

# Вселенная

## ПРОСТРАНСТВО ★ ВРЕМЯ

Международный научно-популярный журнал  
по астрономии и космонавтике

№7 (167) 2018

### АСТЕРОИДЫ

Каменная летопись Солнечной системы

### РЮГУ

НОВАЯ ЦЕЛЬ ЯПОНСКОГО  
«СОКОЛА»

### ЖИЗНЬ на МАРСЕ



---

PARKER SOLAR PROBE  
ОТПРАВИЛСЯ К СОЛНЦУ

---

БИТВА СВЕТА И ТЬМЫ  
В ТУМАННОСТИ КИЛЯ

## АСТЕРОИДЫ

КАМЕННАЯ ЛЕТОПИСЬ  
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

СТР. 4



## РЮГУ НОВАЯ ЦЕЛЬ ЯПОНСКОГО «СОКОЛА»

СТР. 16

Руководитель проекта, главный редактор:  
Гордиенко С. П.

Выпускающий редактор:  
Манько В. А.

Редактор:  
Размыслович К. Р. (Минск)

Редакционный совет:  
Митрахов Н. А. — главный редактор информационно-аналитического центра «Спейс-Информ», кандидат технических наук

Вавилова И. Б. — ученый секретарь Совета по космическим исследованиям НАН Украины, вице-президент Украинской астрономической ассоциации, кандидат ф.-м. наук

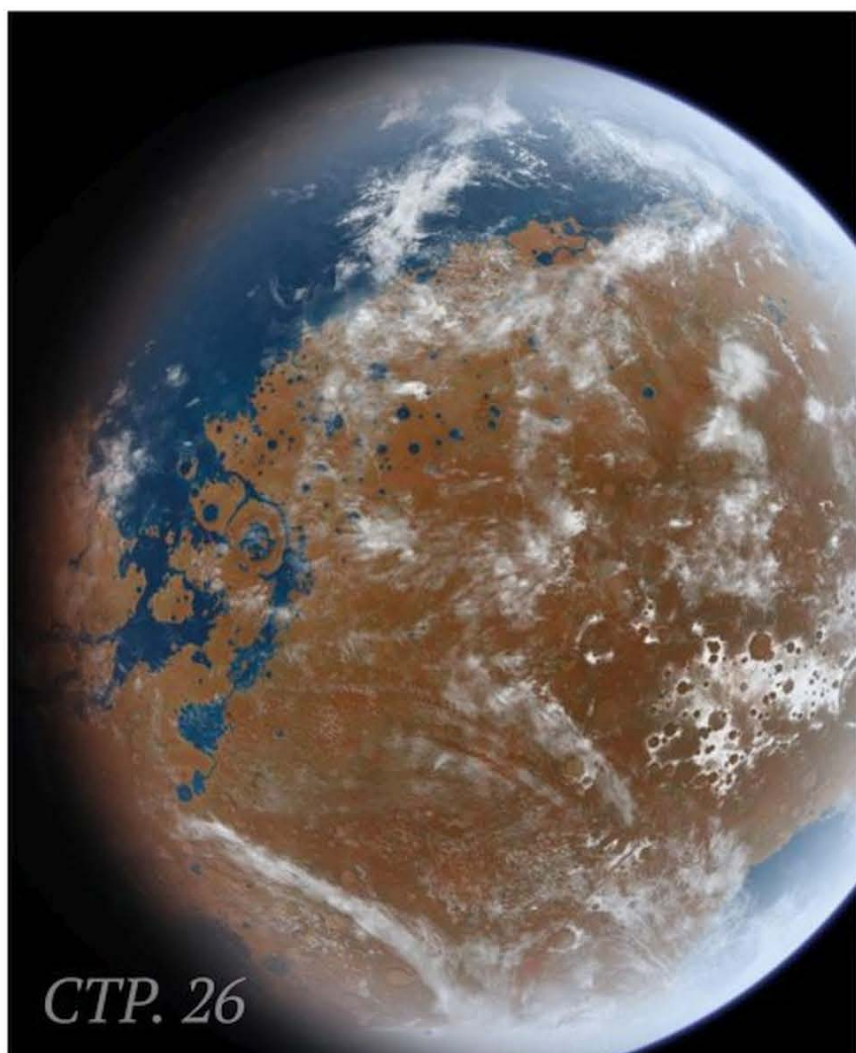
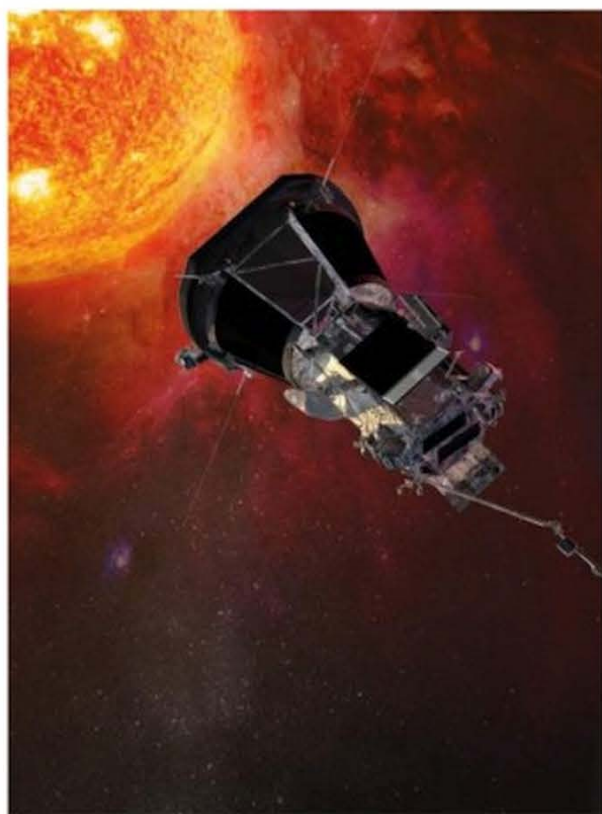
Рябов М. И. — старший научный сотрудник Одесской обсерватории радиоастрономического института НАН Украины, кандидат ф.-м. наук, сопредседатель Международного астрономического общества

Олейник И. И. — генерал-полковник, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РФ

# Parker Solar Probe

отправился к  
СОЛНЦУ

СТР. 25



СТР. 26

## ЖИЗНЬ НА МАРСЕ

ПРОШЛОЕ,  
НАСТОЯЩЕЕ,  
БУДУЩЕЕ

## БИТВА СВЕТА И ТЬМЫ

В ТУМАННОСТИ  
КИЛЯ

СТР. 34



Андронов И. Л. — декан факультета Одесского национального морского университета, доктор ф.-м. наук, профессор, вице-президент Украинской ассоциации любителей астрономии

Дизайн, верстка:  
Кисилица Е. Б.  
IT-сопровождение:  
Голойда А. Р.

Учредитель и издатель:  
ЧП «Третья планета»  
02089 Украина, г. Киев, ул. Радистов, 64  
Телефон редакции: +38 067 501-21-61  
сайт: [universemagazine.com](http://universemagazine.com)

Зарегистрировано Государственным комитетом телевидения и радиовещания Украины.  
Свидетельство КВ 7947 от 06.10.2003 г.

© ВСЕЛЕННАЯ, пространство, время —  
№ 7 (167) 2018

ВСЕЛЕННАЯ, пространство, время —  
международный научно-популярный  
журнал по астрономии и космонавтике,  
рассчитанный на массового читателя



# АСТЕ



*С 18 по 31 августа 2018 г. в австрийской столице Вене проходила юбилейная XXX Генеральная ассамблея Международного астрономического союза (IAU) — крупнейшей организации астрономов и представителей сопутствующих специальностей, объединяющей более 12 тыс. членов из 80 стран мира. Это мероприятие проводится каждые три года в одном из мировых научных центров (Австрия принимала его впервые). Представители редакции журнала «Вселенная, пространство, время» присутствовали на нем уже второй раз.*

*Всего на Генеральную ассамблею IAU прибыло почти три тысячи делегатов, более 300 человек получили статус новых членов организации на отдельном заседании. В специализированных рабочих группах делались доклады и шли дискуссии на тему формирования во Вселенной барионной (видимой) материи, исследований активных галактических ядер, роли магнитных полей в звездообразовании, возможных научных программ и приборной комплектации космических телескопов будущего. Особое внимание уделялось малым телам Солнечной системы — изучению астероидов, комет и межпланетной пыли с помощью наземных инструментов и космических аппаратов, истории открытия и современному состоянию исследований астероидных семейств, проблемам их идентификации и практическому использованию имеющихся знаний в данной области. Этим вопросам была посвящена основная часть докладов украинской делегации, оказавшейся наиболее представительной за всю историю независимой Украины. Своими мыслями о том, почему астероиды снова оказались в сфере повышенного интереса ученых и каковы перспективы их дальнейших исследований, поделился один из наших авторов Владимир Николаевич Решетник.*

# РОИДЫ

## Каменная летопись Солнечной системы

**А**стероиды — одни из самых загадочных объектов Солнечной системы, без которых ее, тем не менее, уже сложно себе представить. Из всех классов небесных тел, относящихся к «ближнему космосу» — т.е. гравитационно связанных с Солнцем — они были открыты последними: об их существовании человечество узнало 1 января 1801 г., когда Джузеппе Пиацци (Giuseppe Piazzi) случайно обнаружил Цереру (1 Ceres). Поначалу ее даже считали

самостоятельной планетой, потом «переквалифицировали» в астероид, а с 2006 г. относят к классу карликовых планет.

Долгое время астероиды открывали только между орбитами Марса и Юпитера, поэтому астрономы считали, что подобные тела «обитают» только в этой области пространства. Ситуация начала меняться на рубеже XIX и XX веков, когда были обнаружены первые околоземные астероиды, а также объекты вблизи лагранжевых точек  $L_4$  и  $L_5$  на юпитерианской орбите («греки» и «троянцы»).

**«Небесные камни»,  
среди которых мы живем**

День 4 октября 1957 года, когда двухступенчатая ракета Р7 впервые в истории вывела на орбиту искусственный спутник Земли, считается началом космической эры. В первые годы космонавтики она развивалась во многом в форме своеобразного соревнования двух сверхдержав, получившего название «космической гонки». В ее «зачет» шло каждое достижение,

так или иначе связанное с космосом: первая фотография обратной стороны Луны, первый орбитальный полет человека, первая стыковка на орбите, первые миссии к Венере и Марсу... Пожалуй, единственным классом небесных тел, исследование которых с использованием космических аппаратов на протяжении первых трех десятков лет не планировалось, оказались астероиды. Лишь в 1991 г. один из них — Гаспра (951 Gaspra) — был наконец-то сфотографирован с близкого расстояния зондом Galileo, направлявшимся к Юпитеру. В 1993 г. тот же межпланетный аппарат посетил астероид Ида (243 Ida), при этом он открыл у него небольшой спутник, получивший название Дактиль. Данный факт показал, что астероиды могут быть двойными. Позже выяснилось, что это — не редкость в мире малых тел.

Специализированная же астероидная миссия NEAR-Shoemaker стартовала в феврале 1996 г. Ее целью стал околоземный астероид Эрос (433 Eros), который до недавнего времени оставался наиболее изученным малым телом Солнечной системы. По пути к нему в 1997 г. космический аппарат сфотографировал астероид Матильду (253 Mathilde).

Кометам в этом смысле повезло заметно больше. Они были известны астрономам еще с древности, а первый космический аппарат, частью миссии которого стало исследование «хвостатой звезды» — американский зонд ICE (International Cometary Explorer)<sup>1</sup> — стартовал 40 лет назад, 12 августа 1978 г. Спустя семь лет, в сентябре 1985 г., он прошел на расстоянии 7800 км от ядра кометы Джакобини-Циннера (21P/Giacobini-Zinner), исследовав ее плазменный хвост. Но наиболее масштабным предприятием в этом направлении стал уникальный проект изучения ядра кометы Галлея (1P/Halley) — самой яркой из короткопериодических комет, возвращающейся к перигелию каждые 75-76 лет. Еще в



▲ Астероиды Ида (слева) и Гаспра в одном масштабе. Снимки были сделаны космическим аппаратом Galileo по пути к Юпитеру соответственно 28 августа 1993 г. с расстояния 3000-3800 км и 29 октября 1991 г. с расстояния 5300 км. Размеры Иды составляют 59,8×25,4×18,6 км, Гаспры — 18×10,5×9 км. По составу они представляют собой каменные тела, достаточно типичные для Главного пояса астероидов, где уже открыто около 2 млн подобных объектов (и примерно для полумиллиона с достаточной точностью определены орбиты), в том числе содержащих заметные количества металлов — в основном железа — и органических веществ.

Практически все астероиды

имеют неправильную форму. Их поверхность укрыта слоем реголита (состоящего из каменных осколков размером от валуна до песчинки) толщиной до сотни метров. Большое количество кратеров на ней говорит о продолжающейся «метеоритной бомбардировке». На Иде плотность кратеров выше — значит, она возникла раньше, чем Гаспра. Наличие Дактиля — спутника Иды — позволило оценить ее массу, которая примерно равна  $4,5 \times 10^{13}$  тонн, и плотность —  $2,6 \pm 0,5$  тонн на кубометр. Считается, что эта величина близка к средней для объектов астероидного пояса.

NASA/JPL/USGS

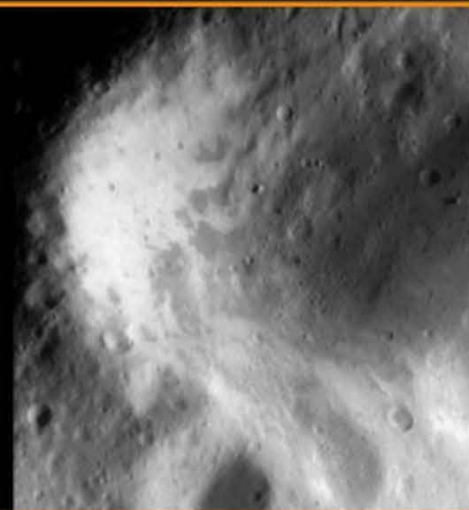
<sup>1</sup> Изначально этот аппарат назывался ISEE 3 (International Sun/Earth Explorer 3)

► Мозаичное изображение северного полушария астероида Эрос (433 Eros), составленное из шести снимков космического аппарата NEAR Shoemaker. Фотографирование велось 29 февраля 2000 г. с расстояния около 200 км. Хорошо заметны основные особенности поверхности этого продолговатого небесного тела: обширная впадина в нижней части и 5,3-километровый кратер вверху. Для совмещения исходных снимков использовалась компьютерная обработка.



