносило свои коррективы — поверхность кометы нагревалась, испарения возрастали, кома окутывала ядро и не позволяла Rosetta приближаться к поверхности. Поэтому орбитальному зонду приходилось лететь в сотне километров перед кометой.

В то же время солнечный свет давал шанс на восстановление работоспособности Philae. В любом случае, нельзя было просто включить передатчик и начать вещание. Зонд лежал в трещине, а его антенна упира-

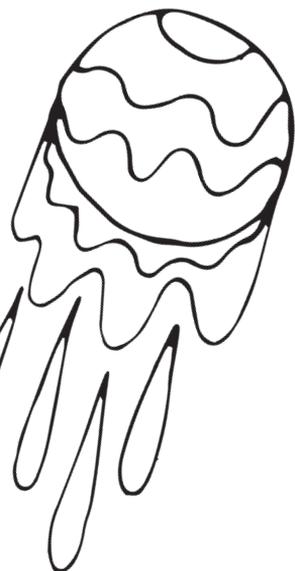


лась в стенку, вместо того, чтобы возвышаться над равниной, как предполагала первоначальная программа. Поэтому первое, что требовалось инженерам — найти оптимальную траекторию Rosetta, которая позволила бы ей эффективно обмениваться сигналами с Philae.

Это настоящий космический детектив!

В июне 2015 года Rosetta принялась передавать сигналы на комету, ожидая получить ответ от Philae. Предыдущие попытки в марте закончились неудачей, поэтому 11–12 июня пришлось собрать инженерную группу и обсудить перспективность новых попыток выйти на связь. И через день Philae ответил!

Пока мы радовались хорошим новостям, ученые и инженеры миссии пытались продиагностировать сидящий аппарат и оптимизировать траекторию летающего. Для возвращения к научной деятельности в нормальном режиме, требовалось принять объем телеметрических данных — записи сведений о состоянии Philae от момента его повторного включения и до момента установления связи. Включился он сам — за несколько месяцев до того, как с ним вышли на связь. В очереди стояло примерно 8 тысяч пакетов телеметрии, на передачу которых потребовалось бы 40 минут прямой связи. Проблема была в том, что первый сеанс связи длился



всего 78 секунд, второй сеанс — 4 минуты, третий — 19 минут. Но проблемы не заканчивались, и сеансы связи проходили с частыми сбоями, в результате, удавалось передавать ограниченное количество пакетов телеметрии.

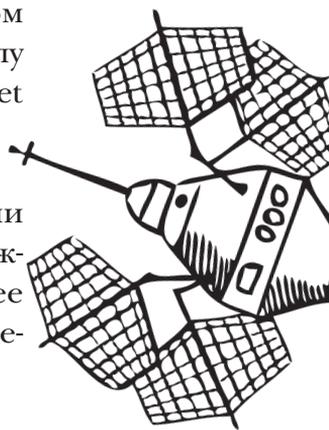
В то же время, принятые данные позволили определить, что первое пробуждение Philae состоялось еще 26 апреля, потом 5 и 6 мая, а потом уже 13 июня по сигналу с Rosetta. Счет на борту ведется в «Comet day», которые длятся 12,5 часов.

Данные с солнечных батарей позволяли установить интенсивность освещения каждой панели и помогали определить точнее расположение аппарата относительно стенок трещины.

Телеметрия за эти дни указывала на устойчивый рост бортовой температуры, что являлось показателем приближения к Солнцу. Это было хорошей новостью, так как глубокий мороз препятствовал работе аппарата.

С другой стороны, анализ двух бортовых радиоприемников показал, что один из них пережил короткое замыкание и вышел из строя.

Надежда оставалась на второй. В июне Rosetta провела несколько сеансов связи с Philae с расстояния 180-200 километров,

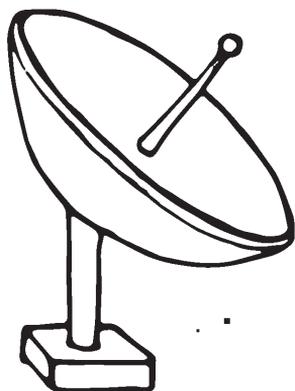


но ей так и не удалось найти оптимальный режим и траекторию для стабильного контакта. В июле комета еще ближе подлетела к Солнцу, и Rosetta была вынуждена держаться еще дальше от ядра, чтобы пыль не забила оптику камер и звездных датчиков. А Philae не отвечал.

Инженеры решили, что второй радиоприемник тоже закоротило. Это поставило бы крест на дальнейшей работе с аппаратом. Чтобы проверить, слышит ли Philae сигналы Rosetta, приняли решение использовать радар CONSERT. Идея была такова: если приемники еще работают, и аппарат в целом функционирует, то ему передадут команду задействовать георадар. Rosetta приняла бы сигналы радара, чем подтвердила бы, что Philae еще жив.

Команду отправили... И не получили ответа CONSERT. Зато сразу смогли восстановить связь с аппаратом на расстоянии 155 километров, то есть один радиоприемник все еще функционировал. Аппаратам удалось в течение 17 минут поддерживать стабильную связь. Инженеры скачали всю накопленную в очереди телеметрию, и, казалось, ничто не мешало продолжать научную работу.

Но у Rosetta была и своя научная программа. 25 июля ей предстояло перебраться другую траекторию для изучения противоположного полушария кометы, что ис-

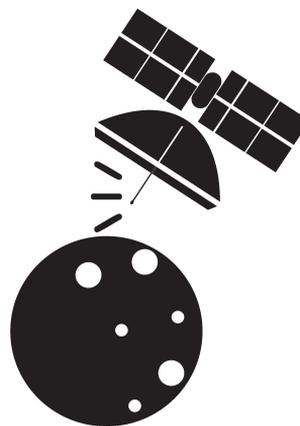


ключало возможность установления связи. 13 августа комета прошла ближайшую точку с Солнцем и стала постепенно отдаляться. Чуть позже Rosetta ушла от ядра кометы на 1,5 тысячу километров — держалась подальше от пыли и пыталась изучить ударную волну комы.

Всю осень 2015 года оставалась надежда связаться с Philae еще раз. По крайней мере, физические условия на комете не должны были препятствовать этому. Получить ответ пытались, пока комета 67P/Чурюмова-Герасименко не удалилась дальше орбиты Марса. На таком расстоянии от Солнца не осталось надежды на жизнеспособность Philae.

Rosetta кружила на близком расстоянии от ядра кометы и продолжала звать Philae. Причины молчания могли быть в неисправных радиопередатчиках, либо солнечные батареи покрылись пылью и утратили возможность обеспечивать энергией аппарат.

К концу 2015 года температурные условия в трещине, где застрял аппарат, были уже не совместимы с его работоспособностью, Rosetta постаралась спуститься до высоты 10 километров и провести съемку предполагаемого места посадки Philae. Снимок удался! Все смогли увидеть изделие человека на чуждом космическом теле. Однако, надежды на чудесное воскрешение уже не было.



Миссия Rosetta завершилась 30 сентября 2016 года жесткой посадкой на ядро кометы 67P/Чурюмова-Герасименко с отключением всех систем.

И многочисленным фанатам этой удивительной программы осталось сказать только: Good night, sweet princesses.





ЮПИТЕР

1. JUNO: ТАЙНАЯ ЖИЗНЬ ГИГАНТА



В июле 2016 года зонд NASA Juno успешно вышел на промежуточную орбиту вокруг планеты-гиганта Юпитера, и поэтому стоит узнать, что и как он изучает после начала научной работы.



Juno

Juno — далеко не первый исследователь Юпитера, но большинство зондов пролетало мимо и изучало планету лишь с пролетных траекторий.

Почти всегда гигант использовался для ускорения при гравитационных маневрах, и лишь в 90-е к нему прилетел аппарат NASA Galileo.

В отличие от Galileo, Juno полностью посвятила себя исследованию Юпитера и провела более тесные сближения и осмотр полярных областей.

Согласно распространенной шутке, Юнона (Juno), жена Юпитера, летит узнать, как он проводит время со своими любовницами и любовниками, имена которых даны многим спутникам планеты-гиганта. На самом деле миссия Juno не касается взаимоотношений Юпитера и его спутников, это исследование всецело посвящено самому гиганту.

Главная научная задача Juno — лучше узнать строение Юпитера. Это знание позволило бы больше узнать о процессах формирования газовых гигантов в Солнечной и других планетных системах.

Юпитер — уникальное тело для нашей системы — практически переходная форма от планеты к коричневому карлику. Всего под несколькими сотнями километров гелий-





водородно-аммиачной газовой атмосферы Юпитер наполнен морем жидкого водорода, на дне которого еще более экзотическое вещество — металлический водород. Огромное давление и температуры формируют условия, которые просто так невозможно даже представить на Земле, можно лишь провести математическое моделирование или получить миллиграммы подобного вещества в лаборатории. Как распределяются слои в недрах Юпитера, какие там процессы происходят, есть ли твердое ядро в самом центре? На эти вопросы должна была ответить Juno.

Взгляд в Большое красное пятно должен был позволить увидеть не только богатый внутренний мир Юпитера, но и лучше понять процессы формирования планетных систем и более экзотических объектов Вселенной: коричневых карликов. Чтобы стать коричневым карликом Юпитеру понадобится найти где-то еще дюжину своих близнецов, а чтобы дойти до состояния звезды — восемь десятков. Тем не менее, Юпитер — уже совсем не та планета земного типа, которые сейчас лучше всего изучены.

Juno оборудовали приборами, каждый из которых по-своему должен был извлечь знания из юпитерианских глубин.

Внешняя газовая оболочка — самая доступная для изучения, поэтому на нее бы-

ло нацелено больше всего приборов, но процессы, происходящие в юпитерианских облаках, должны были подсказать, что происходит глубже. Внешнюю атмосферу Юпитера доверили изучать двум спектрометрам: инфракрасному и ультрафиолетовому. Для «массового зрителя» установили отдельную камеру, которая снимает в видимом диапазоне, ее задача — радовать нас красивыми фото, пока она не умрет от радиации.

Инфракрасная камера должна увидеть тепловые потоки в атмосфере на глубине до 70 километров. Чтобы инфракрасные данные о Юпитере были полнее, планету заранее стали наблюдать при помощи наземных телескопов, в том числе европейского VLT.

В ультрафиолете должны были наблюдаться полярные сияния Юпитера. Сейчас этим занимается только телескоп Hubble.

Полярные сияния интересуют ученых не только с эстетической точки зрения. Магнитное поле Юпитера — самое сильное из планет Солнечной системы. Оно является причиной формирования самых мощных радиационных поясов, а хвост магнитосферы тянется на сотни миллионов километров аж до орбиты Сатурна. Природа образования магнитного поля таится в глубинах Юпитера и связана с токами в жидком металлическом водороде во внешнем ядре



планеты-гиганта, поэтому изучение магнитного поля и радиационных поясов — еще одна важная задача Juno.

Например, уже сейчас известно, что у Юпитера, так же как и у Земли, географический полюс не совпадает с магнитным.

В отличие от Земли, у Юпитера есть свой собственный источник заряженных частиц, который наполняет радиационные пояса. У нас приходится ждать солнечной вспышки, чтобы увидеть полярные сияния, а Юпитеру достаточно очередного крупного извержения на ближайшем крупном спутнике Ио. А поскольку Ио бурлит всегда, то и фейерверки на полюсах Юпитера не редкость.



Вулканы Ио выбрасывают пыль и газы, атомы которых ионизируются солнечным ультрафиолетом и пополняют магнитосферу Юпитера, становясь большой проблемой для космических аппаратов и возможных будущих покорителей Европы.

Для изучения заряженных частиц и плазмы Juno оснастили двумя датчиками низкоэнергичных и высокоэнергичных частиц. Специальная антенна призвана изучать радиоволны, которые создаются полярными сияниями и грозами.

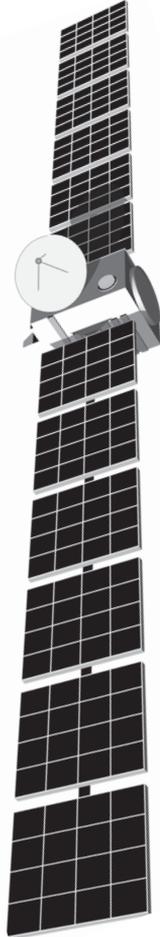
Задачей магнитометра стало картографирование магнитного поля, расположенного

на одном из «крыльев» космического аппарата. Этот прибор очень чувствителен к изменениям магнитного поля, поэтому его постарались вынести как можно дальше от электрооборудования Juno.

Для повышения точности показаний, магнитометр оснастили звездными датчиками, которые должны определять положение прибора, ориентируясь по звездам. Когда Juno пролетала мимо Земли, звездные датчики удалось протестировать и одновременно использовать в качестве видеокамеры.

Взгляд в самое нутро атмосферы Юпитера аппарат Juno должен был произвести при помощи микроволнового радиометра, позволяющего наблюдать тепловые потоки на глубине до 600 километров.

Наконец, пожалуй, одно из самых важных исследований планировали провести путем регистрации отклонений в гравитационном поле планеты. Результатом должно было стать понимание строения Юпитера, распределения слоев, уточнение массы его ядра и более точное понимание его состава. Как ни странно, для этих целей на аппарат не установили отдельного прибора. Анализ планировали производить по радиосигналу: неоднородности гравитационного поля на ничтожные доли процента должны были менять скорость космического аппарата, и эти отклонения бы определялись



на Земле по эффекту Доплера, который смог бы удлинить или укорачивать волну радиосигнала Juno.

К февралю 2018 года, миссия Juno должна была завершиться путем сведения аппарата в плотные слои атмосферы планеты-гиганта.

Такое бесследное уничтожение аппарата предусмотрено, чтобы избежать опасности заражения земными микроорганизмами поверхности спутников Юпитера, прежде всего Европы, где надеялись найти собственную жизнь.

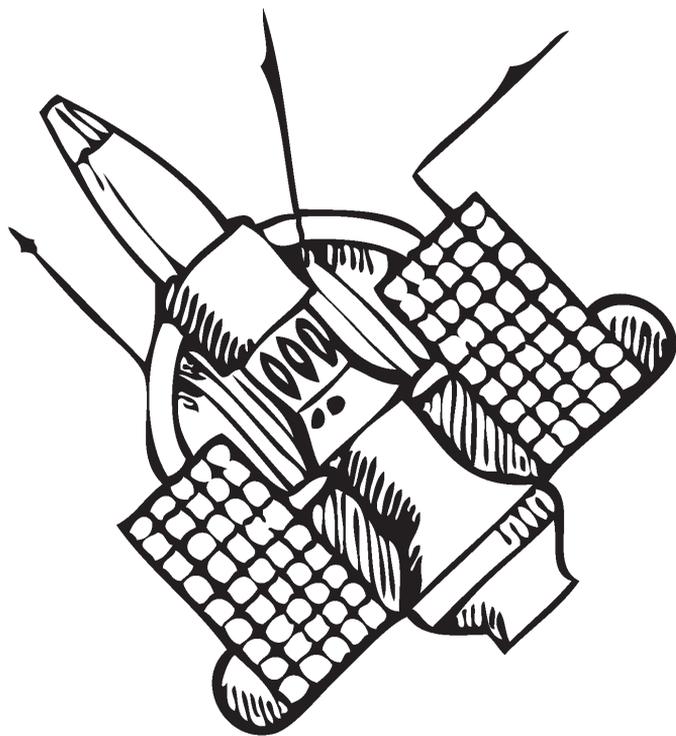
Во время работы Juno на Юпитер должен был упасть очередной крупный астероид, и это событие планировалось исследовать всем инструментарием. Как показывают наземные наблюдения, такие столкновения для Юпитера не редки, хотя предшественнику Juno, зонду Galileo, в 90-е повезло еще больше — он смог наблюдать падение кометы Шумейкеров-Леви 9 в 1994 году.



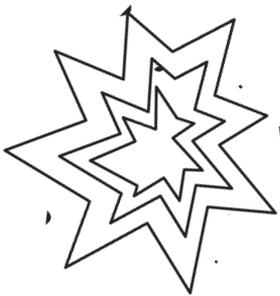
Любопытно, что до сих пор в верхней атмосфере Юпитера наблюдается повышенное содержание воды в тех регионах, куда произошло падение фрагментов кометы. Это открытие было сделано инфракрасным телескопом Herschel, и Juno тоже попытался оценить запасы воды.

Глава первоначально подготовлена для научно-популярного портала «Чердак», и опубликована под названием «Тайная жизнь гигантов».

Страница: https://chr.dk.ru/sci/juno_mission



7.2 JUNO: ЧТО У БОГА ПОД ОДЕЖДОЙ



Автоматическая межпланетная станция NASA Juno проработала на орбите у планеты-гиганта Юпитера два года. Несмотря на технические проблемы, станция собрала немало интересных данных, снимала изобилие красочных фото и значительно приблизилась к целям своего исследования – узнать, что скрывается в облачных недрах самой большой планеты Солнечной системы.

Благодаря новой орбите, позволяющей тесные сближения и осмотр издалека, Juno получает уникальную информацию.

В отличие от большинства дальних космических станций, Juno оборудована солнечными батареями, которые раскинулись на огромную площадь 64 кв м. На расстоянии Юпитера поступление энергии от Солнца составляет примерно 4% от земного уровня, поэтому солнечные батареи Juno вырабатывают примерно столько энергии, сколько выдаст обычная земная солнечная батарея для дачи площадью 3 кв м. Такое решение было вынужденным, так как у NASA закончился плутоний-238, который использовали для радиоизотопных термоэлектрических генераторов. Последние запасы изотопа, в 90-е годы купленные в Рос-

сии, ездят по Марсу в составе марсохода Curiosity и полетели ко внешним пределам Солнечной системы в зонде New Horizons. Сейчас NASA возобновило производство плутония-238, но временно перешло на солнечную энергию.

Juno находится на вытянутой орбите вокруг Юпитера. Ближайшая точка полета над облачным слоем планеты-гиганта проходит на высоте 4200 километров, а дальняя — на расстоянии 8 миллионов километров. Полный облет станция совершает за 53,5 земных дня. Предварительный план полета предполагал сокращение эллипса орбиты до расстояния от 4200 километров до 3 миллионов километров. План пришлось менять, когда Juno столкнулась с техническими проблемами. Заело два клапана на гелиевых баках наддува топливных баков. Двигатель не смог выполнить маневр торможения и понижения орбиты, поэтому пришлось оставаться на переходной. Благодаря новой орбите стало возможным продление миссии аппарата, так как на ней меньше воздействие радиационных поясов планеты, и бортовая электроника с научными приборами прослужит дольше. В начале июня 2018 года ученые продлили научную деятельность Juno до 2021 года, а чиновники выделили на это средства.

С лета 2016 года до мая 2018-го Juno совершила двенадцать оборотов по своей орбите и смогла передать новые данные о распре-

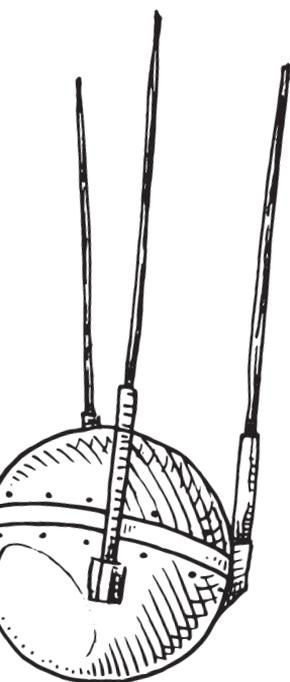


делении атмосферных слоев планеты, проникнуть под облачное покрывало полюсов Юпитера, открыть новый радиационный пояс и узнать о неожиданной связи недр гиганта с его магнитным полем. Все желающие имеют доступ к архиву снимков цветной камеры Juno (www.missionjuno.swgi.edu/junoscam), и энтузиасты самостоятельно занимаются их обработкой, создавая настоящие художественные полотна.

Наиболее эффектные картины тайфунов в инфракрасном диапазоне получились у полюса Юпитера. Один центральный полярный тайфун планеты окружен восемью другими стабильными тайфунами, причем они плохо заметны при взгляде «невооруженным глазом» и находятся на глубине.

Юпитер — не единственная планета Солнечной системе с постоянными атмосферными структурами на полюсе. Венера обладает парой тайфунов, которую тоже рассмотрели на облачной глубине в инфракрасном диапазоне. Полюс Сатурна украшает правильный шестиугольник, и хотя точно не установлены причины его возникновения, но экспериментально подтверждена возможность формирования шести тайфунов вокруг одного центрального.

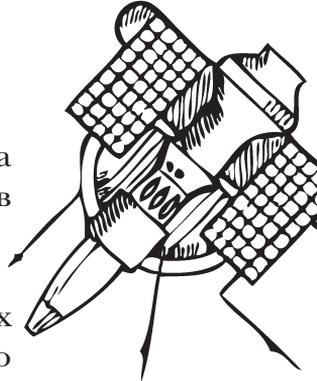
Принес Юпитер сюрпризы и у более изученного экватора. Оказалось, что светлая экваториальная полоса — это поток аммиака, который поднимается из более глубокого слоя.



Ранее считалось, что верхняя атмосфера планеты-гиганта на глубину до 100 километров однородна, теперь же ясно, что это не так.

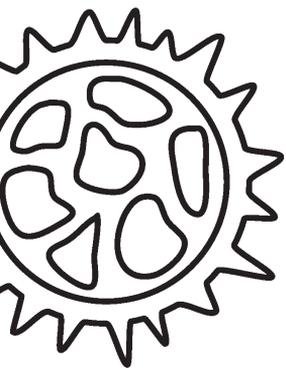
Происхождение коричневых и оранжевых оттенков в атмосфере пока неизвестно, по одной из гипотез — это углеводороды, которые меняют свой цвет под воздействием солнечного ультрафиолета. Другое возможное соединение — гидросульфид аммония, желтоватая соль на основе азота, серы и водорода. Белые облака — это кристаллы аммиака. Скорость движения встречных потоков ветра достигает 360 км/ч.

Знаменитое Большое Красное пятно Юпитера — это крупный антициклонный шторм, который возникает на стыке встречных атмосферных потоков в южном полушарии, поднимается на восемь километров выше окружающих облаков и уходит в недра планеты на глубину до 300 километров. Красное пятно имеет около 16 тысяч километров в поперечнике, то есть больше диаметра Земли. Оно наблюдается более 200 лет и за это время приобрело более темно-оранжевый цвет, и сократило свои размеры вдвое, постепенно уменьшаясь и сегодня. По краю Красного пятна дуют ветры на скоростях до 430 км/ч, но внутри движение медленнее. Причины возникновения и длительной стабильности Большого красного пятна Юпитера неизвестны, возможно, это как-то связано с неоднородностью магнитного поля планеты.



Магнитное поле Юпитера сложнее в северном полушарии планеты, где между экватором и полюсом наблюдается обширная область высокой напряженности магнитного поля, которая падает к северному полюсу. Южнее экватора магнитное поле также имеет неоднородности, в том числе в районе Красного пятна. Как считается, магнитное поле возникает от токов, протекающих во внешнем ядре Юпитера, состоящего из жидкого «металлического» водорода, который формируется в условиях высокого давления на глубине ниже 15 тысяч километров.

Магнитное поле планеты-гиганта, взаимодействуя с солнечным ветром, а также плазмой и заряженными частицами, которые выбрасываются с естественных спутников, формирует мощные радиационные пояса. Радиационные пояса Земли пополняются в основном от Солнца, у Юпитера же главный источник ионизирующего излучения — выбросы газов с Ио и других больших спутников: Европы, Ганимеда, Каллисто. Ио располагается ближе всех к Юпитеру и является самым вулканически активным телом в Солнечной системе: постоянно там извергаются десятки вулканов, и Juno смогла увидеть их в инфракрасном диапазоне.



Пролетая на близком расстоянии от облачной поверхности Юпитера, Juno смогла уточнить характеристики известных радиационных поясов и даже обнаружить новый. Три луны планеты-гиганта вращаются вну-

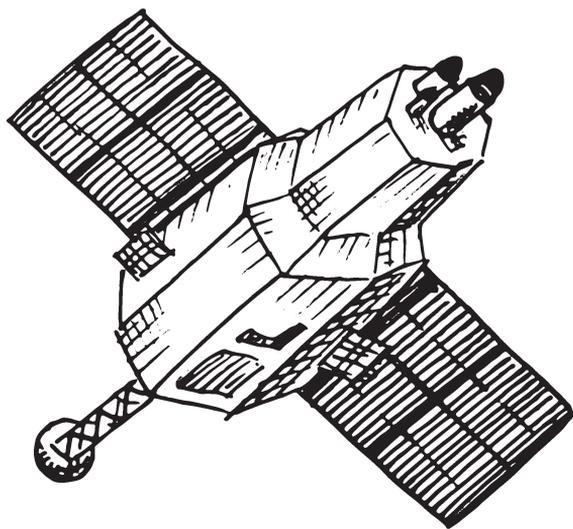
три радиационных поясов, которые представляют угрозу для электроники и будущих покорителей космоса. Электроны и тяжелые заряженные частицы: протоны, ионы различных газов, обладающие высокой энергией и скоростью, вращаются вокруг планеты на расстояниях до 1 миллиона километров. Оказалось, и на близком расстоянии от планеты в плоскости экватора имеется радиационный пояс, наполненный ионами водорода, кислорода и серы, которые движутся на скоростях близких к скорости света. Ближе к полюсам ожидалась встреча с элементами радиационного пояса, наполненного легкими и быстрыми электронами. Но и там Juno зарегистрировала наличие тяжелых заряженных частиц, которые создают большой шум в приборах.



Хотя Юпитер — газовый гигант и не имеет твердой поверхности, он далеко не весь наполнен облачными вихрями. Так называемый «погодный слой» Юпитера, который демонстрирует эффекты атмосферной динамики, простирается вглубь примерно на 3 тысячи километров. Дальше высокое давление и температура превращает основной компонент атмосферы планеты-гиганта — водород — в электропроводящую жидкость. Благодаря электропроводности, жидкий «океан» Юпитера попадает в зависимость от мощного магнитного поля планеты, и ветер «погодного слоя» уже не властен над ним. Глубже 3 тысяч километров планета ведет себя как твердое тело, что установле-

но при помощи анализа гравитационного поля. Предполагается, что у Сатурна облачный «погодный слой» должен быть еще толще, а у коричневых карликов, которые тоже родственны Юпитеру, — наоборот тоньше.

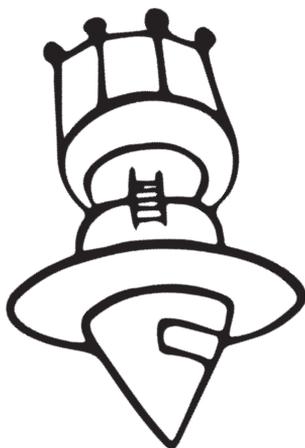
Исследование Юпитера продолжается. Пока не обработаны все накопленные Juno данные, и миссия идет полным ходом, поэтому впереди новые открытия, разгадки и новые тайны из недр самой большой планеты Солнечной системы.



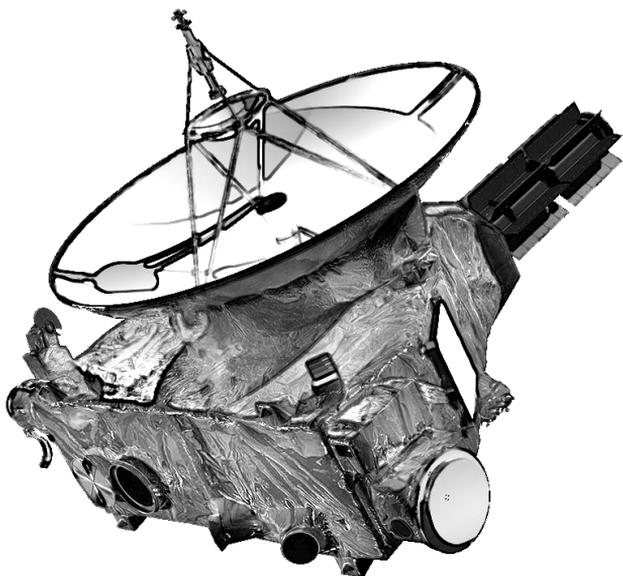


ΠΛΥΤΟΗ

1. 8. NEW HORIZONS: СВИДАНИЕ С ПЛУТОНОМ



14 июля происходила самая важная встреча 2015 года, а может и всего десятилетия. Космический аппарат NASA New Horizons находился в самой активной фазе своей миссии – встречи с Плутоном и изучении этой карликовой планеты с ее окрестностями. Космический аппарат за сутки промчался через систему Плутона и его спутников, собрал несколько гигабайт научных данных и улетел дальше – в пояс Койпера, облако Оорта и к другим звездам.