► Эта фотография крупнейшего кратера на поверхности Эроса, получившего название «Психея», представляет собой мозаику снимков, сделанных зондом NEAR Shoemaker 10 сентября 2000 г. с высоты около 100 км. Практически на валу этой ударной структуры (на его внешней стороне) расположен примерно в пять раз меньший вторичный кратер, видимый в нижней части изображения. Он возник явно позже основного кратера — как и пересекающие его разломы, связанные, по-видимому,

с ударным воздействием на другие участки астероида. Более яркие «вкрапления» на кратерном валу, вероятнее всего, представляют собой обнажения глубинного материала, не успевшего потемнеть под действием космической радиации и ударов микрометеоритов. Интересно, что некоторые крупные обломки удерживаются на склонах, не скатываясь в углубления. Такой эффект возникает благодаря неравномерности гравитационного поля Эроса, обусловленной его неправильной формой.



◀ Так называемое «Южное седло» — крупнейшая деталь поверхности астероида Эрос. Эта фотография составлена из четырех снимков, сделанных зондом NEAR Shoemaker 26 сентября 2000 г. с расстояния 100 км. Протяженная изогнутая впадина, простирающаяся вниз от центра изображения, частично находится в тени. За правым валом заметен регион, усыпанный большим количеством валунов метровых размеров.

XVII веке знаменитый английский ученый Эдмонд Галлей (Edmond Halley) обнаружил ее периодичность и рассчитал ее орбиту. Впоследствии ей присвоили его имя.

К очередному прохождению кометой перигелия в 1986 г. к ней была направлена целая флотилия из пяти космических аппаратов — советские «Вега-1» и «Вега-2», японские «Суисей» и «Сакигаке», а также европейский Giotto. Результаты их совместной работы позволили создать более реалистичные модели кометных ядер и стали толчком для разработки новых, более сложных миссий к малым телам. На данный момент детальному изучению — не с пролетных траекторий — подверглись уже четыре из них. Кроме упомянутого Эроса, в этом списке значатся астероиды Итокава (25143 Itokawa) и Веста (4 Vesta), а также комета Чурюмова-Герасименко (67P/Churyumov-Gerasimenko). Продолжаются исследования карликовой планеты Цереры (1 Ceres) и астероида Рюгу (162173 Ryugu), в окрестностях которого находится японский аппарат «Хаябуса-2». Всего же за историю космонавтики земные посланцы сблизались более чем с двумя десятками подобных объектов. Однако, учитывая то, что на данный момент общее число пронумерованных астероидов (с надежно определенной орбитой) приближается к полумиллиону, все это не более чем капля в море...

С помощью наземных телескопов астероиды активно изучают свыше двух столетий. С недавних пор эти объекты видны уже не как звездочки (отчего и получили название «астероиды», т.е. «звездopodobные»): современные технологии предоставили возможность рассмотреть у крупнейших из них детали поверхности. Одна из таких технологий — адаптивная оптика, позволяющая свести к минимуму искажения, вносимые неоднородностями земной атмосферы. Много интересного ученые узнали также благодаря радиолокации, осуществляемой с использованием крупнейших радиотелескопов. Подтвердилось предположение о том, что отличия между

кометами и астероидами не особенно велики: некоторые астероиды могут быть «потухшими» кометами, а некоторые иногда «просыпаются» и начинают демонстрировать кометную активность. Еще в XIX веке была доказана связь метеорных потоков с малыми телами (главным образом с периодическими кометами). Полеты космических аппаратов к газовым гигантам показали, что многие их спутники — в особенности небольшие и имеющие неправильную форму — также некогда были кометами либо астероидами, в какой-то момент захваченными гравитационными полями массивных планет.

Основное различие между кометами и астероидами заключается в том, что кометные ядра имеют под поверхностью достаточные запасы замерших летучих веществ (таких, как аммиак, вода, углекислый и угарный газ), чтобы при нагреве вблизи Солнца сформировать значительную по размерам, но весьма разреженную атмосферу — кому. Под действием солнечного ветра часть ее начинает двигаться примерно в противосолнечном направлении, «вытягиваясь» в хвост. Астероиды же таких запасов лишены изначально либо за долгое время потеряли их вследствие сублимации — испарения без перехода в жидкое состояние. Как известно, вода в космическом пространстве в жидком виде существовать не может, а лед на больших расстояниях от Солнца сохраняется на протяжении миллионов лет, однако внутри некой условной границы он быстро сублимирует и улетучивается в космос. Эта граница называется «снеговой линией». В Солнечной системе она проходит в Главном поясе астероидов на расстоянии около 3 а.е. от нашего светила. Формально можно провести такие линии для других летучих компонентов ядра — они будут находиться на больших гелиоцентрических расстояниях.

У большинства комет кома начинает формироваться примерно в 3-4 а.е. от Солнца, то есть ее главным источником должна быть сублимация самых летучих веществ (в основном оксидов

углерода). Еще дальше, начиная с области планет-гигантов, визуально отличить кометное ядро от «безводного» астероида чаще всего невозможно. Тела, движущиеся за орбитой Нептуна — в поясе Койпера и дальше, в облаке Оорта — могут быть полностью ледяными. При этом их атмосфера состоит из самых летучих газов (азота, метана, монооксида углерода), но, как правило, она настолько разрежена, что обнаружить ее с Земли крайне затруднительно.

На снимках, сделанных с близкого расстояния, на поверхности астероидов были обнаружены многочисленные детали — кратеры, валуны, трещины. Изучив их спектральные характеристики, астрономы стали лучше понимать процесс «космического выветривания», в результате которого внешний слой безатмосферных тел (реголит) под действием космической радиации и ультрафиолетового излучения со временем приобретает красноватый оттенок. Большинство астероидов имеет именно такой характерный цвет, что свидетельствует об их значительном возрасте.

Еще более интересные особенности продемонстрировала Церера, вокруг которой с марта 2015 г. обращается космический аппарат Dawn. На ней обнаружены признаки криовулканизма (извержений из недр соленой воды и водно-аммиачной смеси), имевшего место, по-видимому, совсем недавно. На это указывает, в частности, необычная форма 4-километровой горы Ахуна, а также множественные образования с высоким альбедо — самые крупные и яркие из них сосредоточены внутри 90-километрового кратера Оккатор. Химический анализ, проведенный при помощи инструментов зонда, показал, что белые пятна состоят из солей, очевидно, оставшихся после испарения соленой воды. В целом количество кратеров на поверхности карликовой планеты оказалось меньшим, чем ожидалось, что также свидетельствует о высокой внутренней активности, постоянно меняющей ее облик. Обсуждается возможность существования на Церере зна-



чительных запасов воды в виде глобального подповерхностного океана — вероятнее всего, это тело образовалось на большом расстоянии от Солнца, далеко за пределами водяной «снеговой линии».

## Загадки малых тел

Еще на заре развития космонавтики философы задумывались над вопросами: что может дать человечеству освоение космоса? Как оно способно изменить нас? В полной мере эти вопросы касаются и отдельных аспектов космических исследований. Наша цивилизация благополучно существовала тысячи лет, ничего не зная об астероидах. Стоит ли тратить миллиарды долларов на дорогостоящие миссии к ним? Чем они интересны астрономам (а возможно, и представителям других наук)?

Согласно современным представлениям, астероиды и кометные ядра в большинстве своем являются очень древними телами, возникшими на заре формирования Солнечной системы. Они хранят вещество, из которого образовались планеты более 4 млрд лет назад. Однако, в то время как большие планеты вследствие своих огромных размеров менялись под действием тектоники, выветривания и прочих факторов (а газовые гиганты вообще прошли полную гравитационную дифференциацию на ранних стадиях своей эволюции), малые тела с момента образования «пострадали» значительно меньше. Изучение их вещества, структуры, химического и изотопного составов позволят лучше понять процессы планетообразования, планетной эволюции, а возможно — даже разобраться в причинах и механизмах появления жизни.

Итак, после нескольких десятилетий относительного «забвения» астероиды снова оказались в фокусе внимания астрономов, для чего есть несколько весомых оснований.

**Фундаментальные исследования.** Как отмечалось ранее, изучение

малых тел даст ключ к пониманию истории Солнечной системы и, возможно, эволюции планетных систем иных звезд.

Исследования структуры ядер комет позволят более четко представить себе процесс слипания пылинок на самых ранних этапах формирования протопланетного диска. Ученым до сих пор не удается адекватно смоделировать этот процесс в лабораториях или на компьютерах, поэтому даже информация о структуре мельчайших частиц кометного вещества может пролить свет на многие неизвестные подробности образования нашей планеты.

Изучение астероидов показывает, как могла изменяться материя под влиянием условий открытого космоса в ближайших окрестностях Солнца (внутри снеговой линии). Информация о крупных телах Главного пояса также важна для понимания процессов, протекавших в недрах протопланетных объектов, из которых, как принято считать, позже образовались планеты. Химический состав кометных ядер и астероидов помогает понять условия, царившие на древней

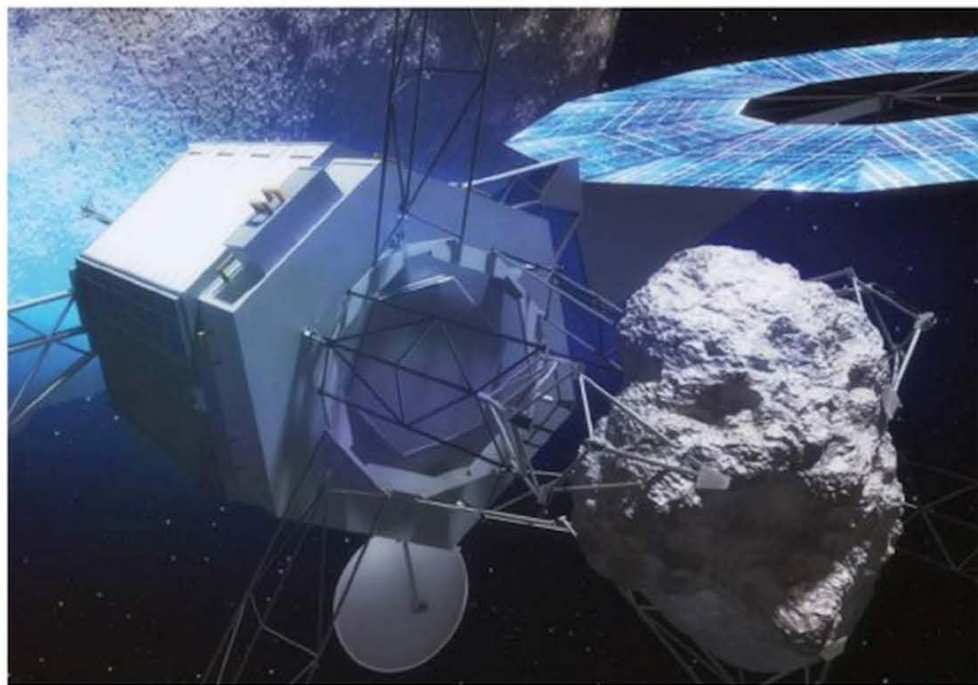
Земле, в том числе возможный состав ее атмосферы и многие другие параметры. Обнаружение значительных количеств разнообразных органических молекул в составе малых тел (в первую очередь комет) стало важной вехой в изучении механизмов зарождения жизни, что приблизило нас к ответу на вопрос, какие условия необходимы для этого и насколько само явление жизни может быть распространено во Вселенной. Открытие живых организмов хотя бы на еще одном объекте Солнечной системы будет означать, что те или иные формы живого встречаются в космосе не так уж и редко, а значит, наши шансы однажды встретить «братьев по разуму» сильно возрастают.

**Развитие технологий.** Полеты к малым телам Солнечной системы с выходом на орбиту вокруг них, посадкой их на поверхность, исследованием вещества, взятием образцов и доставкой их на Землю требуют сложных научно-исследовательских и конструкторских работ. Для реализации подобных проектов нужно разрабатывать специальные

▼ Миссия ARM (Asteroid Redirect Mission) предусматривала полет автоматического аппарата к одному из околоземных астероидов, захват его (или его части) с помощью специального устройства и дальнейшую транспортировку на окололунную орбиту, откуда его образцы будет проще доставить на Землю или же отправить к нему пилотируемый корабль. Однако, в соответствии

со специальной директивой, выпущенной администрацией США 11 декабря 2017 г., работы над миссией были прекращены. Тем не менее, многие технологии, разрабатывавшиеся для нее, могут быть использованы для полетов человека на Луну и к другим телам Солнечной системы.

[jpl.nasa.gov](http://jpl.nasa.gov)



технологии и инструменты. Все это сопровождается необходимостью развития многих отраслей промышленности, прикладной и фундаментальной науки в целом. Во многих случаях межпланетные аппараты, вследствие значительной удаленности астероидов от Земли и ограниченности скорости распространения радиосигналов (равной скорости света), проводят полуавтономные исследования под управлением бортовых компьютеров с использованием самых совершенных алгоритмов. Технические и программные решения, разработанные для них, могут быть полезны и в других перспективных проектах — как космических, так и земных. Организации и страны, владеющие такими технологиями, однозначно демонстрируют первенство также в остальных областях науки и техники.