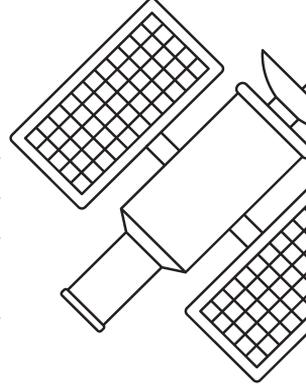


New Horizons

История Плутона началась еще до его открытия. В 40-е гг XIX в. ученые определили, что за орбитой Урана есть другие планеты. На это указывали его особенности орбитального вращения. В результате, почти сразу открыли Нептун, но поведение Урана указывало на то, что должен быть еще один возмутитель гравитационного спокойствия. Когда, наконец, в 1930 г. нашелся Плутон, ученые решили – вот оно! Очередной триумф науки. Правда, по первоначальным прикидкам выходило, что найденная планета должна быть никак не меньше Юпитера.

На протяжении всего XX в. масса Плутона пересчитывалась в сторону уменьшения, пока, наконец, ученые не пришли к выводу, что Плутон никакого отношения к поведению Урана не имеет. В конце прошлого века возможности астрономической техники позволили открыть целое семейство транснептуновых объектов. Большинство занептуновых тел оказались астероидами и кометами, которые наполняют пояс Койпера. Но некоторые тела оказались не многим меньше самого Плутона, поэтому у астрономов возникла проблема: объявлять ли их планетами или лишить этого звания Плутон?

В 2006 году вопрос решился не в пользу Плутона. С тех пор правильный ответ на вопрос «Сколько планет в Солнечной системе?» таков: «восемь планет и пять карликовых планет».



После «разжалования» интерес к Плутону только возрос. Он все еще остается самым крупным телом в поясе Койпера, и, кроме всего прочего, он вместе со своим спутником Хароном представляет собой уникальное в Солнечной системе тело — двойную планету. Ближайшая аналогия такой системы — Земля и Луна. На третьем месте — Солнце и Юпитер. Дело в соотношении масс основного тела и спутника. Фактически, Харон не вращается вокруг Плутона, а оба они вращаются вокруг точки пространства между ними, которая является центром их масс.



Физику такого вращения можно представить, наблюдая за метателем молота перед броском.

У Земли и Луны тоже имеется такой общий центр масс, но он не выходит за пределы Земли, поэтому мы не считаемся двойной планетной системой. Хотя астрономы пока так и не договорились о том, что считать двойной планетой.

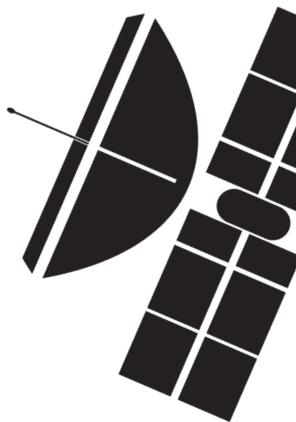
В январе 2006 года к Плутону стартовала миссия New Horizons. Ее создатели стремились максимально сократить время достижения карликовой планеты, поэтому сделали относительно маленький и легкий аппарат около 650 килограмм (и стоимостью около 650 миллионов долларов), который сильно разогнали у Земли. На торможение топливо просто не предусматривалось, поэтому изу-

чение Плутона предполагалось с пролета по прямолинейной траектории.

Причин такого решения несколько. Задачу выхода на орбиту можно решить различными путями, которые потребуют гораздо больше времени, увеличения массы аппарата, дополнительных средств на его разработку и управление. Плутон слишком легкий, чтобы его гравитация помогала выходу на орбиту, а атмосфера ничтожна, чтобы пытаться использовать ее для торможения. Ключевым параметром остается время полета. Можно было загрузить побольше топлива и разгонять не так быстро, используя экономичные траектории и гравитационные маневры, как, например, летела Rosetta или Juno. Но это потребовало бы намного больше времени.

Можно понять ученых, которые хотели поскорее увидеть далекий Плутон, но, мне кажется, девятилетний полет был удобен и чиновникам, распределявшим бюджет. Было бы гораздо сложнее объяснить им перспективность миссии, которая даст результат только через двадцать лет, когда большинство утвердивших ее людей уйдет, как минимум, на пенсию.

Несмотря на прямолинейность траектории New Horizons, из его полета удалось выжать дополнительную научную информацию — изучить систему Юпитера через год после старта (для сравнения: Juno, исполь-



зую экономичные орбиты, добирался до Юпитера 5 лет). New Horizons пронесся на расстоянии 2,3 миллиона километров от планеты-гиганта и провел тренировку будущей основной работы у Плутона.

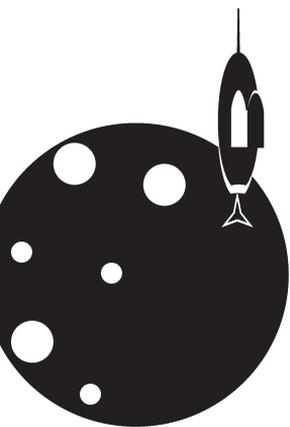
Особенно удачно получились упражнения со спутником Юпитера Ио. По многим параметрам он похож на Плутон, поэтому ему уделялось особое внимание.

Съемка «дальнобойной» камерой LORRI показала феноменальную картину извержения гигантского вулкана.

Вулкан Тваштар выбрасывает лаву на 300 километров. Но он там такой не один. Наблюдение теневой стороны Ио с длинной выдержкой тремя оптическими приборами New Horizons показало множество горячих пятен, выдающих необычайную геологическую активность спутника Юпитера.

Вулканическая активность Ио — результат гравитационного взаимодействия с Юпитером. Возможно, похожие процессы происходили и между Плутоном и Хароном, так что, недра карликовой планеты тоже могут быть разогреты, а на коре могут быть обнаружены прорывы горячих гейзеров. Если бы они были на Плутоне, то инфракрасные камеры их нашли бы.

Про оптические приборы New Horizons надо сказать отдельно. Главный его калибр —

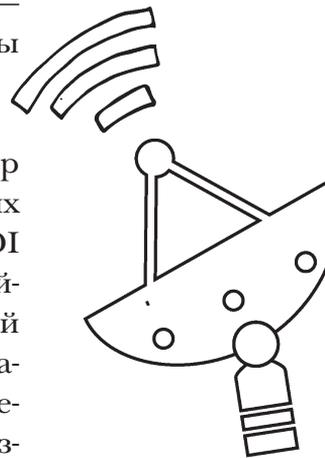


LORRI — это зеркальный телескоп схемы Ричи-Кретьена с диаметром главного зеркала в 20,8 см и фокусным расстоянием в 2630 мм. Поле его зрения 0,29 градуса — это значит, что он увидел бы только 1/2 Луны, если бы посмотрел с Земли. Камера LORRI оборудована одномогапиксельной CCD панхроматической матрицей. Наилучшее разрешение на поверхности Плутона, полученное этой камерой, составляет чуть более 100 м на пиксель.

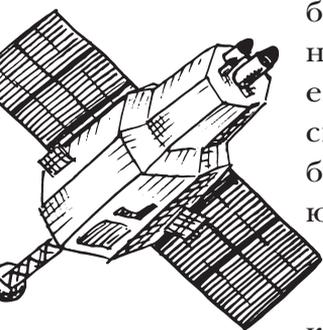
Второе устройство Ralph представляет собой, фактически, два прибора, использующие один телескоп. Фокусное расстояние Ralph в четыре раза меньше LORRI, поэтому и все видимые объекты получают хуже качеством в сравнении с «дальнобойной камерой». Зато широта видимого поля больше в 20 раз (5,7 градуса). К тому же, Ralph — это не камера, так как вместо матрицы используются сканирующие линейки.

Цветным сканером является прибор MVIC, который имеет семь сканирующих линеек, выполненных по технологии TDI CCD. Четыре цветных сканирующих линейки видят инфракрасный, красный, синий цвета, и свечение метана в ближнем инфракрасном диапазоне. То есть простым сложением полученных снимков невозможно создать изображение в видимом диапазоне.

LEISA имеет теллурид-кадмиево-ртутный инфракрасный датчик, на котором размещено 256x256 чувствительных элементов.



Элементы расположены в линии по 256 штук и работают в режиме пуш-брум, то есть каждая линия датчика воспринимает свою длину инфракрасной волны (свой отдельный цвет). Это делает LEISA инфракрасным гиперспектрометром, так как он видит в большом спектральном разрешении. Такие возможности позволяют провести качественное геологическое сканирование Плутона и определить породы, из которых сложена кора карликовой планеты.



После пролета Юпитера New Horizons был отправлен в гибернацию для сохранения ресурсов оборудования. Лишь изредка его пробуждали для перепроверки работоспособности и техобслуживания. Иногда будили его и для работы: снимать пролетающие в отдалении астероиды или Нептун.

В 2015 году наступила пора возвращаться к активной работе. Уже с января New Horizons приступил к съемке системы Плутона и Харона, но его разрешающая способность еще не дотягивала до возможностей космического телескопа Hubble. С этого околоземного телескопа еще в 2012 году открыли последний из известных пяти спутников Плутона, но ученые не оставляли надежды обнаружить еще спутники или кольца. Показательно, что стартовал New Horizons, когда у Плутона знали только три спутника.

5 мая 2015 года оптические возможности камеры LORRI сравнивались с возможностя-

ми Hubble, и с этого момента научная значимость New Horizons стала расти. Практически каждый новый снимок позволял уверенно говорить «этого мы не видели ранее». Хотя, на первый взгляд снимки так и оставались малоразличимыми. Только сократив расстояние в несколько раз, New Horizons стал радовать новыми подробностями.

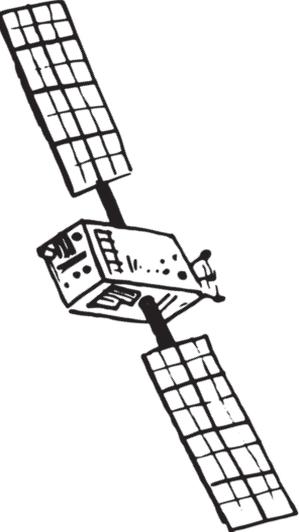
Как и ожидалось, поверхность Плутона оказалась очень разнородной. Ярко белые пятна на нем соседствуют с угольно черными. Такой дисбаланс наблюдается не часто в Солнечной системе. Можно только вспомнить спутник Сатурна Япет, у которого ледяная поверхность частично засыпана пылью из кольца Сатурна. Или яркие пятна Цереры приходят на ум.

Ученым еще предстоит узнать происхождение различных типов поверхности и причины появления сложных форм рельефа. Но нынешняя гипотеза столкновения прото-Плутона и прото-Харона уже указывает на катастрофические события, которые здесь произошли на заре Солнечной системы.

На спутнике Плутона Хароне, тоже не все так просто. Он оказался очень похож на нашу Луну: у него тоже два полушария отличаются друг от друга, а на том, что развернуто к Плутону, тоже видно темное «море».

New Horizons должен был изучить не только поверхность Плутона и спутников, но



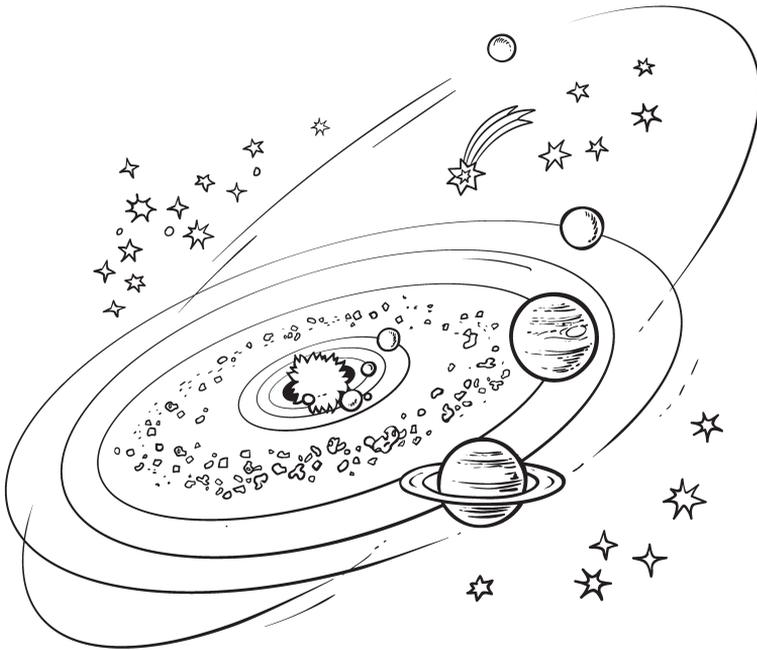


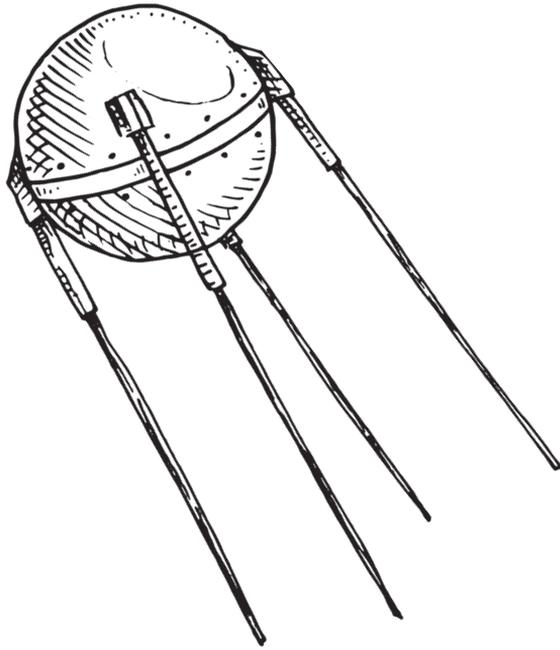
искать атмосферу у обоих. Для этого аппарат оборудован ультрафиолетовым спектрометром Alice. Зонд наблюдал атмосферу Плутона, чтобы определить ее состав, происхождение, распространение и динамику потери. Для более подробного изучения атмосферы, траектория пролета предусматривала полет New Horizons через тень сначала Плутона, потом Харона. Это позволило не только искать горячие точки на телах карликовой планеты и спутника, но и увидеть рассеяние солнечного света газовой оболочкой этих тел. Alice сможет определить газовый состав атмосферы или атмосферы, если таковая найдется у Харона.

Помимо оптических средств изучения New Horizons оборудован приборами для регистрации плазмы, ионизированных частиц и космической пыли, на аппарате предусмотрено даже использование радара...

После пролета системы Плутона New Horizons постарается «перехватить» еще 1 или 2 астероида из пояса Койпера, чем немало расширит границы познания человечества об этом далеком и ледяном регионе Солнечной системы. Далее путь космического аппарата проляжет в облако Оорта, а через тысячи или десятки тысяч лет полета он, возможно, посетит и какую-нибудь соседнюю звездную систему. Только мы об этом никогда не узнаем. Энерговыведение радиоизотопного термоэлектрического генератора New Horizons продолжит-

ся еще около 15 лет, а потом людям придется с ним только попрощаться. Зато на просторах Вселенной останется частичка праха первооткрывателя Плутона Клайда Томбо, как единственное представительство человечества в дальнем космосе. (А плутоний-238 РИТЭГа New Horizons станет самой далекой частичкой России).

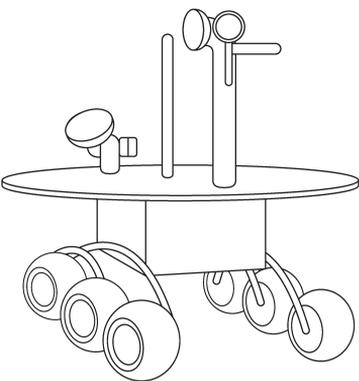






БУДУЩИЕ ЦЕЛИ

ГДЕ И КАК БУДУТ ИСКАТЬ ВНЕЗЕМНУЮ ЖИЗНЬ ПОСЛЕ МАРСА



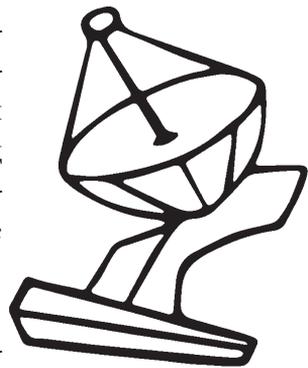
Свежие научные данные открывают новые перспективы поиска внеземной жизни в Солнечной системе. С интервалом всего в месяц опубликованы результаты исследований, которые добавляют еще два «водяных» космических тела. На сегодня жидкую воду на поверхности можно найти только на Земле; на Марсе местами появляются полоски влажного песка; на спутнике Сатурна Энцеладе бьют мощные гейзеры из подледного океана через трещины в ледяной коре; и на его соседе Титане извергаются ледяной лавой криовулканы. Сегодня в число объектов, где можно «потрогать» воду, добавляются спутник Юпитера Европа и карликовая планета Церера в Главном астероидном поясе.

Европа давно известна как водный мир, и она не первый год привлекает к себе внимание астробиологов. Но на пути исследователей, ищущих белковые формы жизни, стоит не только космическое пространство и высокая радиация радиационного пояса Юпитера, но и толстая ледяная кора. По разным оценкам теория «толстой коры» предполагает толщину льда от 30 до 100 километров. Современными технологиями это расстояние преодолеть сложнее, чем миллиард километров вакуума.

Нынешний взгляд на строение Европы сформирован по данным Voyager, Galileo и наблюдениям с Земли. Европа — это самый маленький из четырех «галилеевых» спутников Юпитера. Она отличается высокой яркостью и гладкостью поверхности. Причина такого облика — в очень молодой, по космическим меркам, ледяной коре, которая обновляется за счет тектонических процессов, похожих на земные. Гладкость поверхности является одним из косвенных доказательств наличия подледного океана, глубина, которого может достигать 100 километров. Таким образом, на Европе воды в два раза больше, чем на Земле. Ниже идет каменная мантия, а в центре предполагается металлическое ядро.

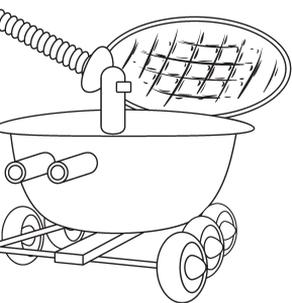
Считается, что рыжие пятна и полосы на Европе — это результаты выбросов воды через трещины и проломы во льду, а цвет возникает от железа и серы, растворенной в подледном океане. Всего три месяца назад ученые полагали, что такие выбросы происходили в древности, а к нашему времени уже прекратились.

В отличие от Земли, чьи недра, как считается, в основном нагревает радиоактивный распад, главный «обогреватель» на Европе — это приливное воздействие Юпитера. Притяжение планеты-гиганта вынуждает спутник то менять свою форму на яйцевидную, с приближением к Юпитеру, то возвращаться в шаровую по мере отдаления. Разу-



меется, эти колебания совсем незначительны и разница «яйца» и шара — всего в 30 метров, но деформация в масштабе всего спутника вызывает немалый нагрев, способный поддерживать океан жидкой воды.

В декабре 2013 года многолетние наблюдения Европы при помощи телескопа Hubble и его ультрафиолетового спектрометра, принесли неожиданный результат — оказалось, что ледяной панцирь спутника не монолитен. В моменты отдаления от Юпитера во льду у Южного полюса Европы открываются трещины. Из них вырываются гигантские струи воды, которые поднимаются на высоту 200 километров, а затем опадают на поверхность. Мощность выброса впечатляющая — до 5 тонн воды в секунду. Для сравнения, интенсивность гейзеров Энцелада — 200 килограмм в секунду.



Правда, неизвестна частота выбросов на Европе: за 15 лет обнаружили всего два извержения, но мониторинг осуществлялся не в постоянном режиме, поэтому, возможно, они происходят чаще.

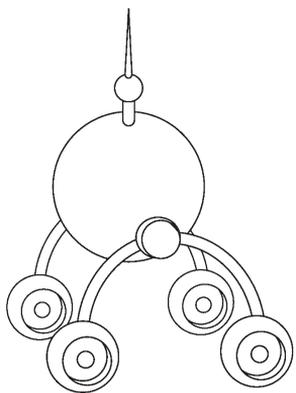
Несмотря на эпизодичность выбросов, новое знание открывает новые возможности в исследовании Европы и поиске жизни в подледном океане.

Ранее рассматривались различные концепции и идеи преодоления ледяной преграды. Среди предложений были весьма экзотич-

ные, вроде атомного реактора, которым предполагалось проплавить скважину и запустить под лед подводную лодку. Но для начала рассматривалась идея небольшого импактора, который надеялись просто загнать поглубже в лед, без надежды докопаться до жидкого океана. Дело дошло даже до испытаний.

Исследованию Европы при помощи бура и поискам внеземной жизни посвящен низкобюджетный фантастический фильм «Europa Report». Хотя, единственной заслугой фильма я бы назвал качественно изображенную невесомость на борту корабля, нельзя не приветствовать попытку современного кинематографа шагнуть дальше Марса.

Благодаря нынешнему открытию Hubble, вообще отпадает необходимость как в пилотируемой экспедиции, так и буровых работах. Теперь достаточно спланировать беспосадочную миссию. Аппарат должен вращаться на низкой орбите, ожидая, когда произойдет очередное извержение. В этот момент ему достаточно пролететь через струю, чтобы собрать образцы свежей воды. Таким способом конечно не порыбачить, но следы микроорганизмов или их жизнедеятельности в воде (точнее это уже будет снег) обнаружить можно. Полученные результаты позволят оценить вероятность внеземной жизни и шансы присутствия гигантских разумных кальмаров в океане Европы.

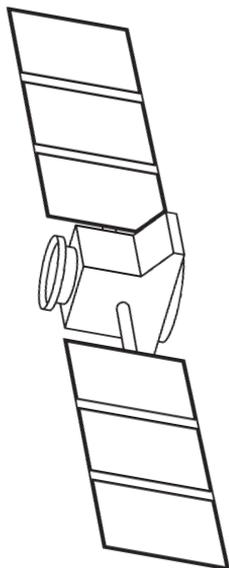


После открытия Hubble NASA решило выделить средства на запуск исследовательского космического аппарата Еуропа Clipper. Эта тяжелая и дорогая миссия предполагается к запуску в 2022-2025 годы. Зонд будет вращаться вокруг Юпитера, периодически сближаясь с Европой, так как представляют опасность радиационные пояса, в которых находится ледяной спутник. Возможно, сделают и небольшой посадочный модуль для изучения льда с поверхности.

Европейское космическое агентство тоже готовит экспедицию к Европе и ее соседям — JUICE — ее предполагается отправить только в 2022 году, а долетит аппарат к 2030-му, поэтому интрига сохранится надолго. Россия как-то собиралась исследовать Европу с поверхности, но не нашла возможности создания аппарата с достаточной радиационной защитой, поэтому перенацелилась на Ганимед, но до запуска еще далеко.

Вообще Европа, кажется, рекордсмен дальнего космоса по количеству отмененных миссий к ней. Сейчас у Юпитера работает зонд NASA Juno, но исследование спутников в его научную программу не входит.

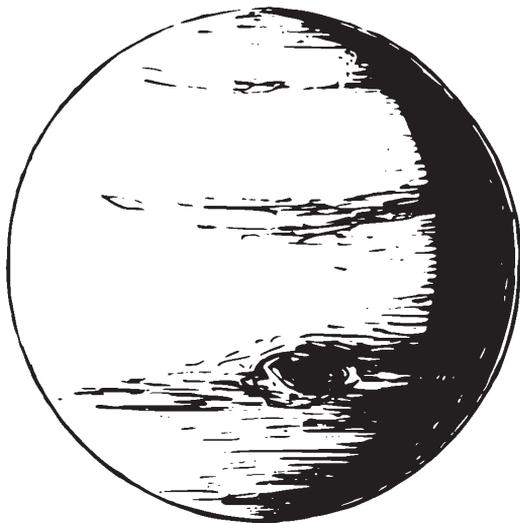
Впрочем, для поисков внеземной воды и жизни на спутнике уже не обязательно лететь к Юпитеру. Вторую сенсацию в 2014 году подарила Церера при помощи инфракрасного телескопа Herschel. Анализ этой карликовой планеты позволил ученым Ев-



ропейского космического агентства обнаружить выбросы воды и там.

Правда, здесь выделение воды оказалось гораздо скромнее, всего 6 килограмм в секунду. Зато удалось их точно локализовать. Выбросы осуществляются из двух круговых структур на одной широте, но в разных полушариях.

В начале 2015 года орбитальный зонд NASA Dawn достиг Цереры и значительно продвинул наши познания об этой карликовой планете, обнаружив на ней выбросы воды из двух круговых структур на одной широте, но в разных полушариях. Сегодня исследования продолжаются, и открытия еще могут произойти, однако с поверхности Цереры пока изучить нельзя, посадочных миссий пока никто не готовит.



9.2 ЛУННАЯ ФОРТОЧКА ВО ВСЕЛЕННУЮ



Обычно тема Луны обсуждается в контексте исследования ее поверхности: осмотра с орбиты или работ луноходов или пилотируемой программы. Оказалось, наш единственный естественный спутник обещает новые возможности и радиоастрономии, которые позволят заглянуть туда, куда не смотрел еще никто. В обсуждении пользы лунной программы для радиоастрономии приняли участие Юрий Ковалев из АКЦ ФИАН, Леонид Гурвиц из объединенного института РСДБ в Европе (Joint institute for VLBI in Europe) и Михаил Могилевский из ИКИ РАН.

Заведующий лаборатории внегалактической радиоастрономии Астрокосмического центра Физического института имени П. Н. Лебедева РАН Юрий Ковалев.

— Юрий, как вы относитесь к идее строительства обитаемой базы на Луне?

— Если коротко, то строить на Луне радиообсерваторию надо, но идти на Луну только ради этого несерьезно — слишком дорого. Однако если будет принято стратегическое решение, что Россия строит лунную базу, скажу: не поставит на Луне длинноволновый радиотелескоп — преступление. Сверхдлинноволновый диапа-

зон — это единственное окно электромагнитного спектра, которое до сих пор не открыто. Сверхдлинные волны из космоса на Землю не проходят, они отражаются от ионосферы, соответственно, надо ставить телескоп за пределами Земли. Можно ставить на орбитальный аппарат (free flyer), можно ставить на Луне. В принципе, на Луне подороже будет. С другой стороны, если там база уже есть, то поставить телескоп, который отработает в течение очень долгого времени, можно и нужно.

— **А почему на спутники не ставят?**

— На спутники можно ставить, однако, вы понимаете, что мы говорим про большие размеры и большое количество приемников излучения. Длина волны порядка двадцати метров. И сколько тот спутник проживет? В то же время телескоп на Луне даже обслуживать особо не надо. Просто «разбросать» проволоку по поверхности. Почему Луна? Проблема не только в том, чтобы поставить на спутник, а в том, что нам нужно защититься от помех Земли — наша планета очень «горячая» в этом диапазоне.