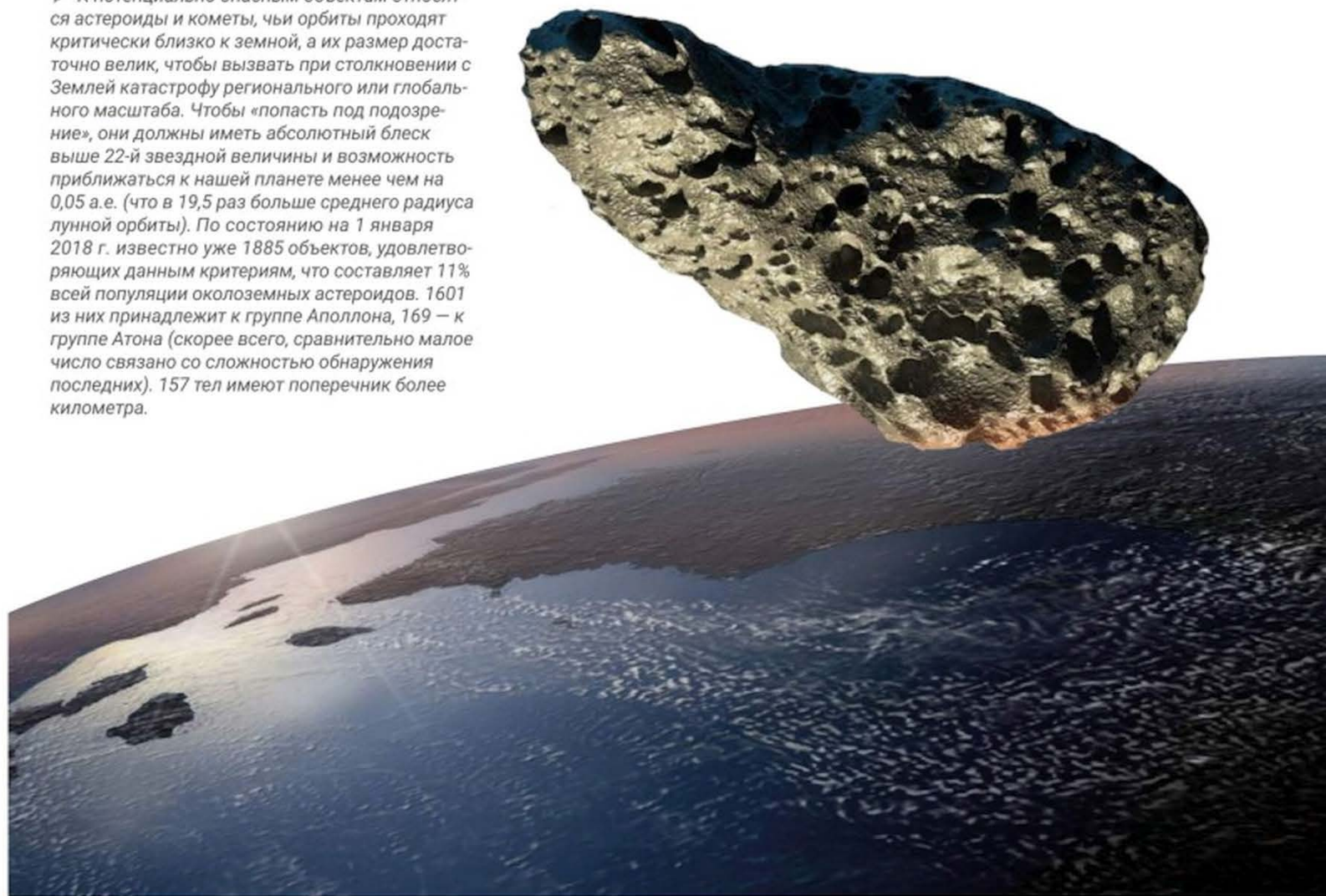
**Безопасность.** Тема астероидно-кометной опасности хорошо «раскручена» в первую очередь благодаря киноиндустрии. Но она

ни в коем случае не является фантазией режиссеров и сценаристов: этот вопрос действительно весьма важен для выживания нашей цивилизации. Как показывают исследования, Земля регулярно сталкивается со значительными по размерам астероидами и кометами. Падение небесного тела поперечником в несколько сотен метров может привести к локальной катастрофе, а при размерах порядка километров катастрофа приобретет глобальный масштаб и способна поставить человечество как вид на грань выживания. Современный уровень технологий позволяет практически полностью ликвидировать данную опасность при условии раннего выявления объекта. Ведущие страны создали систему поисков и изучения астероидов — в первую очередь тех, которые потенциально могут столкнуться с нашей планетой. Большая часть таких объектов размером свыше километра из числа сближающихся с Землей уже обнаружена. Их орбиты определе-

ны достаточно надежно, и теперь мы знаем, что в ближайшие десятилетия они не представляют для нас опасности. Текущие поисковые проекты расширены с целью выявления потенциальных импакторов меньших размеров.

Тем не менее, всегда остается ненулевая вероятность того, что к Земле приблизится неизвестный ранее объект, поэтому служба выявления и отслеживания движения околоземных астероидов должна работать в непрерывном режиме. Для постоянного мониторинга всей небесной сферы такие проекты поддерживаются и осуществляются странами, расположенными в Северном и Южном полушариях планеты в тесном сотрудничестве. После открытия нового потенциально опасного тела требуется провести более тщательные измерения его положения для точного расчета орбиты. Если будет доказано, что она пересекается с земной, возникнет необходимость более детальных исследований

► К потенциально опасным объектам относятся астероиды и кометы, чьи орбиты проходят критически близко к земной, а их размер достаточно велик, чтобы вызвать при столкновении с Землей катастрофу регионального или глобального масштаба. Чтобы «попасть под подозрение», они должны иметь абсолютный блеск выше 22-й звездной величины и возможность приближаться к нашей планете менее чем на 0,05 а.е. (что в 19,5 раз больше среднего радиуса лунной орбиты). По состоянию на 1 января 2018 г. известно уже 1885 объектов, удовлетворяющих данным критериям, что составляет 11% всей популяции околоземных астероидов. 1601 из них принадлежит к группе Аполлона, 169 — к группе Атона (скорее всего, сравнительно малое число связано со сложностью обнаружения последних). 157 тел имеют поперечник более километра.



формы новооткрытого объекта, его химического состава, динамических параметров и прочих характеристик. Вся эта информация нужна для принятия решения о наиболее удобном и дешевом варианте устранения угрозы. Поскольку от момента открытия до возможного столкновения может пройти не так много времени, разработка эффективных методов исследования астероидов, технологий подлета и посадки на них космических аппаратов оказывается критически важной. За последние два десятилетия специалисты перешли от общего обсуждения к проработке конкретных планов по возможному изменению орбиты или уничтожению «небесного камня». Обнаружение потенциально опасного объекта значительных размеров потребует концентрации усилий многих стран для его ликвидации, и решение о дальнейших действиях придется принимать не только ученым, но и, возможно, политикам.

**Коммерческая ценность.** Наша планета уникальна в геологическом плане. Ее кора содержит различные минералы, руды и прочие полезные ископаемые. Вследствие особенностей эволюции Вселенной (и планет в частности) некоторые из химических элементов в земной коре представлены в незначительных количествах. Тяжелые элементы — такие, как золото или уран — на ранних этапах гравитационной дифференциации вещества фактически «утонули», опустившись к земному ядру, что делает их добычу очень сложной и энергоемкой. Современные технологии не достигли уровня, позволяющего проводить разработку ресурсов на глубинах более нескольких километров. Учитывая размеры Земли, добыча ископаемых проводится практически лишь в тонком приповерхностном слое.

Исследования астероидов показывают, что некоторые из них богаты металлами, другие — водосодержащими минералами, что существенно облегчит их освоение (кометы, судя по всему, содержат воду в обязательном порядке). Небольшой астероид группы X радиусом несколько сотен метров может содержать

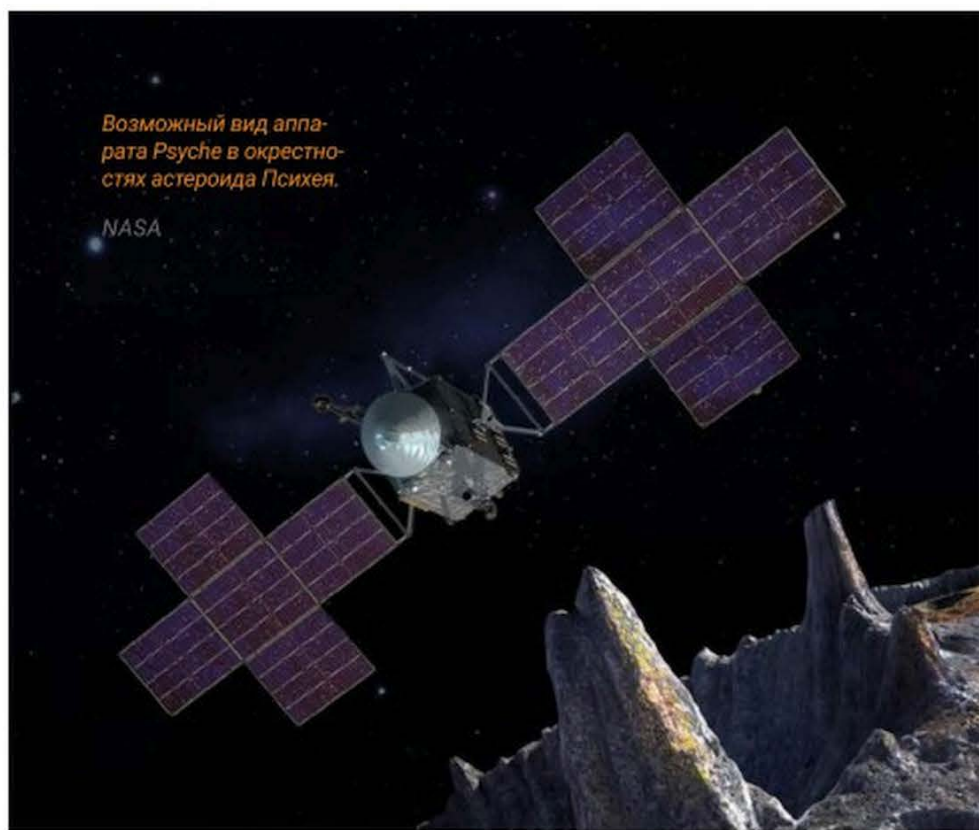


▲ Астероид Психея (16 Psyche) в представлении художника. Предположительно этот объект является фрагментом металлического ядра протопланеты (величиной примерно с Марс), потерявшей почти всю свою силикатную кору в результате космического столкновения. Его средний размер равен 210 км, что всего в 16 раз меньше диаметра Луны. На один оборот вокруг своей оси у астероида уходит чуть больше четырех часов. Его орбита пролегает на расстоянии от 2,5 до 3,3 а.е. от Солнца (в среднем в 2,9 раз дальше, чем орбита Земли).

Психея выбрана в качестве цели специализированной одноименной миссии клас-

са Discovery, которая должна начаться в октябре 2022 г. После двух гравитационных маневров в поле тяготения Земли и Марса космический аппарат в 2026 г. подлетит к астероиду, выйдет на орбиту вокруг него и будет осуществлять его исследование на протяжении 21 месяца. Среди предложенных научных инструментов — мультиспектральная камера, нейтронный и гамма-спектрометр, магнитометр, оборудование для доплеровских радиоэкспериментов по измерению гравитационного поля.

SSL/ASU/P. Rubin/NASA/JPL-Caltech



Возможный вид аппарата Psyche в окрестностях астероида Психея.

NASA

столько железа, сколько все человечество добывает на протяжении года. Крупнейший из известных металлических астероидов Психея (16 Psyche) имеет поперечник более 200 км и массу порядка  $10^{16}$  тонн, причем состоит он главным образом из железо-никелевого сплава (а не из требующих дополнительной обработки оксидных или сульфидных руд, в виде которых эти металлы присутствуют в земной коре). Среди астероидов, как показывают исследования, присутствуют объекты со значительной концентрацией драгоценных металлов, что делает их разработку еще более привлекательной.

В последние годы промышленное освоение астероидов перешло в практическую плоскость. Создан ряд компаний, задекларировавших своей главной целью добычу полезных ископаемых в космосе. Детально прорабатываются методы добычи и доставки сырья на Землю. Здесь возможны следующие варианты: извлечение руды с дальнейшей ее транспортировкой к месту переработки либо же первичная переработка «на месте» с доставкой потребителям уже готового материала. Предложены также варианты перемещения астероида на орбиту вокруг Земли или Луны (это должно снизить транспортные расходы).

С точки зрения добычи минералов наибольший интерес представляют астероиды, сближающиеся с Землей, поскольку они не требуют создания сложных технологий перемещения огромных масс на большие расстояния в Солнечной системе. Следует помнить, что большинство таких объектов обладает незначительными по космическим меркам размерами и массами, и даже посадка на них имеет свои особенности — она скорее подобна стыковке в условиях микрогравитации. Все эти особенности также учитываются при разработке проектов промышленного освоения малых тел. Уже имеющиеся оценки показывают, что добыча полезных ископаемых на некоторых из них может быть коммерчески выгодной. С удешевлением и распространением

ракетно-космических технологий, их массовой коммерциализацией, наблюдающейся в последние годы, в ближайшие десятилетия следует ожидать полетов на астероиды, организованных частными компаниями.

**Престиж.** Страны, запускающие космические аппараты к другим телам Солнечной системы, принадлежат к элитному клубу, попасть в который не так просто. Отправка миссии за пределы низких околоземных орбит свидетельствует о достижении определенного уровня технологий, образования, научно-промышленной базы. В конце XX века между странами Юго-восточной Азии фактически развернулась новая космическая гонка. Появились новые планы в ракетостроении, началось освоение прогрессивных технологий (в том числе пилотируемых полетов) и, конечно же, пространства за пределами геостационарной орбиты. Индия, Китай и Япония конструируют и запускают автоматические аппараты к Луне, Венере, Марсу, кометам и астероидам. Во многих странах возможность организовать космические исследования при помощи отечественной техники рассматривается как вопрос престижа. Ученые и инженеры берутся за все более амбициозные проекты, большая часть которых финансируется из государственных бюджетов. В процессе подготовки и реализации межпланетных миссий происходит не только развитие соответствующих технологий, но и стимулируется образовательный аспект освоения космоса, начиная с создания и развития профильных учебных заведений и заканчивая воспитанием самых юных представителей общества. Например, школьники часто дают названия космическим аппаратам, принимают участие в специальных конкурсах и конференциях. Победители таких мероприятий могут присутствовать на сборочных площадках, общаться со специалистами, создающими космическую технику, посещать запуски ракет-носителей и многое другое. Все это повышает престижность профессии инженера и ученого, становится

своеобразной рекламой предприятням, вовлеченным в космонавтику, причем как в самой стране, так и в мировом масштабе. Иногда ракетно-космическая отрасль выступает двигателем научно-технического прогресса всего государства.

**Познание неизвестного.** Человечеству свойственно стремление к поиску ответов. Наш мозг постоянно требует новой информации для обработки. Кто-то загружает свой ум виртуальной реальностью, сериалами или общением в социальных сетях, кто-то отдает предпочтение творчеству или искусству... а кому-то интересны научные исследования. Но в любом случае мы всегда пытаемся двигаться дальше, за грань уже познанного, хотим увидеть или почувствовать что-то новое, понять непонятое. Возможно, именно эта особенность сделала нас теми, кем мы есть, выделила нас из остального мира «бессознательных» живых существ. Эта же мотивация заставила нас выйти в космос и начать покорение других миров.

Мы находимся в самом начале интереснейшей одиссеи — путешествия к звездам. И в целом нами движет не корысть, а скорее желание сделать определенные вещи «не потому что они просты, а потому что они сложны». Как показывает опыт существования нашей цивилизации длиной в тысячи лет, такая стратегия выгодна, даже если порой случаются неудачи. Освоение Солнечной системы, а в будущем, возможно, и планет иных звезд, изменит человечество, как это уже неоднократно случалось — например, в результате развития сельского хозяйства или промышленной революции.

## Ближайшая перспектива

С момента запуска первых ракет за границу атмосферы прошло уже более семидесяти лет, и человечество за это время кардинальным образом изменилось. Космонавтика стала неотъемлемой частью повседневности. Сейчас космические

технологии используются повсеместно, мы даже не задумываемся о том, что они присутствуют вокруг нас. В первые годы проникновения человека в космос прогресс в этой области был удивительно быстрым — между запуском первого спутника и высадкой астронавтов на Луну прошло менее 12 лет. Правда, тогда «главным двигателем» этого прогресса были технологически развитые государства и развернувшаяся между ними «космическая гонка». На определенном этапе сложность разработки новых образцов космической техники, а также всемирный топливный кризис вынудили участников этой гонки «сбавить темп», поэтому мы пока не имеем обитаемой базы на Луне и не отправляем людей на другие планеты. Но это, похоже, уже вопрос недалекого будущего.