— **То есть нужно строить на обратной стороне?**

— Да, Луна здесь рассматривается как защита сверхдлинноволнового радиотелескопа от излучения Земли. Он должен ставиться либо на обратной стороне, либо в кратеры на полюсах. Естественно, будет задача передать





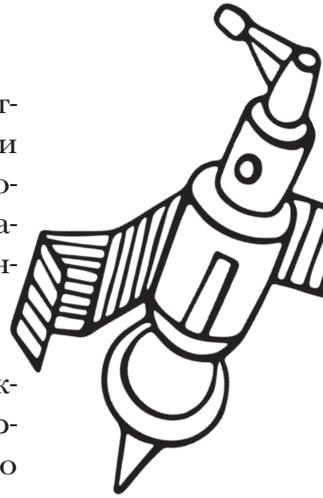
данные на Землю. Если вы ставите на обратной стороне Луны, вам нужен ретранслятор, и, скорее всего, это будет спутник. Если ставите на полюсах, то можно поставить ретранслятор на краю кратера. Варианты обсуждаются, включая реализацию телескопа на спутнике, летающем вокруг Луны: когда телескоп закрыт Луной от Земли и проводит наблюдения и, соответственно, когда открывается, сбрасывает данные на Землю.

Пока это обсуждается на уровне идей, которые нужно продумать и отработать. Это последнее оставшееся неоткрытым окно электромагнитного спектра в изучении Вселенной.

Несколько слов про возможные научные задачи. Начнем с исследования так называемой эпохи вторичной ионизации. Это еще одна потенциальная Нобелевская премия, из-за которой длинноволновая радиоастрономия последние годы получила сильнейший толчок в развитии и интересе мирового сообщества. Излучение водорода с разных космологических расстояний во Вселенной позволяет построить трехмерную карту Вселенной в линии нейтрального водорода. Чем дальше находится водород, тем, соответственно, длиннее волна. По значению для космологии это сравнимо с реликтовым излучением.

Космический телескоп ESA Planck и его карта реликтового излучения.

LOFAR, SKA и другие проекты занимаются изучением эпохи вторичной ионизации и картографированием нейтрального водорода на более коротких волнах. Под эту задачу будет также полезно иметь сверхдлинноволновый радиотелескоп.



Не забудем, что каждое новое окно в электромагнитном спектре приносило свои сюрпризы — результаты, которые невозможно предсказать заранее. Надеюсь, обсуждаемая нами последняя «форточка» не окажется исключением.

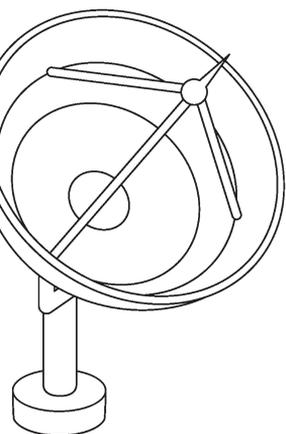
— Вы упомянули лунный спутник. Для меня эта тема близка. Как вы считаете, в масштабах микроспутника можно ли реализовать хотя бы прототип такого телескопа?

— Если ваш лунный микроспутник может вывести наружу какой-то диполь или более хитрую измерительную систему, это было бы потенциально полезно. Важный вопрос — насколько внутренние помехи аппарата мешают работе телескопа. Требуется анализ.

Руководитель отделения космических исследований Joint institute for VLBI in Europe Леонид Гурвиц.

— Необходимое для микроволновой радиоастрономии оборудование — сравнительно просто. Радиоастрономический приемник для частот этого диапазона (частоты ниже 10–15 мегагерц) может спать

школьник-радиолобитель. Это довольно дешево. А объем информации, грубо говоря, пропорционален несущей частоте. Поток данных сравнительно небольшой, современная цифровая система справится. Антенные системы, несмотря на свои размеры — довольно большие, — очень просты. Это могут быть просто провода, разложенные по поверхности.



— **А какой они должны быть длины?**

— Юрий Ковалев уже упоминал: длина волны порядка 20 метров, вот и размер антенны должен быть не меньше. В то же время существуют современные технологии, позволяющие сделать антенну много меньше. К примеру, сотовые телефоны работают на длине волны 20 сантиметров, хотя антенн таких размеров не несут. У них антенны активные, и такие же технологии могут применяться в космосе. Но для лунной поверхности она, может, и не нужна. Размотать по поверхности Луны или даже в открытом космосе катушку с очень тонким проводом не составит труда. Принципиальной разницы между спутником и поверхностью в этом нет.

Спутник выгоднее, потому что посадка на поверхность Луны какой угодно полезной нагрузки — дело сложное и дорогое. С другой стороны, раз уж мы полетим осваивать Луну, эта работа потребует доставки тонн грузов, добавить к ним несколько десятков килограммов полезной

нагрузки для радиоастрономии не составит труда. А эффект будет колоссальный. Я думаю, в сверхдлинноволновой радиоастрономии запряганы одна-две Нобелевских премии. Это уже практически закон: если какой-то параметр исследовательской установки улучшается на порядок или порядки величины, или начинается работа в совершенно новой, неосвоенной области, то гарантированно будут открытия, которые трудно предсказать. Это в полной мере относится к нашей теме.

Если пилотируемые полеты на Луну будут, а они определенно будут, то будет непростительно не использовать эту возможность для того, чтобы развернуть там сверхдлинноволновый радиотелескоп. Так что в будущей лунной программе радиоастрономия будет попутным пассажиром, а в открытом космосе можно создавать самостоятельную обсерваторию. Научная мотивация та же самая, но достоинство спутника в том, что можно создать целый рой микроспутников, в котором каждый аппарат несет на себе один антенный элемент: простой, легкий. Этот рой спутников можно поместить где-нибудь в тени Луны, например, в точке Лагранжа-2 системы Земля-Луна. Эта точка находится за Луной, там спутники будут защищены от антропогенных помех. Размещение в этой точке имеет ряд ограничений. Точка — это такая идеальная позиция. На самом деле спутник в этой точке совершает так называемую



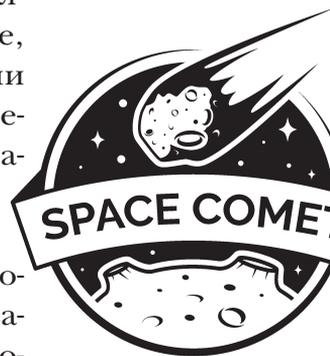
«фигуры Лиссажу» и лишь на некоторых этапах своего перемещения оказывается в тени Луны.

Можно расположить этот рой и на низкой окололунной орбите. Тогда этот рой какую-то часть своей орбиты будет проводить в конусе затенения Земли. Такие варианты рассматриваются, конкретный проект сейчас разрабатывается в Китае. Можно подумать о том, чтобы сверхдлинноволновую обсерваторию запустить куда-то очень-очень далеко. Так далеко, что антропогенные помехи от Земли будут незначительны в силу расстояния. Но надо довольно далеко улететь. Помните, в заставке фильма «Контакт» космический аппарат улетает от Земли: сначала вокруг него много помех, потом он удаляется все дальше, и на распространение сигнала требуется больше времени. Наконец они перехватывают первую телетрансляцию с берлинской Олимпиады 1936 года, потом первые радиосигналы — и тишина. Так вот, тишина наступает из-за двух факторов: во-первых, они улетели так далеко, что практически во времени переместились, а во-вторых, сказывается фактор расстояния. Расстояние сказывается пропорционально квадрату в знаменателе. То есть, если вы удалились в десять раз, то по интенсивности помеха уменьшилась в сто раз. Удалившись в десять раз дальше Луны, мы уменьшим помехи в сто раз. Удалимся в сто раз — уменьшим помехи в десять тысяч раз.



Соответственно, у нас имеется три способа: на поверхности обратной стороны Луны, на окололунном спутнике, или совсем далеко. Варианта отлета совсем далеко в реальной проработке сейчас нет. А вариант на Луне и на окололунном спутнике есть. Этим занимаются китайские коллеги в рамках программы Chang'e. В России лунная программа сейчас тоже возрождается — есть проекты «Луны-25», -26, -27, -28... К сожалению, пока ни на одном из этих аппаратов нет полезной нагрузки для сверхдлинноволновой радиоастрономии. Это достойно сожаления, поскольку это позволило бы «срезать угол» в гонке за открытиями в этом диапазоне. По технологии и по затратам это сравнительно несложно. Построить такой сверхдлинноволновой радиотелескоп много-много дешевле, чем «Радиоастрон» или другие из серии «Спектр». Полезная нагрузка простая, дешевая, но гарантированно принесет значительные открытия.

Если говорить о тестовом спутнике, который подошел бы для наших целей, то хватило бы аппарата массой несколько килограммов. Мы разрабатывали антенну, которая подходит для наших целей, которая не диполь, а триполь. Это симбиоз обычного диполя и активной антенны с усилителем, аналого-цифровым преобразователем, системой обработки и передачи тянула на несколько килограмм. Габариты получались как у небольшого фотоштатива. Если такую



штуку выкинуть на окололунной орбите, то она способна там самостоятельно функционировать.

Вам известна китайская организация Харбинский технологический университет? Они работают активно с CNSA по похожему проекту, и они это пытаются вставить в программу Chang'e. Кроме того, в рамках программы Chang'e ведется разработка антенн на двух аппаратах Chang'e. Одна антенна — на спутнике-ретрансляторе, а другая — на посадочной ступени, сающейся на обратную сторону Луны.

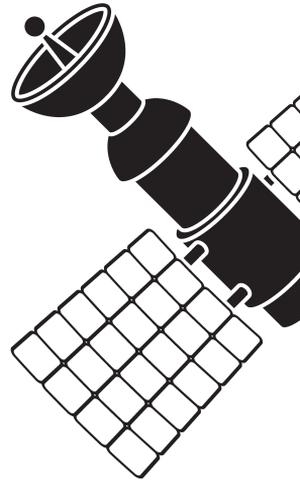
Рассматривается возможность поставить на оба аппарата сверхдлинноволновую полезную нагрузку. Тогда у них получится радиоинтерферометр со сверхдлинными базами, подобный «РадиоАстрону», только в сверхдлинноволновом диапазоне. Китай собирается располагать ретранслятор как раз в точке Лагранжа-2 системы Земля-Луна с известными преимуществами и недостатками этой точки, о чем мы уже говорили. Эта работа уже идет.

Благодарю за помощь в подготовке материала заведующего лабораторией физики магнитосферных процессов Института космических исследований РАН Михаила Могилевского.



МЕЖПЛАНЕТНАЯ СПЕЛЕОЛОГИЯ

Пещеры с древних времен привлекают человека – их темнота полна опасностей, но тайны в глубине манят и питекантропов, и современных ученых, и туристов. На Земле изучены сотни сухопутных и подводных пещер, но впереди маячит более сложная цель – пещеры на других планетах.



Большинство известных пещер Земли – это результат эрозии – разрушения горной породы, как правило, под воздействием воды и растворенных в ней химических соединений. Такие пещеры называются карстовыми. В вулканических же регионах распространены подземные полости, имеющие лавовое происхождение: купола и трубки. В отличие от карстовых пещер, на образование которых требуется тысячи или миллионы лет, вулканические пещеры образуются довольно быстро, в период извержения и активного излияния лавы.

Лавовая трубка – это протяженный тоннель, естественного происхождения, иногда до десятков километров, с плоским полом и сводчатым потолком. Трубка формируется в процессе извержения достаточно жидкой и вязкой базальтовой лавы. Распространяясь от источника, лавовый поток начинает остывать, и первым затвердевает

верхний слой, образуя корку, под которой течение продолжается. За счет выделения вулканических газов между коркой и потоком, формируется полость, которая расширяется по мере иссякания потока. В результате получается настоящий «метрополитен», пригодный для пешего передвижения. Повышенное давление вулканических газов приводит к вторичному плавлению сводов трубки, поэтому ее иногда покрывают лавовые сталактиты.

Вулканизм известен и на других планетах.

По ряду косвенных признаков можно предполагать, что вулканы Венеры еще продолжают извергаться, и благодаря тамошней жаре лава остывает гораздо медленнее, а значит, потоки будут намного шире. Предполагается также, что температура плавления венерианской лавы ниже, благодаря серным соединениям, что еще больше способствует подвижности лавовых потоков, а значит, протяженности тоннелей.



Марс известен своими гигантскими вулканами, правда, сейчас они все уснули, но успели залить тысячи квадратных километров поверхности базальтовой лавой.

Луна в свое время тоже переживала активный период, связанный как с астероидной бомбардировкой, так и с внутренней тектонической деятельностью. Огромные просторы Луны залиты лавовыми потоками, которые мы называем морями.

О том, что на Луне и других планетах должны быть лавовые пещеры, ученые предполагали еще в XIX веке, но первые открытия произошли уже с развитием космонавтики.

Обрушившиеся вулканические трубки на склонах марсианских вулканов сумела обнаружить автоматическая межпланетная станция Viking в 70-е.

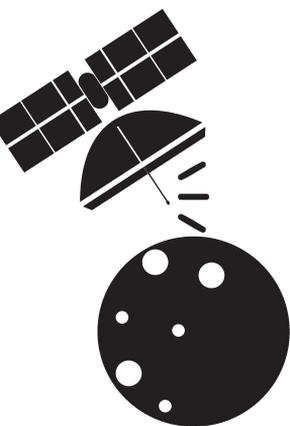
Через тридцать лет спутник Mars Odyssey запечатлел первые провалы, указывающие на еще существующие пещеры, которые ждут своих спелеологов. Диаметр зияющих провалов достигал 250 метров. Большая их часть была обнаружена на склонах щитовых вулканов в нагорье Фарсида. Современный орбитальный аппарат Mars Reconnaissance Orbiter при помощи телескопа высокого разрешения HiRISE сумел заглянуть в недра Марса, насколько это возможно с орбиты.

Марсианские пещеры привлекают ученых по нескольким причинам. Из-за тонкой атмосферы вся поверхность планеты облучается солнечным ультрафиолетом и бомбардируется космическими заряженными частицами, поэтому возможность длительного сохранения микробной жизни или даже сложных органических соединений маловероятна в верхних слоях грунта. Под защитой пещерных сводов, сохранность этих материалов резко повышается — даже если самой жизни уже не найти, ее останки



пролежат гораздо дольше. Кроме признаков жизни в марсианских пещерах возможно обнаружение водяного льда и других, более летучих в условиях открытой местности соединений.