Сейчас мы являемся свидетелями перелома, главным образом, в сознании среднестатистического человека. Уровень инженерных технологий, компьютерной техники и подготовки специалистов позволяет создать космический аппарат усилиями относительно небольшой группы людей и за достаточно скром-

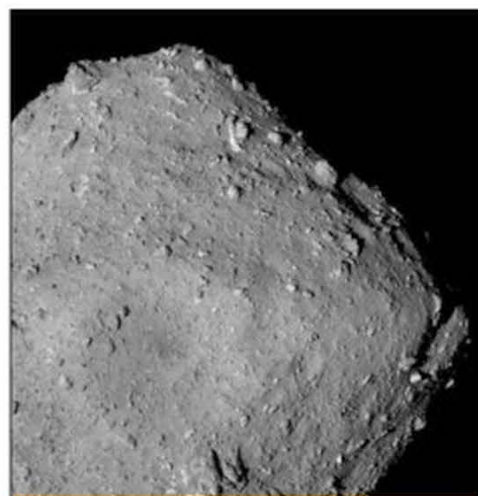
ные деньги. Получили популярность университетские спутники, конструируемые коллективами студентов и преподавателей. Частные компании начали массовое производство и запуски мощных ракет-носителей, ведутся испытания космических кораблей для полетов уже не только профессиональных астронавтов или специально подготовленных профильных специалистов, но и всех желающих. Все это позволяет значительно удешевить разработку и создание аппаратов для изучения объектов Солнечной системы.

Но если ближний космос в последние годы быстро коммерциализируется, то исследования пространства за пределами лунной орбиты пока ведутся исключительно государственными структурами (либо по их заказу). Поэтому, рассуждая о планах будущих астероидных миссий, мы можем говорить лишь о проектах, реализуемых крупными космическими агентствами. Упомянем здесь те из них, которые уже осуществляются, находятся в стадии подготовки либо с большой вероятностью будут осуществлены в ближайшее десятилетие.

Как уже упоминалось, в июне 2018 г. зонд «Хаябуса-2» прибыл в окрестности астероида Рюгу и уже передал на Землю первые результаты его исследований. Следующий на очереди — космический аппарат OSIRIS-REx, который в 2019 г. должен выйти на орбиту вокруг астероида Бенну (101955 Bennu). После его изучения и взятия образцов автоматический разведчик вернется на Землю в 2023 г.

В январе 2019 г. ожидается пролет космического аппарата New Horizons вблизи объекта пояса Койпера (486958) 2014 MU69 — для него выбрано рабочее название «Ультима Туле». На долгие годы он станет самым удаленным телом Солнечной системы, посещенным рукотворным аппаратом.

Для реализации в ближайшие годы предложен ряд интересных проектов. В первую очередь хотелось бы назвать миссию «Люси» (Lucy), разработанную NASA для изучения троянских астероидов, движущихся в окрестностях «треугольных» точек Лагранжа  $L_4$  и  $L_5$  на юпитерианской орбите. Поскольку расстояние от Солнца до этих астероидов практически такое же,



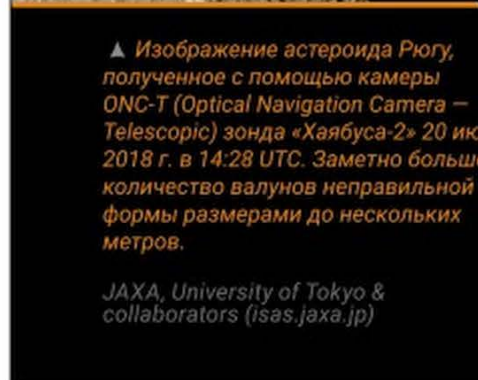
▼ Снимок астероида Рюгу, сделанный автоматическим аппаратом «Хаябуса-2» с расстояния 6 км. Дальнейшие планы Японского агентства космических исследований включают в себя взятие проб его вещества и «бомбардировка» с помощью снаряда-импактора с целью вскрытия более глубоких слоев и создания облака выбросов, частицы которых планируют собрать специальной ловушкой.

isas.jaxa.jp



▲ На этой фотографии астероида Рюгу, сделанной 21 сентября 2018 г., видна тень от зонда «Хаябуса-2» на его поверхности (левее и выше центра). В ходе этого сближения с небесным телом на него были сброшены два миниробота Minerva-II-1.

JAXA via AP

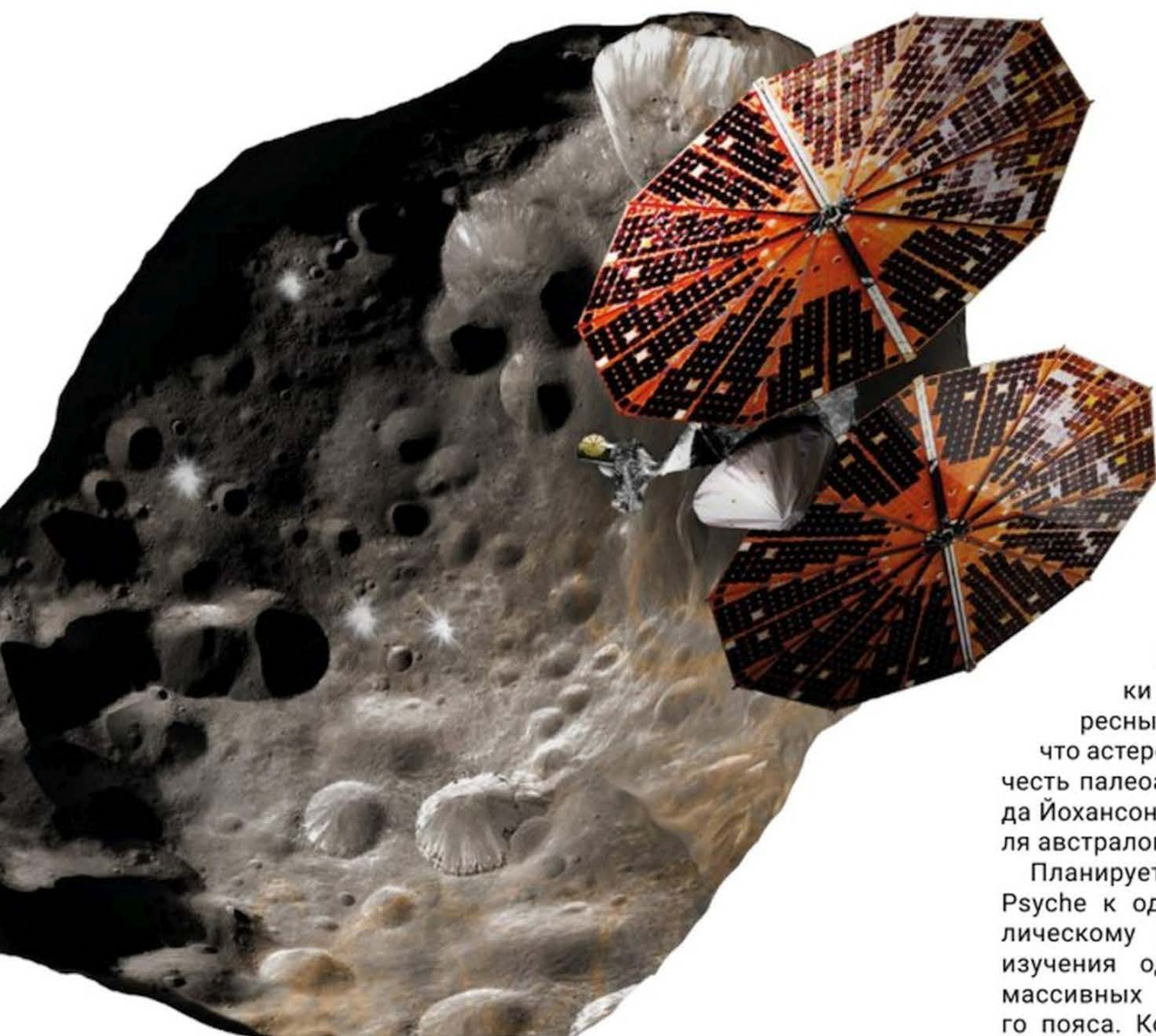


▲ Изображение астероида Рюгу, полученное с помощью камеры ONC-T (Optical Navigation Camera — Telescopic) зонда «Хаябуса-2» 20 июля 2018 г. в 14:28 UTC. Заметно большое количество валунов неправильной формы размерами до нескольких метров.

JAXA, University of Tokyo & collaborators (isas.jaxa.jp)

как и до Юпитера (около 5 а.е.), это значит, что все они находятся за снеговой линией. Соответственно на них должно быть много древнего вещества, из которого образовались планеты.

Космический аппарат назван в честь австралопитека Люси, чей скелет был раскопан в Африке в 1974 г. Она оказалась первой найденной особью своего вида и получила имя героини песни Beatles. Название миссии к троянским астероидам намекает на то, что в ходе нее будут исследованы «ископаемые» объекты протопланетного диска, предположительно сохранившиеся в области точек Лагранжа на орбитах планет-гигантов. Главной задачей Лусы станет изучение нескольких небесных тел. На данный момент детально проработана траектория, включающая посещение астероида Главного пояса Дональдйохансон (52246



«Lусу — первая миссия по исследованию «троянцев» (объектов, находящихся вблизи точек Лагранжа  $L_4$  и  $L_5$  системы «Солнце-Юпитер»), которые могут быть фрагментами первичного материала, оставшегося после завершения формирования больших планет порядка 4,5 млрд лет назад. Свое название миссия получила в честь первобытной женщины, жившей более 3 млн лет назад — остатки ее скелета были обнаружены в Африке в 1974 г.

[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Donaldjohanson), а далее — пяти объектов вблизи юпитерианской точки Лагранжа  $L_4$ . Интересным является тот факт, что астероид №52246 назван в честь палеоантрополога Дональда Йохансона — первооткрывателя австралопитека Люси.

Планируется также миссия Psyche к одноименному металлическому астероиду с целью изучения одного из наиболее массивных объектов Главного пояса. Космический аппарат

должен выяснить происхождение Психеи — предполагается, что она может быть частью железо-никелевого ядра одной из планетезималей, потерявшей силикатную мантию во время катастрофического столкновения. Если данная гипотеза подтвердится, мы получим уникальную возможность проанализировать условия в недрах планет «напрямую». Миссия поможет ответить и на множество других вопросов — например, как затухает планетное «магнитное динамо», отличаются ли кратеры на металлических астероидах от ударных структур на каменных объектах и многие другие. Для детальных исследований Психеи космический аппарат должен выйти на орбиту вокруг нее и проработать в ее окрестностях около двух лет.

Японская миссия DESTINY+ должна посетить астероид Фазтон (3200 Phaethon). Он интересен тем, что связан с метеорным роем Геминид — самым мощным ежегодным потоком земного неба. Фазтон является околоземным астероидом и относится к группе «аполлонов». Его орбита сильно вытянута и пересекает орбиты всех планет земной группы. Такие орбитальные особенности присущи кометам.

Возможно, необычный астероид в прошлом тоже относился к этому классу небесных тел, но за долгие годы «растерял» свои летучие вещества, а с ними — возможность образовывать кому и хвост. Миссия будет посвящена детальному изучению космической пыли, особенно ее органической компоненты. В ее рамках автоматический аппарат подойдет к Фазтону и проанализирует образцы пылинок в его окрестностях. Таким образом, задачей зонда станет определение происхождения этого объекта. По оценкам ученых, нескольких процентов околоземных астероидов могут быть такими же «потухшими» кометами.

Также идет активное обсуждение новых кометных миссий. Возможно, космический аппарат снова посетит уже хорошо изученную комету Чурюмова-Герасименко. Ученым важно понять, насколько быстро происходит эрозия ее ядра. Предварительные исследования показывают, что кометы не только теряют пыль и летучую компоненту: на поверхностях их ядер имеет место активное перемещение материи. Некоторые участки запыляются, в то время как другие — очищаются. Еще одной задачей миссии может

быть доставка на Землю образцов кометного вещества.

В более отдаленной перспективе (в следующие десятилетия) мы, скорее всего, станем свидетелями высадки человека на астероиды. А далее практически неизбежно начнется их промышленное освоение. Возможно, сегодня это выглядит фантастикой... но всего сто лет назад такой же фантастикой казался полет человека на Луну. ■

▼ Японский аппарат DESTINY+ (Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage), используя в качестве средства тяги ионные реактивные двигатели, должен пролететь вблизи астероида Фазтон (3200 Phaethon), который считается родоначальником метеорного потока Геминиды, и провести его научные исследования. Далее автоматический разведчик будет направлен к еще одному малому телу Солнечной системы (решение о конкретной цели баллистики примут позже). Масса зонда составит около 480 кг, плановая продолжительность работы — 4 года. Его основная задача — изучение межпланетной пыли и метеорных частиц. Именно они, как полагают ученые, «занесли» на Землю достаточные количества воды и органических веществ, что в дальнейшем позволило зародиться жизни.

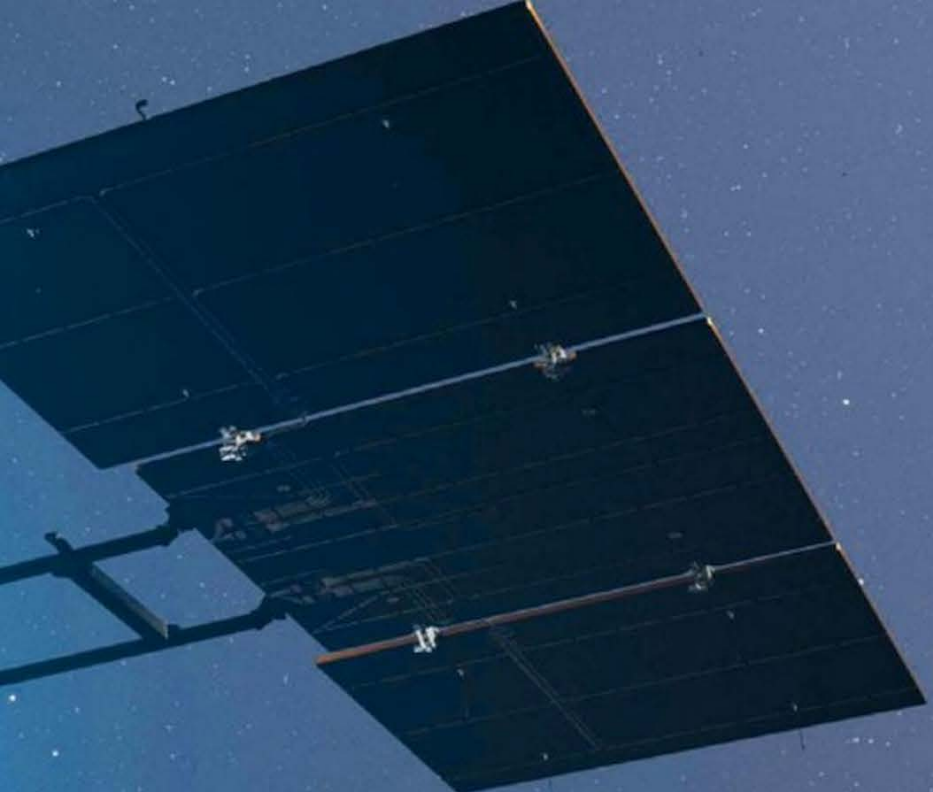
JAXA





# РЮГУ





**Владимир  
Манько**

«Вселенная,  
пространство, время»

В феврале 1970 г. Япония стала четвертой страной мира (после СССР, США и Франции), запустившей собственный искусственный спутник Земли. С тех пор она принимает активное участие в исследованиях космоса — выводит на околоземную орбиту космические телескопы, имеет собственный модуль на МКС, отправляет к станции грузовые корабли... Еще в 1990 г. японский зонд исследовал окрестности Луны, в 1998 г. стартовала первая национальная миссия к Марсу (к сожалению, неудачная), а в 2010 г. Страна восходящего Солнца запустила автоматический разведчик к Венере, до сих пор работающий на орбите вокруг нее. 1 октября 2003 г. для более эффективной координации и распределения средств все научные и конструкторские организации Японии, имеющие отношения к космонавтике, были объединены в агентство космических исследований JAXA с годовым бюджетом около 2 млрд долларов. Однако направлением, на котором японские специалисты достигли наибольших успехов (и даже могут гордиться действительно уникальными достижениями), стали исследования астероидов.

# НОВАЯ ЦЕЛЬ ЯПОНСКОГО «Сокола»

## Легендарный предшественник

Первый зонд «Хаябуса», что в переводе с японского языка означает «Сокол», был запущен более 15 лет назад — 9 мая 2003 г. из космического центра Утиноура.<sup>1</sup> Его единственной целью стал околоземный астероид Итокава (25143 Itokawa), которого он достиг в сентябре 2005 г., предварительно 19 мая 2004 г. совершив гравитационный маневр в окрестностях Земли.

В этой миссии многое было «впервые» — посещение астероида с целью возвращения на Землю проб его грунта, «обстрел» его специальными пулями, сброс на поверхность микромодуля, оснащенного тремя камерами... Кроме того, маневрирование аппарата в межпланетном пространстве осуществлялось с использованием ионно-реактивных двигателей. До этого за пределами низких околоземных орбит их использовали только в экспериментальном режиме при полете американского зонда Deep Space 1, запущенного в 1998 г.

В ходе выполнения миссии на всех ее этапах возникало множество проблем, ставивших ее на грань срыва. Мощнейшая солнечная вспышка в октябре 2003 г. повредила бортовой компьютер космического аппарата. Неоднократно отказывали ионные двигатели, вышли из строя два из трех гироскопов... Из-за программных ошибок не состоялся обстрел поверхности для «выбивания» из

нее частиц реголита и последующего их сбора, микрзонд MINERVA вместо посадки на астероид улетел в открытый космос...

26 ноября 2005 г. во время второй попытки забора грунта в момент максимального сближения с астероидом произошел сбой компьютера. Аппарат потерял ориентацию и повредил один из двигателей. Вскоре связь с ним прервалась. Как выяснилось позже, при касании с поверхностью «Хаябуса» поднял с нее небольшое облако пыли, и некоторая часть пылинок попала в возвращаемую капсулу.

Группа сопровождения миссии предпринимала поистине титанические усилия, чтобы возобновить потерянную связь с космическим аппаратом, привести в порядок систему его ориентации и оптимальным образом задействовать все еще работающие двигатели. В марте 2006 г. многострадальный зонд все же удалось направить обратно к Земле, куда он прибыл с почти трехлетним опозданием — 13 июня 2010 г. его возвращаемая капсула совершила мягкую посадку на австралийском полигоне Вумера.

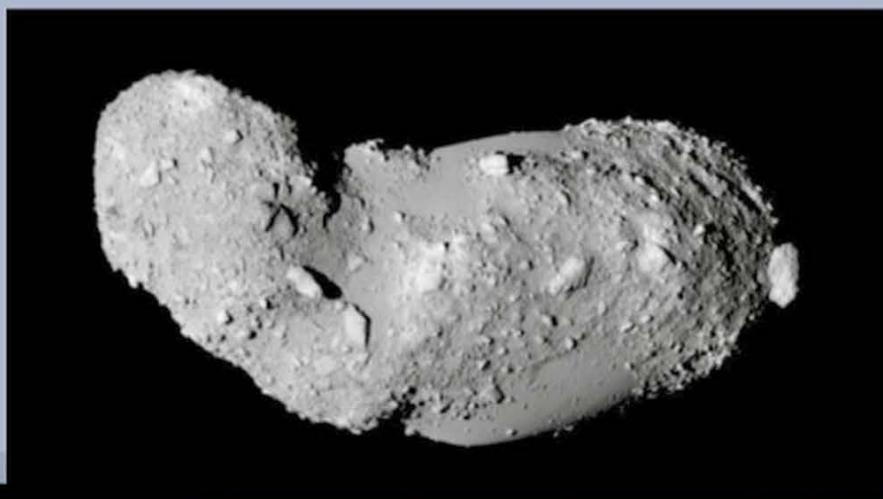
Несмотря на все возникшие сложности, «Хаябуса» произвел достаточ-

но подробное изучение астероида и передал на Землю несколько тысяч его снимков.

До завершения миссии никто не мог наверняка сказать, несет ли капсула хоть немного астероидного вещества. После посадки контейнер, в котором оно должно было находиться, поместили в стерильные условия и тщательно изучили с помощью электронного микроскопа. В итоге в нем оказалось около полутора тысяч микрочастиц явно внеземного происхождения (на это указывал их состав и форма, характерная для космической пыли, долгое время пребывавшей в вакууме). Первый в истории эксперимент по доставке на Землю образцов с астероида признали успешным.

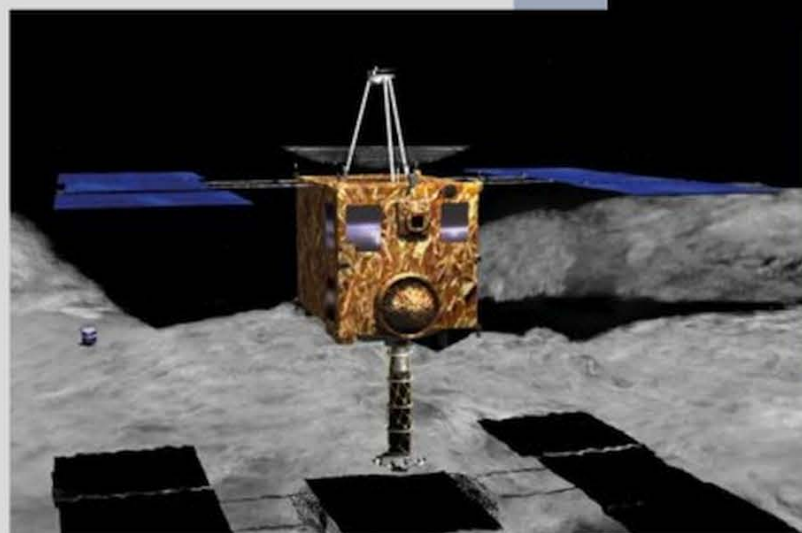
Доставленные образцы астероидного вещества в основном имеют вид пылинок размером около 10 мкм и менее. Осмотр с помощью сканирующего электронного микроскопа и химический анализ позволил идентифицировать их как частицы оливинов, пироксенов и плагиоклазов. Их относительное количество и элементный состав соответствуют примитивным метеоритам из класса углистых хондритов,

<sup>1</sup> До запуска зонд носил рабочее название MUSES-C

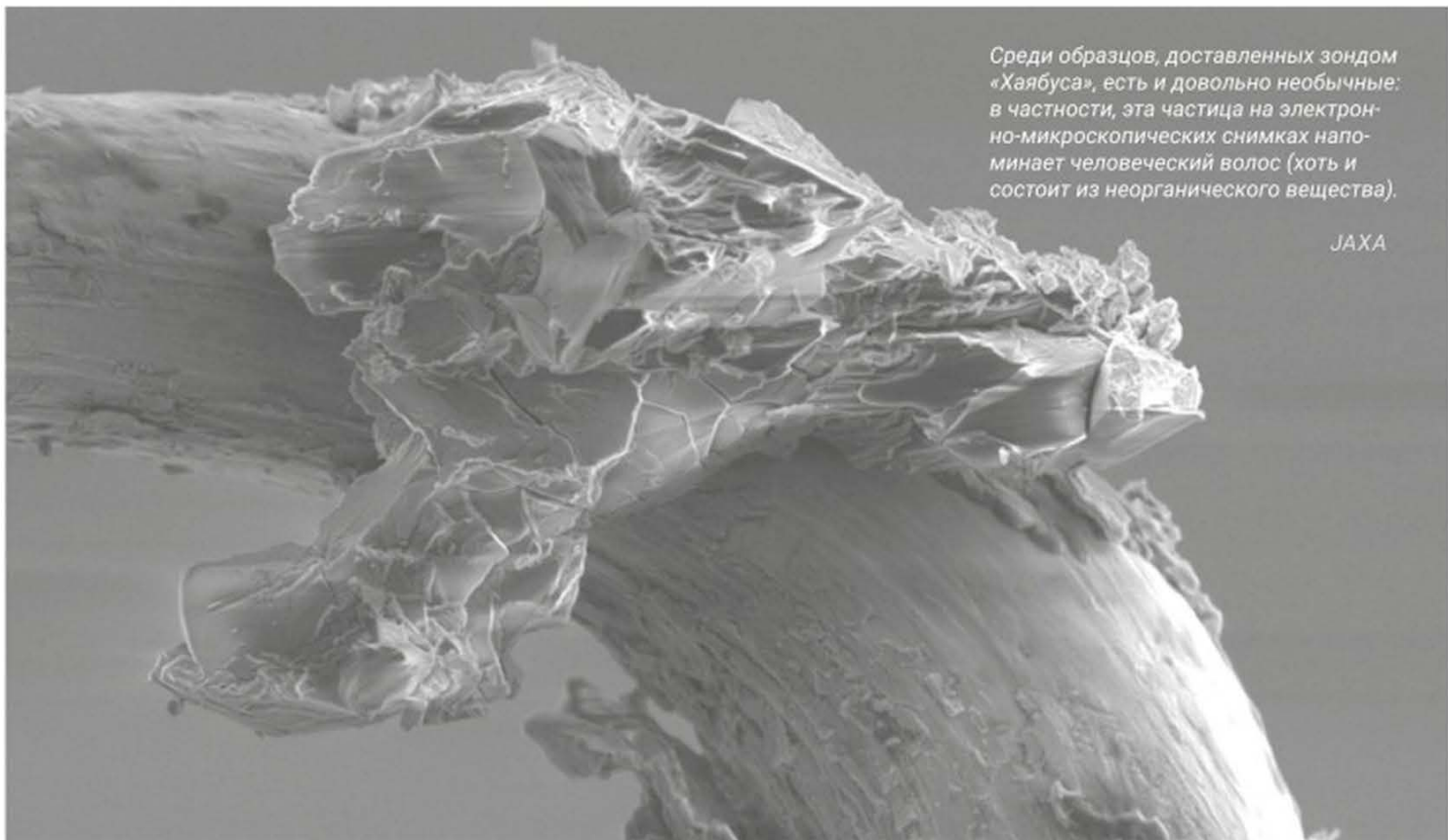


▲ Этот детальный снимок дает хорошее представление о необычной вытянутой форме астероида Итокава (предположительно она является результатом столкновения двух тел разных размеров на сравнительно небольшой скорости). Изображение получено зондом «Хаябуса» в 2005 г. и опубликовано после компьютерной обработки 5 февраля 2014 г.

JAXA



◀ Так в представлении художника выглядит приближение аппарата «Хаябуса» к астероиду Итокава



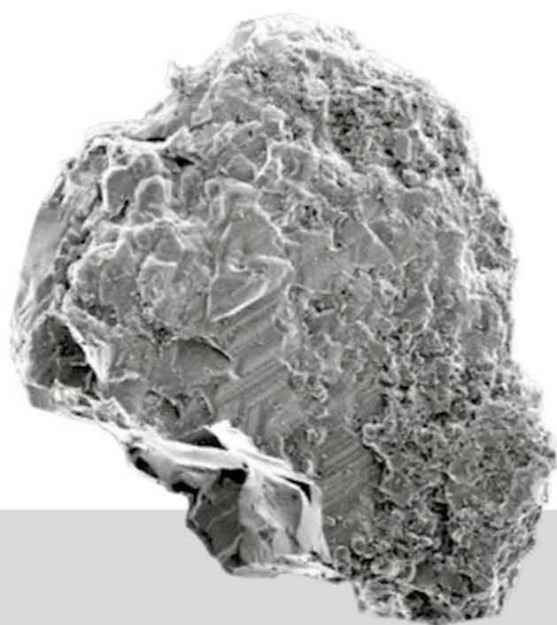
Среди образцов, доставленных зондом «Хаябуса», есть и довольно необычные: в частности, эта частица на электронно-микроскопических снимках напоминает человеческий волос (хоть и состоит из неорганического вещества).

JAXA



◀ Возвращаемая капсула зонда «Хаябуса» вскоре после посадки на полигоне Вумера в Австралии.

JAXA

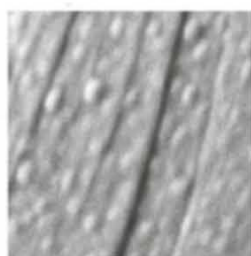


▲ Зерно реголита с поверхности астероида Итокава, доставленное на Землю в возвращаемой капсуле зонда «Хаябуса»

JAXA

◀ Четыре типа структуры частиц астероидного вещества, сфотографированные электронным микроскопом

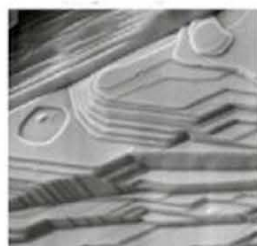
JAXA



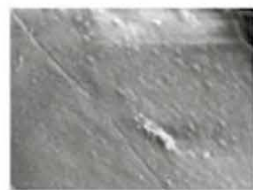
0.25 μm



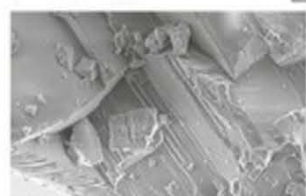
50 μm



0.5 μm



2 μm



5 μm

что также подтверждено данными дистанционного зондирования астероида приборами «Хаябусы».