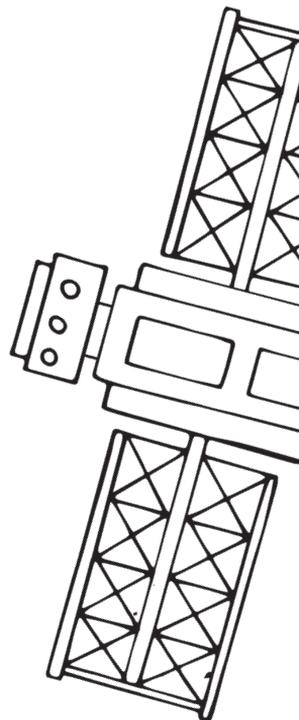
Самые смелые мечтатели предполагают, что марсианские пещеры могут стать основой первых человеческих баз и поселений — защита от радиации и запасы воды пригодятся очень кстати. Хотя ряд факторов указывает, что вулканические пещеры Марса — не самое подходящее место для жизни. Все они находятся в вулканических склонах на высоте в несколько километров над равниной. Посадка в высокогорных регионах затруднена из-за слишком тонкого слоя атмосферы. Атмосфера помогает экономить топливо на этапе посадки, поэтому наиболее тяжелые космические аппараты стараются опускаться в наиболее глубоких местах Марса. Низины лучше защищены и от радиации благодаря той же увеличенной прослойке атмосферы. Залежи водяного льда тоже уже изучены как с поверхности, так и со спутников, в том числе у самой глубокой впадины Марса — долины Эллада. Поэтому, пока не подтверждены биогенные или другие полезные ископаемые в пещерах, исследовать их целесообразно роботизированными средствами.



Немаловажный фактор, который тормозит марсианскую спелеологию — требования планетной безопасности. Если есть ве-

роятность сохранения гипотетической марсианской жизни в пещерах, то исследователь должен быть на 100% стерильным, чтобы исключить вероятность фантастического сценария «Марсианских хроник» где один чих землянина погубил великую цивилизацию. На сегодня обеспечить полную стерильность космического аппарата на Земле не удастся, а наши микробы способны переносить условия космического полета. Поэтому марсиан не ищут, чтобы не уничтожить их ненароком.

Зато доктрина планетной безопасности не мешает посещать лунные пещеры. Полая Луна неоднократно становилась местом действия фантастических произведений. Хотя реальность далека от фантастики, она тоже обнадеживает романтиков. Существование лунных пещер предполагалось давно, но прямые подтверждения пришли только в 2009 году. Японская автоматическая станция Kaguya впервые обнаружила необычные кратеры, которые не имели кругового вала и никаких признаков выбросов из кратера. Их диаметр достигал 100 метров, а глубина казалась значительной настолько, что боковой солнечный свет просто не доставал до дна. Американский зонд Lunar Reconnaissance Orbiter сумел рассмотреть провалы гораздо детальнее в разное время суток и оценить не только глубину дна с его содержанием, но и структуру боковых стенок, аппарат даже попытался заглянуть под своды.



Группа ученых из Университета Аризоны разработала специальный алгоритм PitScan, который в полуавтоматическом режиме искал на фотографиях провалы пещер на поверхности Луны и обнаружил больше двухсот. Их можно разделить на три условные группы:

— провалы лавовых каналов, которые истекали лавой при извержении вулканов;

— лавовые полости, сформированные расплавом, возникшим в больших кратерах от падения крупных астероидов;

— полости в лунных морях.

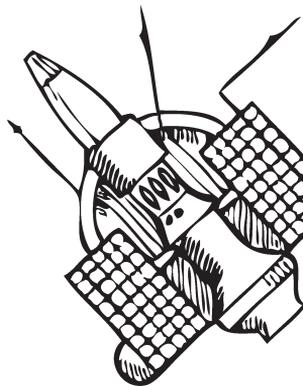


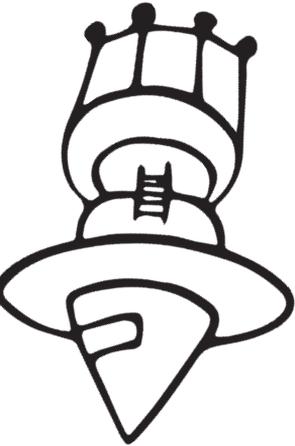
Пробоину в предполагаемую лавовую трубку смогли рассмотреть на вулканической горе Холмы Мариуса, у экватора на западе видимой стороны Луны. Со спутников там ясно виден канал лавового потока, протянувшегося от жерла вулкана на десятки километров. Примерно в 25 километрах от кратера в застывшем потоке видна пробоина. Либо ее проделал метеорит, либо крыша провалилась сама, но сейчас видно отверстие шириной в 80 метров и глубиной 45 метров. Ширина потока в месте пробоины достигает 800 метров, а выше по течению доходит до 1 километра, поэтому там возможно расположение гигантского по земным меркам тоннеля.

В Университете Пердью провели численное моделирование, согласно которому

прочность базальтовой лавы и низкая лунная гравитация позволяют сохранять без разрушения своды в тоннелях шириной до 1 километра при поверхности и залы до 5 километров на глубине несколько сот метров. Сравнить моделирование с реальностью помогли данные о гравитационном поле Луны, полученные при помощи зондов GRAIL. Ученые взяли показания GRAIL над возможной полостью в Холмах Мариуса и искали подобные показания в других данных. Так удалось обнаружить до десяти «подписей» возможных лунных полостей, длина некоторых из них — 100 километров, а ширина — не превышала несколько километров. Большинство из них найдено под лунными морями.

Несколько пробойн в лунных морях действительно обнаружено, правда, они не совпадают с теми возможными пустотами, которые вычислили по отклонениям гравитационного поля. Тем не менее, одно отверстие в Море Спокойствия, примерно в 400 километров на северо-восток от места посадки Apollo 11, является самым большим и глубоким из осмотренных со спутника. Отверстие имеет диаметр около 100 метров и такую же глубину. Поблизости не просматривается каких-либо лавовых каналов или вулканических куполов, которые могли бы указывать на происхождение тоннеля, однако можно предполагать его наличие. Эта пробоина интересна ученым не только тем, что скрывается на дне, но и своей слоистой





структурой, которая видна на обрывистых стенах провала. Эти слои подсказывают ученым, что лавовое Море формировалось вследствие многократных разливов лавы, некоторые из которых были довольно тонкими, до 1 метра.

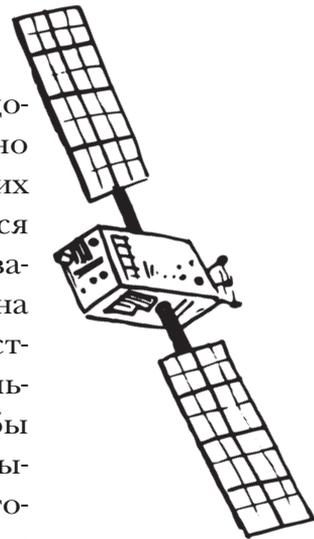
Отверстие в Море Спокойствия остается одним из наиболее подходящих мест для посадки роботизированного зонда, который бы изучил пещеры изнутри. Однако пока лунных роботов-спелеологов никакое космическое агентство не планирует подобных миссий. Ближе всего к тайнам лунных лавовых трубок приблизились астронавты Apollo 15, исследовавшие склоны каньона Хэдли Рилл, который по одной из гипотез был некогда лавовой трубкой, но полностью обрушился.

Пока же, будущее исследование лунных и марсианских пещер готовится на Земле. На нашей планете для изучения и посещения доступно немало вулканических пещер, которые позволяют представить все сложности межпланетной спелеологии. В России лавовые трубки и пещеры известны на Камчатке. Одна из лавовых трубок, протяженностью около 100 метров, доступна в кальдере вулкана Горелого. Эта пещера довольно древняя, оставшаяся после извержения двухтысячелетней давности. В ней можно ощутить себя марсианским исследователем, благодаря температуре близкой к нулю и массивному леднику, который частично перекрывает вход.

Несколько пещер сформировалось в ходе извержения вулкана Толбачик 2012-2013 гг. Эти пещеры более живописны: с лавовыми сталактитами «акулий зуб» покрывающими потолок, соляными натеками на потолке и подрастающими сталагмитами на полу. Здесь еще сохраняется жар остывающей лавы, на горячих трещинах можно кипятить чай, а некоторые ответвления пещер недоступны для посещения из-за высокой температуры.

Несмотря на привлекательность исследования инопланетных пещер, пока ни одно космическое агентство не посягнуло на их тайны. Серьезным препятствием остается техническая реализация такого исследования. Зонд потребуется посадить точно на дно провала, либо обеспечить альпинистским снаряжением для спуска по вертикальной стене. Одного этого достаточно, чтобы остановить всю разработку — слишком высока сложность, а значит — риск. Кроме того, потребуется обеспечить электропитание робота в условиях пещерной тьмы, управление и поддержание связи без прямой радиовидимости. В планетных исследованиях всегда предпочтение отдается проектам с высокой надежностью, обещающим длительные поставки уникальных данных, поэтому роботы-спелеологи пока проигрывают конкуренцию спутникам и телескопам.

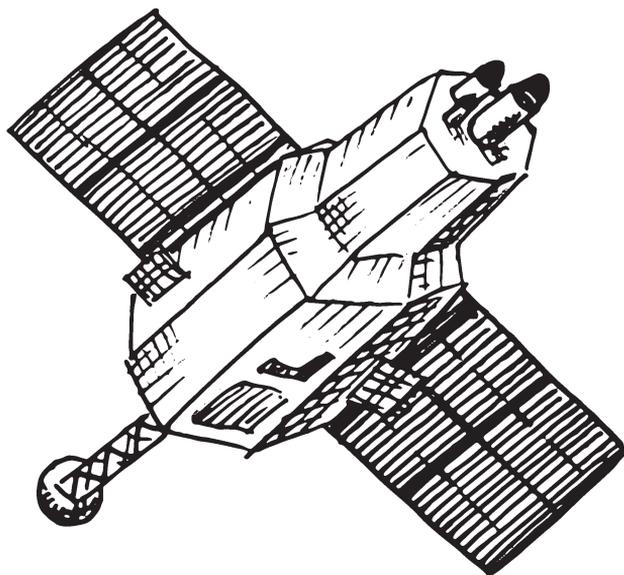
Лишь несколько частных команд участников конкурса Google Lunar XPRIZE объяви-



ли, что их разработки позволят изучать лунные пещеры. Американская команда Astrobotic и японская Hakuto обозначили лунные пещеры в качестве целей, но пока их зонды остаются на Земле. Учитывая редкость лунных пещер и сложность точной посадки — маловероятно, что команды с первого раза спустятся в полости Луны.

Глава первоначально подготовлена для научно-популярного портала N+1, и опубликована под названием «Межпланетная спелеология».

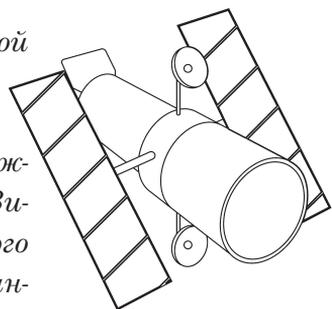
Страница: <https://nplus1.ru/material/2017/11/28/space-speleology>



ТАЙНА ДЕВЯТОЙ ПЛАНЕТЫ

Удастся ли ученым найти в Солнечной системе еще один крупный объект?

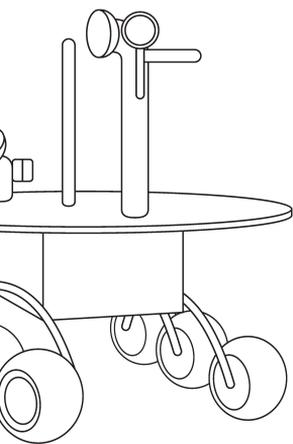
В астрономической среде два года обсуждают сенсацию, которой пока нет. Зимой 2016 года ученые Калифорнийского технологического института Константин Батыгин и Майкл Браун опубликовали статью, вновь возродившую надежды на то, что в Солнечной системе удастся обнаружить еще одну планету. Ряд косвенных признаков указывает, что где-то намного дальше Плутона, есть еще одна планета. Пока ее не нашли, но примерное местоположение рассчитали. Если в расчетах ошибки нет, то это станет самым важным астрономическим открытием столетия.



Первой планетой, открытой «на кончике пера», стала Нептун — еще в 1830-е годы астрономы обратили внимание на непредвиденные отклонения в орбите Урана и предположили, что за ним имеется еще одна планета, которая вызывает гравитационное возмущение. Гипотеза подтвердилась в 1846 году, когда Нептун смогли наблюдать в математически предсказанной области неба. Оказалось, что его видели и раньше, но не могли отличить от далеких звезд. Среднее расстояние до Нептуна — 4,5 миллиарда

километров или около 30 астрономических единиц (одна астрономическая единица равна расстоянию от Солнца до Земли — около 150 миллионов километров).

Оптимизм после открытия Нептуна вдохновил многих ученых и любителей астрономии на поиски других, более удаленных планет. Дальнейшие наблюдения за Нептуном и Ураном показывали расхождение между реальным движением планет и предсказанным математически, и это вселяло уверенность, что сенсация 1846 года может повториться. Казалось, в 1930 году поиски увенчались успехом, когда Клайд Томбо обнаружил Плутон на расстоянии около 40 астрономических единиц.

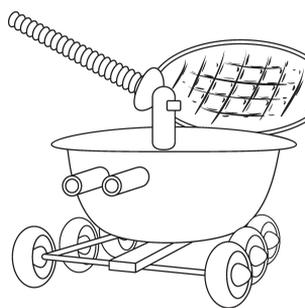


Долгое время Плутон оставался единственным известным объектом Солнечной системы, расположенным дальше от Солнца, чем Нептун. И по мере роста качества астрономической техники, представления о размере Плутона постоянно менялись в сторону уменьшения. К середине века считалось, что он имеет размер, сравнимый с Землей, и очень темную поверхность. В 1978 году удалось уточнить массу Плутона благодаря открытию его спутника Харона. Оказалось, что он намного меньше не то, что Меркурия, но даже земной Луны.

К концу XX века, благодаря технологиям цифровой фотосъемки и компьютерной обработки данных, начались открытия дру-

гих транснептуновых объектов размером меньше Плутона. Сначала, по привычке, их звали планетами. В Солнечной системе их стало десять, потом одиннадцать, потом двенадцать. Но к началу 2000-х годов астрономы забили тревогу. Стало ясно, что за Нептуном Солнечная система не заканчивается, и каждой ледяной глыбе придавать статус Земли и Юпитера не годится. В 2006 году для плутоподобных тел придумали отдельное название — карликовая планета. Планет снова стало восемь, как и столетие назад.

Тем временем поиски настоящих планет за пределами орбит Нептуна и Плутона не прекращались. Высказывались даже гипотезы о наличии там красного или коричневого карлика, то есть малого звездоподобного тела массой в несколько десятков Юпитеров, которое составляет с Солнцем двойную звездную систему. Подсказали эту гипотезу... динозавры и прочие вымершие животные. Группа ученых обратила внимание на то, что массовые вымирания на Земле происходят примерно каждые 26 миллионов лет, и предположила, что это период возвращения в окрестности внутренней Солнечной системы массивного тела, которое приводит к увеличению числа комет, устремляющихся к Солнцу и попадающих в Землю. Во многие СМИ эти гипотезы попали в виде антинаучных предсказаний о грядущем нападении пришельцев с планеты или звезды Нибиру.





NASA дважды предпринимало попытки найти возможную планету или коричневый карлик. В 1983 году космический телескоп IRAS осуществил полное картографирование небесной сферы в инфракрасном диапазоне. Телескоп провел наблюдения десятков тысяч источников теплового излучения, открыл несколько астероидов и комет в Солнечной системе и стал причиной шумихи в прессе, когда ученые приняли по ошибке далекую галактику за юпитероподобную планету. В 2009-м году полетел похожий, но более чувствительный и долгоживущий телескоп WISE, который сумел найти несколько коричневых карликов, но на расстоянии в несколько световых лет, то есть не относящихся к Солнечной системе. Он же показал, что в нашей системе планет размером с Сатурн или Юпитер за Нептуном тоже нет.

Разглядеть новую планету или недалекую звезду не удастся никому до сих пор. Или ее там вообще нет, или она слишком холодна и излучает или отражает слишком мало света, чтобы ее можно было обнаружить при случайном поиске. Ученым пока приходится полагаться на косвенные признаки: особенности движения других, уже открытых космических тел.

Поначалу обнадеживающие данные получали в аномалиях орбит Урана и Нептуна, но в 1989 году было установлено, что причина аномалий — в ошибочном определении

массы Нептуна: он оказался на пять процентов легче, чем думали ранее. После коррекции данных моделирование стало совпадать с наблюдениями, и гипотеза о девятой планете отпала.

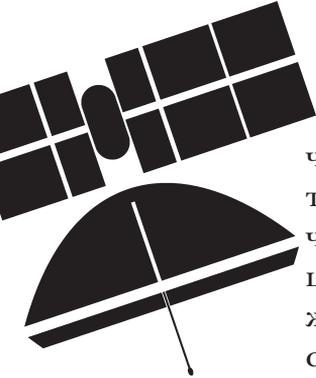
Некоторые исследователи задумались о причинах появления долгопериодических комет во внутренней Солнечной системе и об источнике короткопериодических комет. Долгопериодические кометы могут появляться у Солнца раз в сотни или миллионы лет. Короткопериодические облетают вокруг Солнца за 200 или менее лет, то есть находятся гораздо ближе.

Кометы имеют очень короткий по космическим меркам срок жизни. Основной их материал — это лед различного происхождения: из воды, метана, циана и других веществ. Солнечные лучи испаряют льды, и комета превращается в незаметный поток пыли.

Тем не менее, короткопериодические кометы продолжают летать вокруг Солнца и сегодня, спустя миллиарды лет после формирования Солнечной системы. Значит, их число пополняется из какого-то внешнего источника.

Таким источником считается Облако Оорта — гипотетический регион радиусом до 1 светового года, или 60 тысяч астрономических единиц вокруг Солнца. Считается,





что там летают миллионы ледяных объектов по круговым орбитам. Но периодически что-то меняет их орбиту и запускает к Солнцу. Что это за сила, пока неизвестно: это может быть гравитационное возмущение от соседних звезд, результаты столкновений в облаке или влияние крупного тела в нем же. Например, это могла бы быть планета размером чуть больше Юпитера — ей даже дали название Тюхе. Авторы гипотезы Тюхе предполагали, что телескоп WISE сможет найти ее, но открытие не состоялось.

Если Облако Оорта — только гипотетическое семейство малых тел Солнечной системы, которое астрономы не могут наблюдать непосредственно, то другое семейство, пояс Койпера, изучено гораздо лучше. Плутон — это первое обнаруженное космическое тело пояса Койпера. Сейчас там открыто еще три карликовые планеты размером с Плутон или чуть меньше и более тысячи малых тел.

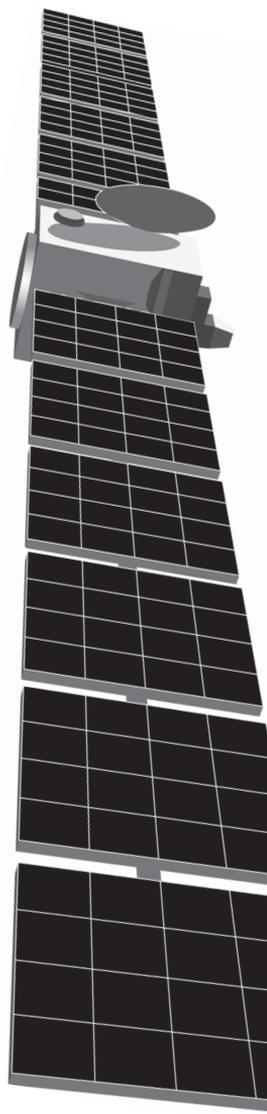
Для семейства пояса Койпера характерны круговые орбиты, небольшой наклон к плоскости вращения известных планет Солнечной системы — плоскости эклиптики — и обращение в границах 30 и 55 астрономических единиц. С внутренней стороны пояс Койпера обрывается на орбите Нептуна, кроме того, эта планета оказывает гравитационное возмущение на пояс. Причина внешней резкой границы пояса неизвестна. Это дает основания предполагать наличие еще одной

полноценной планеты где-то на расстоянии 50 астрономических единиц.

За поясом Койпера, хотя и частично пересекаясь с ним, лежит область рассеянного диска — еще одной группы малых космических тел, летающих за Нептуном. Для малых тел этого диска, напротив, характерны сильно вытянутые эллиптические орбиты и значительный наклон к плоскости эклиптики. Новые надежды на обнаружение девятой планеты и бурные обсуждения в среде астрономов породили именно тела рассеянного диска.

Некоторые объекты рассеянного диска настолько далеки от Нептуна, что он не оказывает на них никакого гравитационного влияния. Для них придуман отдельный термин «обособленный транснептуновый объект». Один из таких известных объектов под названием Седна приближается к Солнцу на 76 астрономических единиц и отдаляется на 1000 астрономических единиц, поэтому его одновременно считают первым найденным объектом Облака Оорта. Некоторые известные тела рассеянного диска имеют менее экстремальные орбиты, а какие-то, напротив, имеют еще более вытянутую орбиту и сильный наклон плоскости обращения.

Оказалось, что несколько найденных обособленных транснептуновых объектов имеют ближнюю точку своей орбиты в области около 60 астрономических единиц, и эта



точка лежит в плоскости эклиптики, а у некоторых объектов орбиты вытянуты в одном направлении. Вероятность такого случайного пролегания орбит составляет 0,025 процента, что мало, то есть более вероятно гравитационное влияние неизвестной планеты. По оценкам ученых Калифорнийского технологического института Константина Батыгина и Майкла Брауна, обративших внимание на необычные орбиты, это может быть планета в десять раз массивнее Земли. Возможно, там летает газовый собрат Нептуна и Урана, либо каменная планета в 2–4 раза больше Земли, так называемая «суперземля». Хотя, учитывая изобилие ледяных тел на периферии Солнечной системы, более вероятно наличие газовой, а не каменной планеты.

По расчетам авторов свежей гипотезы, «их» планета может иметь вытянутую орбиту, приближаясь к Солнцу на 200 и отдаляясь на 1200 астрономических единиц. Ее точное местоположение на земном небе пока рассчитать не удастся, но примерная область поисков постепенно сокращается.

Поиск ведется с помощью оптического телескопа «Субару» на Гавайях и телескопа имени Виктора Бланко в Чили. Для того чтобы дополнительно подтвердить существование планеты и уточнить ее возможное местоположение, требуется найти больше тел рассеянного диска. Сейчас эти поиски продолжаются, работы имеют высо-

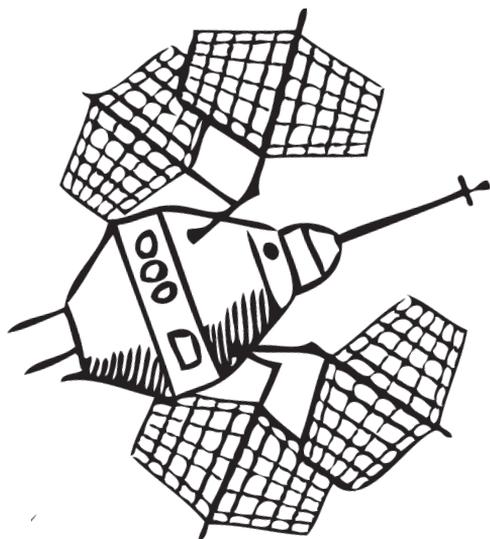


кий приоритет, и появляются новые находки. Однако, ожидаемая планета по-прежнему неуловима.

Если бы астрономы знали, куда смотреть, то, возможно, смогли бы увидеть планету и оценить ее размер. Но у «дальнобойных» телескопов слишком узкий угол обзора, чтобы осуществлять свободный поиск по большим площадям неба. К примеру, известный космический телескоп Hubble за 25 лет своей работы осмотрел менее 10 процентов всей небесной сферы. Но поиски продолжаются, и если девятую планету Солнечной системы все-таки найдут, то это станет настоящей сенсацией в астрономии.

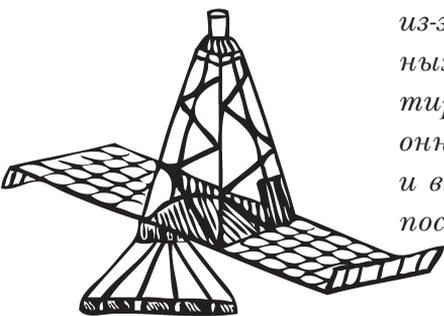
Глава первоначально подготовлена для научно-популярного портала N+1, и опубликована под названием «Тайна девятой планеты».

Страница: <https://nplus1.ru/material/2018/01/19/ninth-planets-secret>



5. КАК УБИВАЮТ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СТАНЦИИ

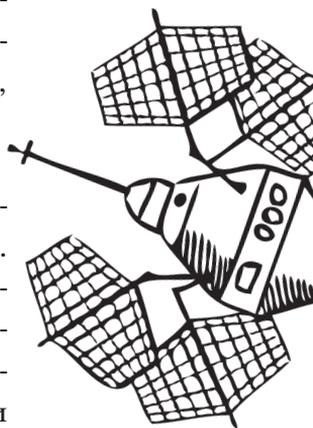
Космические аппараты – это сложные устройства, которые работают в самых суровых условиях. При запуске всегда присутствует опасность аварии ракеты. В полете может проявиться конструктивная ошибка, на борт могут передать ошибочную программу, а в работе электроники могут случиться сбои из-за галактических частиц и солнечных вспышек. Но если станция спроектирована верно, электроника радиационностойкая, программы проверенные, и весь полет проходит успешно, то кто поставит точку?



30 сентября 2016 года завершилась одна из самых интересных исследовательских программ в межпланетном пространстве в XXI веке – Rosetta и Philae. Стартовав в 2004 году, пара космических аппаратов отправилась в дальний космос. Дважды космические трассы возвращали их к Земле для гравитационного маневра, однажды такой маневр проходил у Марса. По пути произошли две встречи с астероидами: Штейнс и Лютеция, и, наконец, начался главный этап научной программы – сближение с кометой 67P/Чурюмова-Герасименко.

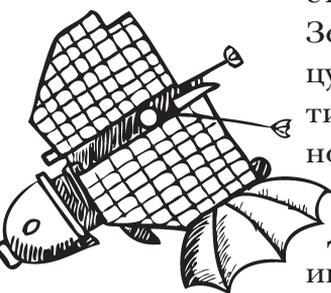
сименко. Rosetta вышла на орбиту вокруг ядра кометы, сблизилась до нескольких километров, провела анализ газов в коме кометы, рассмотрела частицы пыли под микроскопом и определила их состав, выделила органические соединения, изучила гравитационное и магнитное поле. Philae пошел дальше — совершил посадку на комету. И выход на орбиту кометы и посадка на нее прошли впервые в истории космонавтики. Но даже самые успешные эксперименты рано или поздно заканчиваются, и пришел их час.

Команда Rosetta рассматривала несколько вариантов прекращения исследований. Было большое искушение продолжить полет настолько это возможно долго. Но комета удалялась от Солнца, и солнечные батареи космического аппарата не смогли бы полноценно поддерживать работоспособность бортовых систем. Можно было просто отключить аппарат, и тогда бы он превратился в рукотворный астероид, продолживший свой полет по орбите кометы, постепенно и непредсказуемо удаляясь от нее под воздействием гравитационных возмущений окрестных планет. В конце концов, для Rosetta выбрали судьбу ее напарника Philae — посадку на комету и пребывание там до того момента, пока солнечные лучи не испарят окончательно кометное ядро и не превратят комету в поток пыли. На это уйдут столетия, поэтому с этой не-



разлучной парочкой мы попрощаемся скорее всего навсегда.

Rosetta и Philae — далеко не первые межпланетные путешественники, чья судьба была решена в далеких Центрах управления полетами на Земле. Тремя годами ранее завершалась работа космического телескопа Herschel. Телескоп летал на расстоянии 1,5 миллиона километров от Земли в стороне противоположной Солнцу. Он изучал Солнечную систему, Галактику и Вселенную в дальнем инфракрасном диапазоне электромагнитных волн.