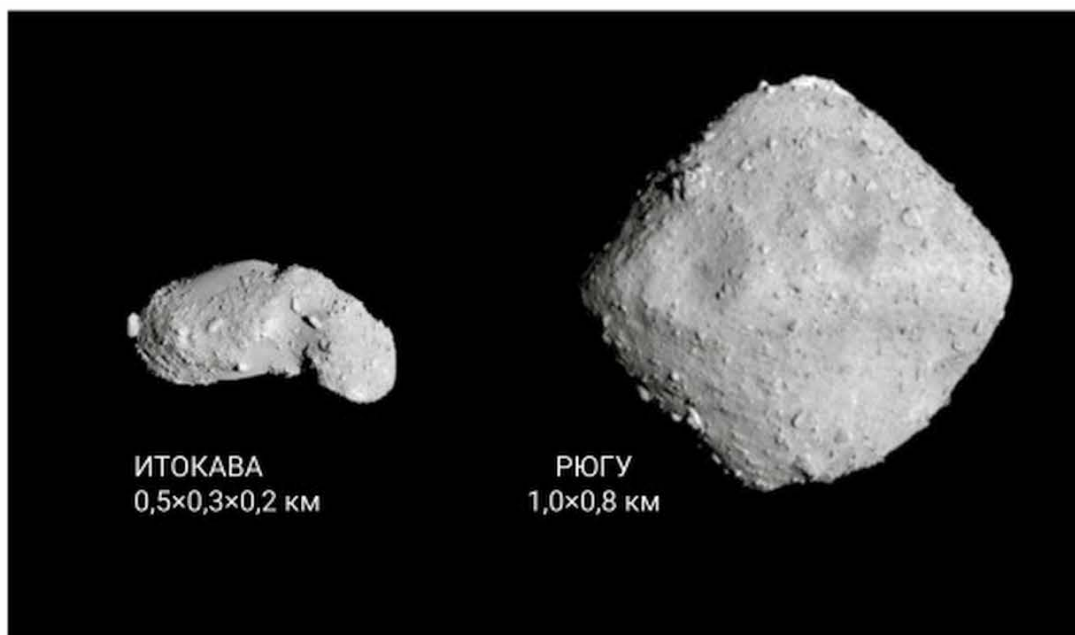
Выяснилось, что Итокава действительно может считаться источником обыкновенных хондритов, однако по своему минералогическому составу он все же отличается от наиболее распространенных метеоритов этого типа: большинство из них относится к H- и L-хондритам (с высоким и сравнительно небольшим содержанием железа), но как раз железа в составе Итокавы крайне мало, что более характерно для LL-хондритов, реже всего встречающихся на Земле. Еще одно важное открытие заключается в том, что минералы в частицах астероидной пыли метаморфизированы, то есть в течение длительного времени они были разогреты примерно до 800°C. Чтобы температура могла достичь таких значений, размер небесного тела должен был превышать 20 км. Это говорит о том, что Итокава ранее являлся фрагментом более крупного объекта.

## Второй «Сокол»

Еще в 2009 г., почти за год до возвращения «Хаябусы», сотрудник Японского агентства по исследованиям космоса JAXA Макото Йосикава предложил организовать следующую астероидную миссию. Эта инициатива была принята и одобрена правительством Японии. В августе 2010 г. началось финансирование проекта, открывшее возможности для работы над новым аппаратом. Его стоимость в то время оценивалась в 16,4 млрд иен (146 млн долларов).

Космический разведчик, получивший название «Хаябуса-2», стартовал практически в намеченные сроки — 3 декабря 2014 г. в 4 часа 22 минуты по всемирному времени (задержка составила всего четверо суток). Ровно через год он снова вернулся к Земле и произвел гравиманевр в ее окрестностях, пролетев на расстоянии 3090 км от земной поверхности. Притяжение нашей планеты направило его на траекторию полета к цели — астероиду Рюгу (162173 Ryugu), которого он достиг 23 июня 2018 г.

По приборному составу «Хаябуса-2» почти не отличается от своего предшественника, однако



ИТОКАВА  
0,5×0,3×0,2 км

РЮГУ  
1,0×0,8 км

▲ Астероиды Итокава и Рюгу — объекты исследований японских зондов «Хаябуса» и «Хаябуса-2» — в одном масштабе. Хорошо видно, что Рюгу имеет значительно более правильную форму

JAXA, University of Tokyo, Koichi University, Rikkyo University, Nagoya University, Chiba Institute of Technology, Meiji University, University of Aizu and AIST.  
Comparison: Emily Lakdawalla, The Planetary Society

на нем установлена более современная электроника с повышенной устойчивостью к радиации, а также усовершенствованные ионные двигатели. Вдобавок, кроме трех японских посадочных аппаратов (двух модулей MINERVA-II1A и MINERVA-II1B, а также MINERVA-II2), он несет на себе мобильный зонд MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout), созданный Германским аэрокосмическим центром DLR совместно с французским Национальным центром космических исследований (CNES). Снаряд-импактор SCI (Small Carry-on Impactor) представляет настоящий «снаряд» с 4,5 кг пластифицированного взрывчатого вещества, известного под названием «октаген», в медной оболочке массой 2,5 кг. Основной аппарат сбросит его на высоте примерно полукилометра, находясь на траектории сближения с астероидом, после чего осуществит «маневр ухода» и отлетит на безопасное расстояние, чтобы взрывная волна не отбросила его слишком далеко в космос, а выбитые ударом обломки не повредили бортовое оборудование. Часть мелких осколков должна быть поймана в специальную воронку и оттуда попасть в возвращаемую капсулу. Предварительно от «Хаябусы-2» отделится автоном-

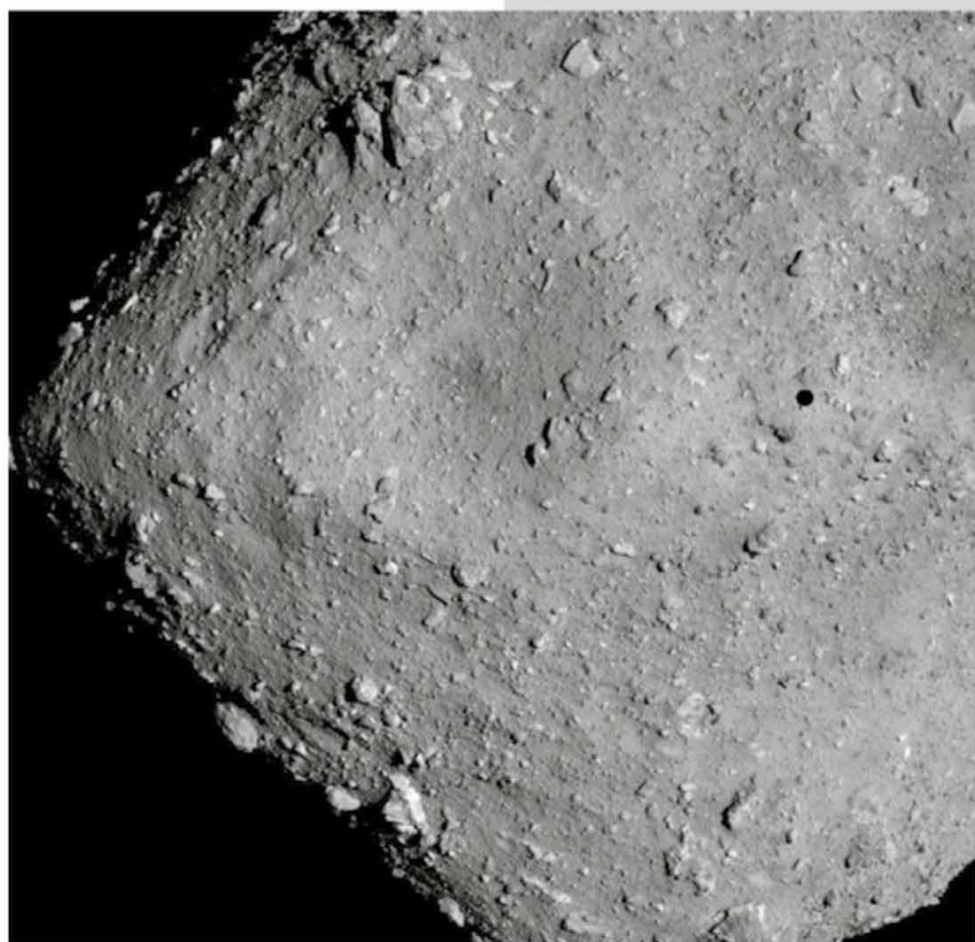
ная видеокамера DCAM3, которая будет наблюдать за взрывом с меньшей дистанции и под более удобным углом. Такого количества «зондов сопровождения» не имел еще ни один автоматический межпланетный разведчик.

Из «собственных» инструментов аппарата следует упомянуть набор из трех навигационных камер (ONC-T, ONC-W1, ONC-W2), камеру для получения изображений в ближнем инфракрасном диапазоне (Near-Infrared Camera — NIR3), температурный инфракрасный детектор (Thermal-Infrared Camera) и лазерный дальнометр (Light Detection And Ranging — LIDAR) для уточнения формы объекта исследований и картирования его гравитационного поля, информация о котором поможет уточнить внутреннюю структуру небесного тела.

## Предварительные данные

Сведения, полученные астрономами в ходе наземных наблюдений, пока достаточно скупы. Рюгу был открыт 10 мая 1999 г. в ходе обзора Lincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR) с помощью специализированного телескопа, установленного на обсерватории

Сокорро в штате Нью-Мексико, и получил предварительное обозначение 1999 JU3. Мы уже знаем, что это типичный околоземный астероид, относящийся к группе Аполлона, то есть он движется вокруг Солнца по эллиптической траектории, наклоненной к эклиптике менее чем на  $6^\circ$  и сближающейся с орбитами Земли и Марса (минимально возможная дистанция сближения с Землей составляет 95,4 тыс. км, что вчетверо меньше среднего расстояния до Луны). На один оборот у него уходит 474 дня. В перигелии он подходит к Солнцу на расстояние 0,963 а.е. (144 млн км) — чуть ближе, чем наша планета. Его афелий находится на гелиоцентрическом расстоянии 1,416 а.е. (212 млн км), что довольно далеко от внутренней границы Главного астероидного пояса. Этот объект принадлежит к довольно редкому темному спектральному классу Cg, отличающегося от C-астероидов, представители которого содержат заметные количества углерода и органических соединений, сильным поглощением в фиолетовой и ультрафиолетовой части спектра (на длинах волн короче 500 нм). Предположительно в составе таких тел должно быть много водяного льда, как это уже доказано для карликовой планеты Цереры — крупнейшего представителя класса G. Поэтому Рюгу и заинтересовал исследователей: в настоящее время считается, что именно такие тела, массово падая на молодую Землю, принесли на нее основную часть воды и «загрязнили» ее веществами, позже ставшими основой для зарождения жизни.



Вполне в духе современной частной космонавтики «небесным камнем» заинтересовались и предприниматели, собирающиеся осуществлять добычу на астероидах полезных ископаемых. В мае текущего года на сайте Asterank, основанном компанией Planetary Resources, появилась оценка потенциальной рыночной стоимости Рюгу, превышающая 82 млрд долларов. Основную ценность представляют возможные запасы воды, которые могут быть использованы в ходе пилотируемых межпланетных миссий, а также никеля, кобальта и железа.

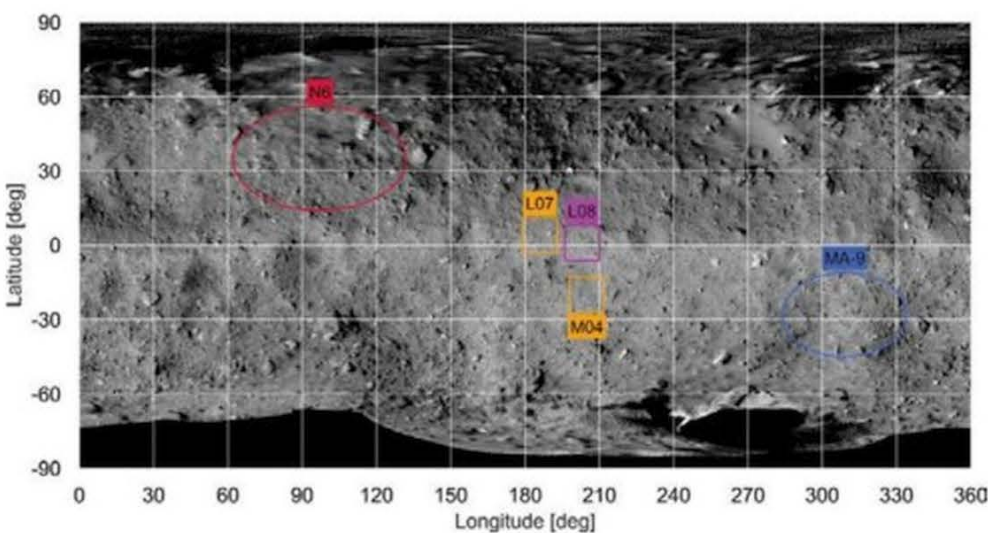
▲ Снимок Рюгу с расстояния около 6 км, сделанный 20 июля 2018 г. телескопической оптической навигационной камерой ONC-T аппарата «Хаябуса-2».

JAXA, University of Tokyo, Koichi JAXA, University of Tokyo, Kochi University, Rikkyo University, Nagoya University, Chiba Institute of Technology, Meiji University, University of Aizu, AIST

▼ Орбиты астероида Рюгу и внутренних планет Солнечной системы



## Первые результаты

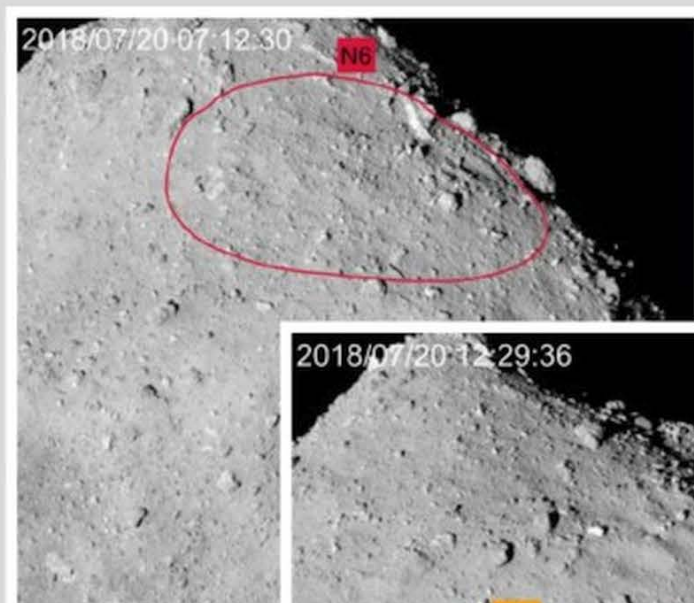


▲ На этой карте Рюгу отмечены участки, выбранные для проведения различных операций с участием зонда «Хаябуса-2». Обозначение L08 присвоено основной локации для взятия проб, в качестве запасных участков выбраны квадраты L07 и M04. Эллипс MA-9 очерчивает место возможной высадки микророботов MINERVA-II-1, соответственно в районе N6 произойдет сброс немецкого аппарата MASCOT. Все участки, на которых планируется провести операции по взятию пробы грунта, содержат большое количество валунов и угловатых обломков.