Для осуществления научной программы инфракрасному детектору телескопа требовалось охлаждение до сверхнизких температур, которые обеспечивал жидкий гелий. Это очень летучий газ, который постепенно стравливали в космос. В результате запас газа иссяк, и телескоп утратил свою работоспособность, несмотря на функционирование всех прочих систем. Создателям телескопа пришлось выбирать из двух вариантов: разбить аппарат о поверхность Луны или оставить его в свободном полете вокруг Солнца. Удар о Луну позволил бы получить больше знаний о составе грунта нашего естественного спутника, но эта работа требовала участия большой группы ученых, что не предусматривалось бюджетом миссии. Поэтому выбрали самый простой и дешевый вариант: отправили телескоп по орбите вокруг Солнца в виде редко-

го астероида. Теперь Земля может не ждать встречи с ним в ближайшие несколько миллионов лет.

Завершение полета ударом о Луну — чаще всего удел окололунных космических аппаратов. Например, таких как GRAIL. Пара небольших спутников кружила у нашего естественного спутника, собирала данные о неоднородностях гравитационного поля, пока, наконец, не завершила свой путь целенаправленным ударом о встречную гору. Такая «кровожадность» создателей космических аппаратов не случайна. Есть специальная норма, которой руководствуются создатели автоматических межпланетных станций — Доктрина планетной безопасности. Она гласит, что роботы, рассылаемые с Земли по соседним спутникам и планетам, не должны стать разносчиками земных микроорганизмов. Эта традиция идет еще от фантастических произведений, в которых наши микробы несли погибель марсианам. Есть в этой норме и прагматичный смысл: так будущие исследователи страхуются от ошибки обнаружения занесенной земной жизни на других планетах.



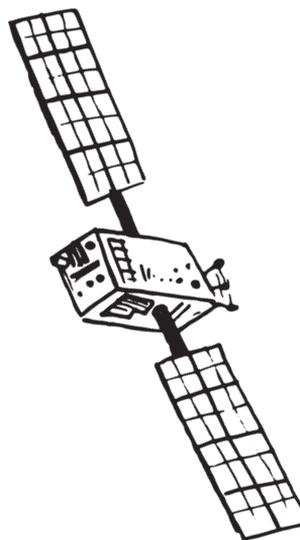
Ради соблюдения достоверности экспериментов, перед стартом станции дезинфицируются, но в земных лабораториях невозможно добиться 100% стерильности. Космическая среда — не самое благоприятное место для жизни, но благодаря

Apollo 12 и эксперименту «Биориск», мы знаем, что микробы в космосе могут выживать. Поэтому последним рубежом защиты является способ, который прикончит межпланетный зонд и нежелательных пассажиров на нем. По крайней мере, на это надеются, так как никакого другого способа избавиться от потенциально опасных землян нет.

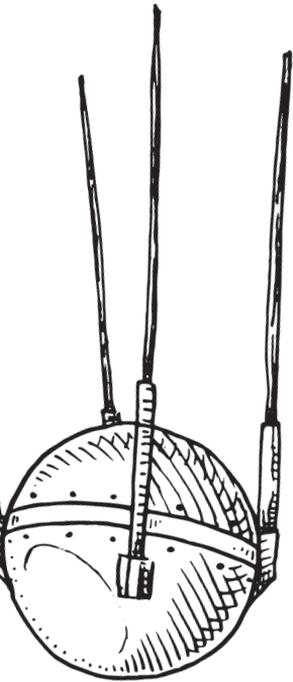


С 2008 по 2015 год космический аппарат Messenger изучал ближайшую к Солнцу планету – Меркурий. Из-за своей близости к звезде планета воспринималась сухой и безжизненной, поэтому никто не опасался заражения меркуриан. Однако одним из сенсационных открытий станции стала вода на Меркурии. Она сохраняется в форме льда и только в полярных регионах, но земным бактериям нельзя оставлять ни малейшего шанса, поэтому, в лучших голливудских традициях, от них решили избавиться с помощью взрыва. Рабочая орбита Messenger поддерживалась за счет ракетного двигателя. Когда топливо подошло к концу, «последний выдох» маршевой двигательной установки направил космический аппарат на фатальную встречу с меркурианским горным хребтом. Столкновение на скорости 3 км/с не оставило никаких шансов возможным земным посланникам. Зато камерам Messenger удалось взглянуть на поверхность Меркурия с предельно близкого расстояния – около 40 километров.

Еще более драматические события развивались в 2003 году на расстоянии 600 миллионов километров от Солнца. Исследовательский зонд Galileo провел восемь лет, раскрывая тайны Юпитера и его многочисленных спутников. Именно для сохранения чистоты льдов Европы, Ганимеда и Каллисто ученые приняли решение отправить станцию в недра газового гиганта. Из-за сильной гравитации Юпитера скорость космического аппарата на его орбите очень высока. Galileo вращался вокруг планеты-гиганта на скоростях до 51 км/с. Примерно с такой же скоростью зонд и отправился навстречу своей пламенной смерти. Плотная атмосфера Юпитера и высокая скорость зонда привели к тому, что он полностью разрушился и практически испарился еще в верхних слоях атмосферы. Даже сейчас нам наверняка не известно, есть ли у Юпитера твердое ядро, а если есть, то тамошние условия несовместимы не только с жизнью, но и с нашими некоторыми познаниями о физике, поэтому опасений, что земные микроорганизмы загрязнят поверхность, ни у кого не возникло. Сейчас на околоюпитерианской орбите работает новая исследовательская станция Juno. Она должна как раз лучше понять глубинное строение планеты, но в будущем ее ждет судьба Galileo – уничтожение в атмосфере.



Конечно, странно выглядит такая манера разбрасываться функциональными и уни-

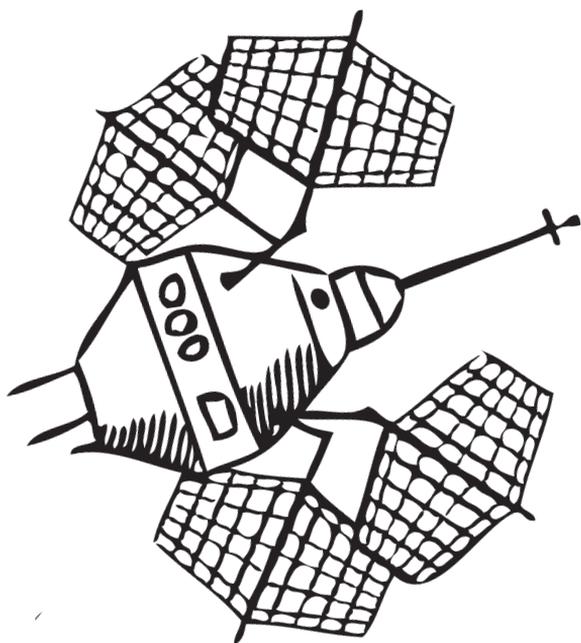


кальными космическими аппаратами. Но есть у такой практики и рациональные причины. Любая научная миссия в межпланетном пространстве — всегда полностью дорогостоящее мероприятие. Выгода от таких миссий оценивается в новизне научных данных и значимости совершенных открытий. Когда всё, что можно изучить, изучено, и «корова перестает давать молоко», ставится вопрос о целесообразности дальнейшего финансирования проекта. Успешные миссии и так почти всегда перерабатывают заложенную в бюджет длительность программы и требуют дополнительного финансирования.

Хотя, иногда появляются дополнительные факторы: марсоход Opportunity колесит уже больше десяти лет во многом потому, что отважный путешественник стал любимцем общественности, и любые попытки чиновников прекратить его работу воспринимаются как покушение на национального героя. При этом на марсоходе не работает или почти выработала ресурс большая часть научных приборов, но пока камеры снимают, а колеса крутятся, путешествие будет продолжаться.

Можно представить, каково работать в научной команде, которая сконструировала космический аппарат, вывела на нужную орбиту и многие месяцы или годы работая «бок о бок», практически сроднилась со своим космическим питомцем.

Если же пришло время прощаться, то единственным утешением может стать перспектива заняться ещё более интересными и амбициозными задачами в изучении Вселенной.



ПРАВА НА ИЛЛЮСТРАЦИИ ПРИНАДЛЕЖАТ:

NASA – National Aeronautics and Space Administration

GSFC – Goddard Space Flight Center

MSFC – Marshall Space Flight Center

JPL – Jet Propulsion Laboratory

NASA Ames – NASA Ames Research Center

UA – University of Arizona

LPI – Lunar and Planetary Institute

NRAO – National Radio Astronomy Observatory

USGS – United States Geological Survey

JHU APL – Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory

Caltech – California Institute of Technology Brown University

MIT – Massachusetts Institute of Technology

STScI – Space Telescope Science Institute Cornell University

Lockheed Martin

UCLA – University of California, Los Angeles

SwRI – Southwest Research Institute

UMD – University of Maryland UC

Berkeley – University of California, Berkeley

MSSS – Malin Space Science Systems

SETI Institute – Search for Extraterrestrial Intelligence Institute

ESA – European Space Agency

CNES – Centre National d'Etudes Spatiales

MPS – Max Planck Institut für Sonnensystemforschung

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Roscosmos (Роскосмос) – Госкорпорация “Роскосмос”

IKI (ИКИ) – Институт космических исследований Российской Академии наук.

Chinese Academy of Sciences

China National Space Administration

The Science and Application Center for Moon and Deepspace Exploration

JAXA – Japan Aerospace Exploration Agency

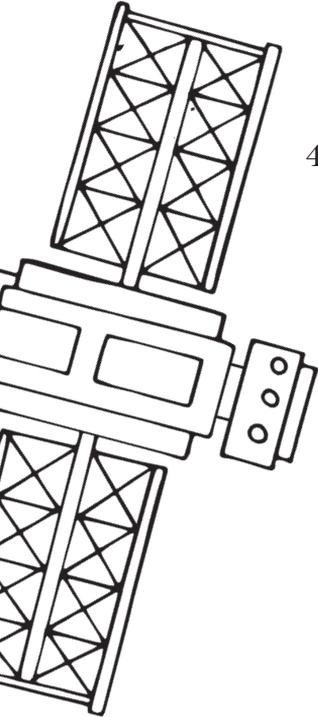
NHK – Nippon Hōsō Kyōkai

ISRO – Indian Space Research Organisation

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЧТО ТАКОЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СТАНЦИИ?	5
1.1. Из чего состоят Автоматические межпланетные станции	6
1.2. Как узнать состав других планет: спектроскопия	12
1.3. Как исследуют планеты с помощью света	16
1.4. Как изучают планеты с помощью радио и радиации	28
1.5. Кто, как и зачем обрабатывает снимки из космоса	37
1.6. Золотая обертка	45
2. МЕРКУРИЙ	49
2.1. Messenger: знакомство и прощание с Меркурием	50
3. ЛУНА	61
3.1. Луна после «Аполлона»	62
3.2. GRAIL: как NASA бомбило Луну	73
3.3. LADEE: на охоту за лунной пылью	77
3.4. Chang'e 3 и Yutu: китайская Луна	85
3.5. Audi Lunar Quattro: как заработать на Луне	92





4. МАРС	105
4.1. Opportunity – позабытый рекордсмен	106
4.2. «Луноход-2» и Opportunity: как марсоход NASA обогнал наш луноход	112
4.3. MRO: вода на Марсе	118
4.4. EхoMars TGO: разгадать вторую загадку Марса	126
4.5. Schiaparelli: посадка на Марс для начинающих	137
4.6. «Фобос-Грусть»	149
4.7. Mars Orbiter Mission: индийский Марс	165
4.8. InSight: летим долбить Марс	168
5. ЦЕРЕРА	175
5.1. Dawn: рассвет над Церерой	176
5.2. Dawn: раскрывая тайны межпланетного пришельца	180
6. КОМЕТЫ И АСТЕРОИДЫ	189
6.1. Procyon: микроспутник для большого космоса	190
6.2. Rosetta: долгий путь на работу ..	196
6.3. Rosetta 2014: первый взгляд на комету в сравнении с предшественниками	203
6.4. Rosetta: комета в восьми километрах	207
6.5. Philae: посадка на комету	210
6.6. Rosetta и Philae: космическая органика на кометах и не только	214
6.7. Philae: прощание	219

7. ЮПИТЕР	229
7.1. Juno: тайная жизнь гиганта	230
7.2. Juno: что у бога под одеждой.	238
8. ПЛУТОН	245
8.1. New Horizons: свидание с Плутоном	246
9. БУДУЩИЕ ЦЕЛИ	257
9.1. Где и как будут искать внеземную жизнь после Марса	258
9.2. Лунная форточка во Вселенную	264
9.3. Межпланетная спелеология.	273
9.4. Тайна девятой планеты.	283
9.5. Как убивают автоматические межпланетные станции	292



Научно-популярное издание

16+

Научпоп Рунета

**Виталий Егоров
ДЕЛАЙ КОСМОС!**

Ответственный редактор *О. Бойкова*
Научный редактор *А. Войтюк*
Корректор *Ю. Шпитонкова*
Технический редактор *Т. Тимошина*
Дизайнер обложки *В. Лебедева*
Компьютерная верстка *А. Грених*

Подписано в печать 01.08.2018.
Формат 60x90/16. Усл. печ. л. 19,0.
Тираж 4000 экз. Заказ №

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2;
953000 — книги, брошюры

ООО «Издательство АСТ»
129085, г. Москва, Звездный бульвар, д. 21, строение 1, комната 39
Наш электронный адрес: www.ast.ru
E-mail: astrub@aha.ru

«Баспа Аста» деген ООО
129085, қ. Мәскеу, Жұлдызды гүлзар, үй 21, 1 құрылым, 39 бөлме
Біздің электрондық мекенжайымыз: www.ast.ru
E-mail: astrub@aha.ru

Интернет-магазин: www.book24.kz
Интернет-дүкен: www.book24.kz
Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».
Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию
в республике Казахстан:
ТОО «РДЦ-Алматы»
Қазақстан Республикасында дистрибьютор
және өнім бойынша арыз-талаптарды қабылдаушының
өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қ., Домбровский көш., 3а, литер Б, офис 1.
Тел.: 8(727) 251 59 89, 90, 91, 92
Факс: 8(727) 251 58 12, вн. 107; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.
Өндірген мемлекет: Ресей
Сертификация қарастырылмаған