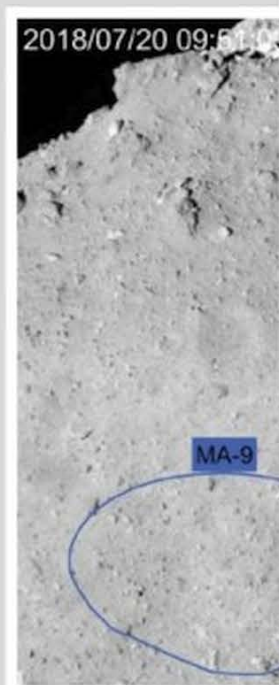
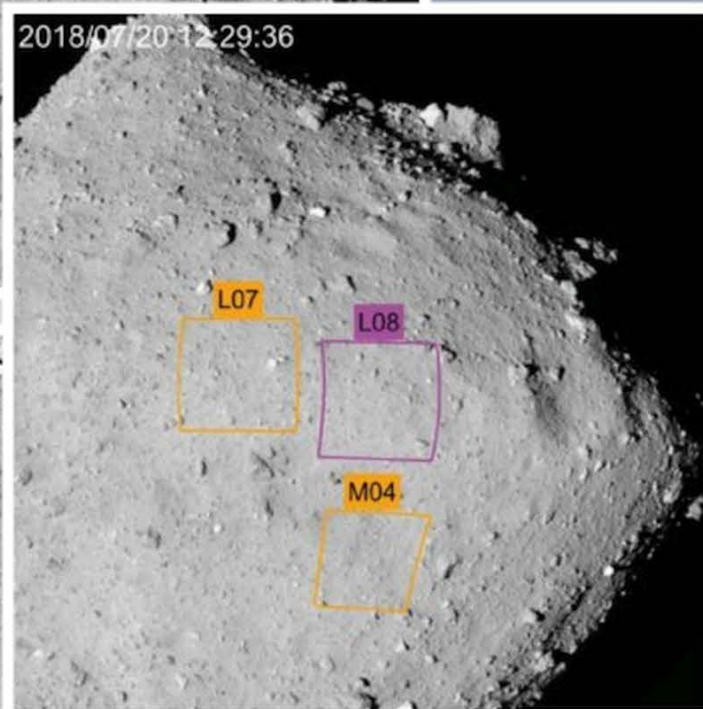
В августе 2018 г. на XXX Генеральной ассамблее Международного астрономического союза в Вене представители редакции журнала «Вселенная, пространство, время» получили возможность узнать о первых результатах и будущем миссии «Хаябуса-2» непосредственно от одного из ее организаторов — заместителя главного директора Института космоса и аэронавтики (ISAS JAXA) Масакки Фудзимото. К моменту беседы с ним космический аппарат уже успел выйти на исходную позицию в 20 км от астероида (как уже упоминалось, это произошло еще 23 июня) и трижды приблизиться к нему на меньшее расстояние: дважды — на 5 км и один раз — на 900 м. Это дало возможность сотрудникам группы сопровождения провести предварительные научные исследования Рюгу и уточнить его физические параметры.

Максимальный размер астероида оказался чуть меньше километра, минимальный — около 800 м. Период его вращения вокруг своей оси равен 7 часам 38 минутам (что согласуется с данными наземных наблюдений), причем направление вращения ретроградное — противоположное тому, в котором объект обращается вокруг Солнца. Общая масса «небесного камня», по данным гравиметрических исследований, составляет 496 млн тонн, что обеспечивает ускорение свободного падения на его экваторе всего  $0,12 \text{ мм/с}^2$ , или в 80 тыс. раз меньше, чем у поверхности Земли. В принципе, эта величина тоже не сильно отличается от предсказанной.

Определенной неожиданностью, по словам Масакки Фудзимото, стал характер поверхности небесного тела. В ходе сближений до расстояния 5 км «Хаябуса-2» получил весьма неплохие изображения почти всего астероида с целью выбора места отбора проб и сброса мобильных зондов. Выяснилось, что практически вся его поверхность имеет однообразно-неровный рельеф, и на ней сложно найти сравнительно плоский участок, где вероятность возникновения проблем при высадке была бы минимальной. Почти всюду разбросаны угловатые обломки и валуны метровых размеров, и «сма-



JAXA, University of Tokyo, Koichi JAXA, University of Tokyo, Kochi University, Rikkyo University, Nagoya University, Chiba Institute of Technology, Meiji University, University of Aizu, AIST



▲ Места возможных операций по взятию проб грунта на снимке, сделанном 20 июля 2018 г. в 12:29 UTC.

неврировать» между ними космическому аппарату будет непросто.

После длительных консультаций решено было выбрать один основной и два запасных участка, признанных наиболее безопасными (хотя на них тоже обнаружено немало валунов и обломков). Все они достаточно интересны с научной точки зрения. Тем не менее, «первое касание» и взятие проб отложено до конца октября — до этого времени сотрудники группы сопровождения миссии хотят детальнее изучить астероид с более близкого расстояния. Они вполне справедливо предположили, что если с операциями, предусматривающими непосредственный контакт с поверхностью, слишком поторопиться, они с большой вероятностью закончатся неудачей. В частности, на основном — наиболее ровном — посадочном участке эта вероятность может достигать 30%, что все же слишком много. Также до момента начала этих операций необходимо произвести сброс мобильных зондов (на «нетронутую» поверхность).

Участникам миссии постоянно приходится вносить корректировки в исходные планы на основе поступающей новой информации об объекте исследований. Например, вначале предполагалось, что «Хаябуса-2» произведет три касания поверхности для взятия образцов — именно столько на его борту имеется 5-граммовых танталовых «пуль», которые должны быть выпущены в астероид со скоростью 300 м/с (возникшие при попадании в него выбросы будут уловлены специальной воронкой и помещены в возвращаемую капсулу). Теперь же специалисты собираются сделать до десятка «подходов», причем во время каждого из них бортовой компьютер будет отслеживать положение космического аппарата и прерывать сближение в случае обнаружения слишком большого наклона выбранного участка. Очевидно, больше трех «выстрелов» сделать все равно не удастся, но если хотя бы один из них окажется результативным — основную задачу миссии можно будет считать выполненной.

Все упомянутые операции необходимо завершить до июля 2019 г., когда Рюгу приблизится к перигелию своей орбиты, и Солнце нагреет его настолько, что соприкосновение с

ним сможет вызвать серьезные повреждения зонда. Эти временные рамки не касаются эксперимента с импактором, однако его тоже постараются провести до июля, поскольку далее ухудшатся условия связи с автоматическим аппаратом. По словам Масаки Фудзимото, космос полон неожиданностей, и было бы неразумным жестко привязываться к какому-либо графику.

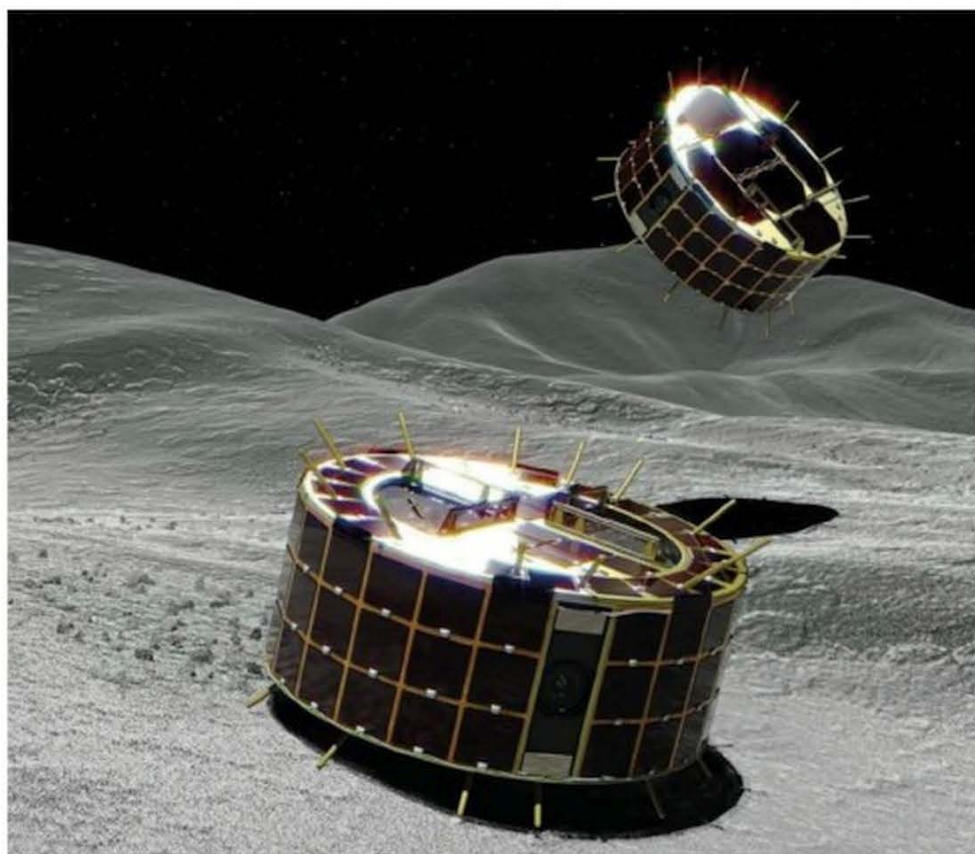
Взрыв импактора должен произойти не на поверхности, а в пределах 10 м от нее. Детонация заряда взрывчатого вещества разгонит до максимально возможной скорости металлическую болванку, которая врежется в астероид и образует на нем кратер. Такая технология выбрана с целью минимизации загрязнения небесного тела продуктами взрыва и наиболее эффективного использования энергии взрывчатки — часть ее в любом случае рассеется в космосе. Сброс «бомбы» собираются произвести с расстояния порядка 20 км, причем бортовой компьютер сразу соответствующим образом запрограммирует таймер, который в нужный

момент включит взрыватель. Участок для «бомбардировки» пока не выбран; не исключено, что где-то недалеко от него будет находиться один из мобильных аппаратов (он пронаблюдает последствия взрыва непосредственно с поверхности, возможно, «пожертвовав собой»).

До начала сентября миссия протекала практически безупречно, но, похоже, в ее ходе уже начали возникать те неожиданности, о которых говорил японский ученый. В период с 10 по 12 сентября состоялись пробные сближения космического аппарата с астероидом с целью отработки операций по сбросу микророверов и отбору проб грунта. Однако тренировка прошла не по плану: инженеры миссии столкнулись с тем, что отражательная способность (альбедо) некоторых участков поверхности Рюгу оказалась заметно ниже определенной по результатам наземных наблюдений и лежащей в пределах 0,044-0,05. Из-за этого лидар — бортовой лазерный локатор — не смог точно определять расстояние до поверхности. В результате компьютер «Хаябусы-2»

▼ Так предположительно выглядят микророверы MINERVA-II1 A и B на поверхности астероида Рюгу. Они имеют диаметр 18 см, высоту 7 см, массу 1,1 кг и оснащены несколькими камерами, предназначенными, в частности, для получения стереоизображений. Также на них установлены датчики температуры, освещенности, акселерометр и гироскоп. Зонды должны перемещаться по поверхности путем подпрыгиваний. Их функционирование обеспечивается за счет энергии, получаемой от солнечных батарей.

JAXA



прервал процедуру сближения примерно в 600 м от цели. Сотрудники группы сопровождения вернули зонд на исходную позицию на высоте около 20 км, после чего занялись изменением процедуры спуска и режима работы лидара.

Пришлось также изменить порядок «высадки» микророботов. Если ранее предполагалось вначале отправить на поверхность европейский аппарат MASCOT, то теперь «первопроходцами» стали зонды MINERVA-II1. Контейнер с ними был сброшен на астероид 21 сентября с высоты 55 м и вскоре достиг его. Рovers успешно отделились и начали свою работу, передав первые изображения небесного тела с предельно близкого расстояния. Правда, некоторое время контакт с ними установить не удавалось, однако сейчас они уже активно работают и передают научную информацию, перемещаясь по поверхности путем «подпрыгивания» и получая энергию от компактных солнечных батарей.

Дополнительно JAXA опубликовало серию снимков, сделанных навигационной камерой «Хаябуса-2» во время высадки микророботов. На них отчетливо видна тень от основного аппарата на астероиде. Причина, по которой участок с тенью кажется намного ярче остальной поверхности Рюгу, связана с расположением Солнца: в момент сближения оно находилось прямо «за спиной» автоматического разведчика, соответственно из окрестностей тени последнего в объек-

тивы камер попадали солнечные лучи, отразившиеся от поверхности почти перпендикулярно, а в этом направлении коэффициент светорассеяния частиц реголита максимален (астрономы называют это

▼ На снимке астероида Рюгу, сделанном 20 сентября 2018 г. аппаратом «Хаябуса-2» с расстояния 135 м, видна его тень на поверхности небесного тела. В тот момент основной аппарат снижался, готовясь к высадке микророботов MINERVA-II1.



▼ Около полудня 21 сентября 2018 г., после успешного завершения операций по сбросу двух исследовательских аппаратов MINERVA-II1, «Хаябуса-2» снова сделал снимок поверхности астероида Рюгу со своей тенью. Яркий участок в ее окрестностях наблюдается благодаря т.н. эффекту оппозиции — нечто похожее могут увидеть авиапассажиры вокруг тени самолета на облаках.



явление «эффектом оппозиции»).

Масаки Фудзимото коснулся также дальнейшей судьбы космического аппарата. Согласно текущим планам, окрестности астероида он покинет в декабре 2019 г. и через год вернется к Земле, чтобы сбросить капсулу со взятыми образцами (предположительно ее посадка состоится на том же австралийском полигоне Вумера, что и в случае первой астероидной миссии). Однако, в отличие от своего предшественника, «Хаябуса-2» не войдет в атмосферу целиком: блок электроники с двигательной установкой продолжит полет и в перспективе может быть направлен к какой-то другой цели. Вероятнее всего, ею станет еще один околоземный астероид. Решение об этом должно быть принято ближе к концу 2020 г. исходя из технического состояния аппарата и уточненного расположения небесных тел, представляющих потенциальный интерес для астрономов. ■

▼ Исследователей совершенно не удивило, когда на снимках микроробота они увидели серую каменистую поверхность. Тем не менее, эти снимки все равно стали сенсацией, поскольку являются первыми изображениями поверхности астероида, полученными посадочным зондом. Информация была ретранслирована на приемные станции базовым аппаратом «Хаябуса-2», находившимся в тот момент на расстоянии 280 млн км от Земли. Фотографии опубликованы на сайте JAXA 27 сентября 2018 г.

JAXA via AP



◀ Этот снимок поверхности Рюгу был сделан 22 сентября 2018 г. в 12:46 UTC ровером MINERVA-II1B за несколько секунд до посадки

JAXA



# Parker Solar Probe отправился к Солнцу

После суточной задержки, 12 августа 2018 г. в 7 часов 31 минуту по всемирному времени, с космодрома на мысе Канаверал состоялся запуск ракеты Delta IV Heavy, которая успешно вывела на межпланетную траекторию аппарат Parker Solar Probe (PSP),<sup>1</sup> разработанный Лабораторией прикладной физики Университета Джона Хопкинса. Ему предстоит сделать то, чего не совершал еще ни один рукотворный объект: приблизиться к поверхности нашего светила на расстояние менее 6 млн км (это в 25 раз меньше среднего радиуса земной орбиты и почти в восемь раз меньше минимально возможного расстояния между Солнцем и Меркурием).

Основная цель миссии PSP заключается в изучении солнечной короны — внутренних областей газовой оболочки Солнца, наблюдаемой в виде неравномерного светящегося ореола во время полных солнечных затмений. Температура короны на расстоянии порядка 70 тыс. км от видимой поверхности светила составляет порядка 2 млн кельвинов, а затем начинает убывать (в районе орбиты Земли она примерно равна 100 тыс. кельвинов). Ученые пока не совсем понимают, что служит причиной таких высоких температур, особенно если учесть, что средняя температура поверхности Солнца составляет 5778 K (5505°C).

Аппарат несет на борту четыре научных прибора. Первый из них, названный просто FIELDS («поля»), предназначен для прямых измерений электрического и магнитного поля в окружающем пространстве. Обработку его наблюдений должна производить команда ученых из Калифорнийского университета в Беркли. Второй инструмент — IS<sup>⊙</sup>IS (Integrated Science Investigation of the Sun) — будет регистрировать характеристики высокоэнергетических электронов, протонов и тяжелых ионов. Анализом полученных данных займется группа под руководством Дэвида Маккомаса из Принстонского университета (David McComas, Princeton University).

Подсчет общего числа электронов, протонов и альфа-частиц — ядер атомов гелия — будет вести прибор SWEAP (Solar Wind Electrons Alphas and Protons), полученные им данные вначале поступят в распоряжение сотрудников Смитсоновской астрофизической обсерватории (Smithsonian Astrophysical Observatory). Наконец, крупномасштабные снимки внутренней короны ученые собираются получить с помощью оптического телескопа WISPR (Wide-field Imager for Solar Probe), который «курирует» Военно-морская исследовательская лаборатория.

Согласно плану миссии в декабре 2024 г. космический аппарат выйдет на

орбиту, представляющую собой вытянутый эллипс с перигелием 0,044 а.е., афелием 0,73 а.е. и периодом обращения 88 суток (равным орбитальному периоду Меркурия). В ближайшей к Солнцу точке орбиты скорость PSP достигнет 200 км/с. Чтобы перейти на такую экстремальную траекторию, автоматическому разведчику необходимо осуществить семь гравитационных маневров в поле тяготения Венеры. Первый из них состоялся 3 октября, когда он прошел всего в 2400 км от поверхности ближайшей планеты. В конце октября группа сопровождения впервые активирует приборы зонда, и он начнет первый тестовый сеанс исследований нашей звезды — пока с расстояния 0,166 а.е. (24,8 млн км).

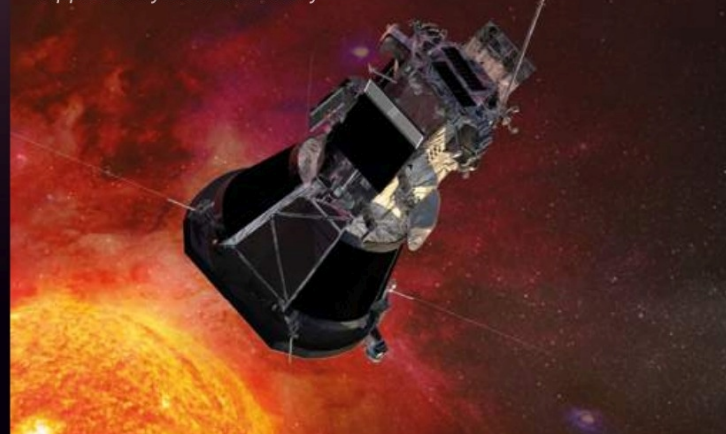
В перигелии финальной орбиты мощное излучение нашего светила будет разогревать PSP почти до 1400°C, поэтому на нем установлен специальный тепловой экран из углеволокна, выдерживающий даже

более высокие температуры. Вдобавок аппарат оборудован сложной гидравлической системой охлаждения, отводящей избыточное тепло от электронных приборов в космическое пространство. Наиболее уязвимой его частью являются солнечные батареи, выступающие из-за краев экрана. При сближениях с Солнцем они будут частично сворачиваться, однако оставшаяся часть все равно подвергнется экстремальному нагреву и высокоэнергетическому излучению. Сотрудники группы сопровождения миссии надеются, что зонду удастся выдержать как минимум три прохождения перигелия и успешно передать на Землю полученную научную информацию.

Под остронаправленной антенной PSP установлен микрочип, на котором записаны имена 1,1 млн жителей Земли, пожелавших таким образом «отправиться к Солнцу». Общая стоимость миссии в настоящее время оценивается в 1,5 млрд долларов.

▼ Так в представлении художника может выглядеть аппарат Parker Solar Probe вблизи перигелия своей орбиты. В это время скорость зонда достигнет 200 км/с. Беспрецедентная миссия NASA имеет целью исследовать Солнце и его космическое окружение с расстояния 6 млн км.

Johns Hopkins University  
Applied Physics Laboratory



<sup>1</sup> Обычно исследовательские аппараты NASA (и практически всех других космических агентств) получают имена уже умерших деятелей науки, но в данном случае было принято решение назвать миссию в честь почетного профессора Чикагского университета Юджина Паркера (Eugene Parker), отметив, таким образом, его исключительные заслуги в исследованиях Солнца. 10 июня 2018 г. ученому исполнился 91 год.

# Жизнь на МАРС

ОБЗОР

Ответ на вопрос о наличии жизни на Марсе стал чем-то вроде Святого Грааля современной науки — такое впечатление, что его ищут все, но с одинаковой мерой безуспешности. В XIX веке астрономы пристально изучали Красную планету с помощью телескопов, пытаясь разглядеть неуловимые «каналы», свидетельствующие о присутствии там высокоразвитой цивилизации. В XX веке ученые рассматривали первые фотографии марсианской поверхности, переданные космическими аппаратами, выискивая хоть какие-то видимые признаки жизни. В XXI веке пришел черед анализа данных, собранных марсоходами...

Но, несмотря на то, что за последние пару десятилетий мы узнали о Марсе больше, чем за всю предыдущую историю, вопрос о его возможной обитаемости все еще остается открытым. Мы точно знаем, что в далеком прошлом там имелись условия для старта биологических процессов. Однако наличие подходящих условий не приводит автоматически к появлению жизни. И даже если на заре своей эволюции соседняя планета действительно была обитаема — сумеем ли мы в принципе найти надежные свидетельства, позволяющие это однозначно подтвердить?

К сожалению, мы до сих пор не имеем ответов на эти вопросы. И сделанные за последние месяцы открытия только подливают масла в огонь дискуссий о потенциальной обитаемости Марса.



Кирилл  
Размыслович

«Вселенная,  
пространство, время»

**СЕ**

**прошлое,  
настоящее и  
будущее**

◀ Предполагаемый вид  
Красной планеты на заре ее  
эволюции — около 4 млрд лет  
назад. Изображение построено  
по данным лазерного альти-  
метра MOLA и результатам  
поисков древних береговых  
линий на снимках марсианской  
поверхности. Также удалены  
все возвышенности возрастом  
менее 2 млрд лет.

## «Черная красавица» и остывание Марса

На данный момент межпланетные миссии по доставке образцов марсианского грунта для исследований в земных лабораториях существуют исключительно на бумаге. В лучшем случае мы можем ожидать их реализации к концу следующего десятилетия. К счастью, в распоряжении ученых все же имеется некоторое количество вещества Красной планеты. Речь идет о т.н. марсианских метеоритах. Их происхождение удалось определить благодаря изотопному анализу. Эти камни были выбиты с поверхности Марса ударами астероидов или покинули его во время катастрофических извержений. После миллионов лет странствий по просторам космоса они упали на Землю.

Один из наиболее известных марсианских метеоритов носит название «Черная красавица» (NWA 7034). Этот кусок вулканической брекчии оказался в межпланетном пространстве примерно 2 млрд лет назад и был обнаружен в 2011 г. в пустыне Сахара. Вскоре стало очевидно, что он представляет огромную научную ценность. Неудивительно, что сейчас его фрагменты продают по цене около 10 тыс. долларов США за грамм.

Химический анализ «Черной красавицы» уже привел к нескольким важным научным открытиям. В метеорите содержится большое количество сидерофильных элементов (часто сопутствующих железу), в том числе иридия, платины и золота. По мнению специалистов, это свидетельствует о том, что в первые несколько миллионов лет после формирования соседняя планета пережила столкновение с крупным телом, по размеру сопоставимым с карликовой планетой Церерой. Оно могло привести к формированию Великой Северной равнины, занимающей почти все северное марсианское полушарие.

Еще более интересное открытие сделала группа планетологов из датского Центра изучения образования звезд и планет. В статье, опубликованной в журнале Nature, они рассказали о результатах анализа микрокристаллов циркона, содержащихся в «Черной красавице». Измерив степень распада урана, «запертого» в цирконе в момент затвердевания расплавленной поверхности Марса, исследователи смогли точно определить возраст коры, в которой образовался минерал.

Результат удивил ученых. Оказалось, что внешний слой Марса затвердел уже 4547 млн лет назад — всего через 20 млн лет после образования планеты и как

минимум на 130 млн лет раньше, чем сформировалась земная кора. Прежние математические модели предполагали, что на полное затвердевание поверхности Красной планеты ушло не менее 100 млн лет.

Если результаты анализа метеорита верны, это значительно расширяет потенциальное «окно» для зарождения жизни на Марсе. Во времена, когда Земля еще была полностью покрыта жидкой магмой, соседняя планета уже обладала сформировавшейся поверхностью, которая могла поддерживать водные океаны. Это дает дополнительные 100 млн лет на возникновение и развитие гипотетических марсианских живых организмов.

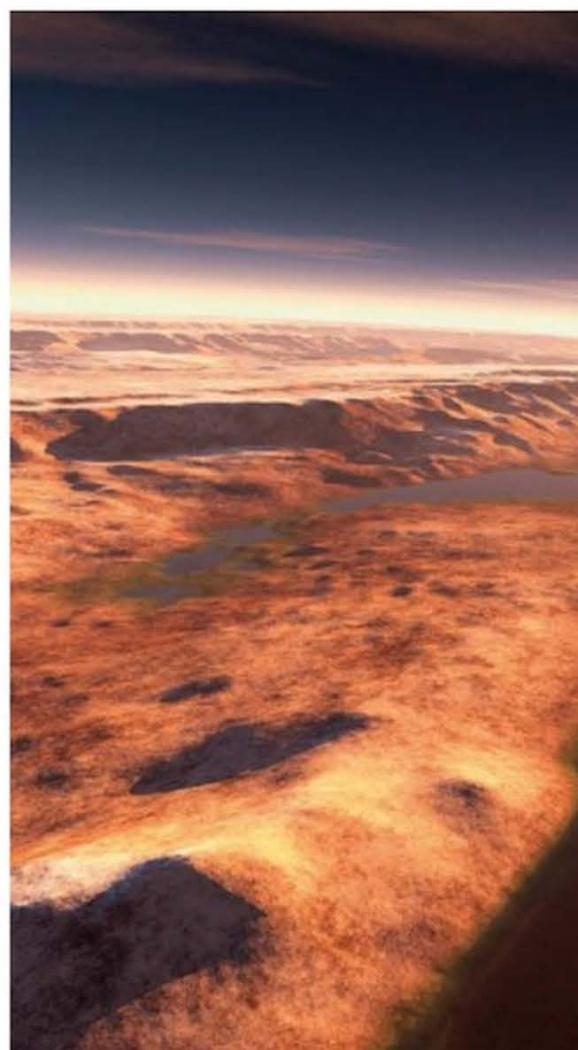
## Просто добавь воды

Предположим, что в далеком прошлом на Марсе действительно появилась жизнь. Могла ли она сохраниться до наших дней? Красная планета 4 млрд лет тому



◀ Фрагмент метеорита «Черная красавица» (Black Beauty) массой 320 г, обнаруженный в 2011 г. в пустыне Сахара и получивший обозначение NWA 7034. В ходе исследований, финансируемых NASA, было доказано, что он представляет собой фрагмент марсианской коры, выброшенный в космос в результате удара крупного метеорита свыше 2 млрд лет назад. Его характерной особенностью является высокое содержание воды. В других известных «камнях с Марса» ее на порядок меньше. Это говорит о том, что в начале последней исторической эпохи Красной планеты, называемой «Амазонианской эрой», там еще могли существовать открытые водоемы.

NASA



назад и она же в настоящее время — это два совершенно разных мира. Автоматические аппараты собрали множество убедительных свидетельств того, что на ранних стадиях эволюции она обладала полноценной гидросферой и намного более плотной атмосферой. По марсианской поверхности текли реки, впадавшие в постоянные водоемы, сопоставимые по размерам с земными морями.

Но из-за слабой гравитации и остановки механизма «планетного динамо» со временем Марс утратил почти всю газовую оболочку. Вместе с ней он лишился и большей части воды, превратившись в высушенную пустыню, которую мы можем лицезреть на фотографиях, сделанных орбитальными аппаратами. Остат-

ки марсианской  $H_2O$  оказались сосредоточены в подповерхностном слое вечной мерзлоты в форме льда.

В принципе, местные организмы могли адаптироваться к постепенным изменениям климата. В качестве примера можно привести некоторые земные бактерии, способные тысячи лет существовать в условиях вечной мерзлоты в режиме спячки. Но им все равно требуется жидкая вода для роста и размножения.

Сейчас атмосферное давление у поверхности Марса в среднем в 160 раз меньше земного. В таких условиях вода закипает при температуре немногим выше  $0^\circ C$ , что делает невозможным ее стабильное существование в жидком виде. Верхний слой марсианского грунта — тоже не лучшее место для поисков живительной влаги. Как уже известно, он содержит в тысячи раз меньше воды, чем почвы самых засушливых земных пустынь.

Однако ученые не спешат отчаиваться. Пусть сейчас на по-

верхности Марса и нет водоемов, но они вполне могут находиться в его глубинах — как знаменитые антарктические подледные озера. Не исключено, что один такой водоем уже удалось обнаружить европейскому зонду Mars Express.

В конце июля в журнале Science была опубликована статья группы исследователей из Национального астрофизического института в Болонье, посвященная результатам анализа радарных изображений, которые Mars Express получил в период с 2012 по 2015 гг. Применяв новую технику обработки данных, ученые обратили внимание на аномалию в районе Южной равнины (Planum Australe) — сравнительно плоского участка протяженностью около 200 км в южном полярном регионе Красной планеты. Для радара космического аппарата это место выглядит примерно так же, как подледные озера Гренландии и Антарктиды.

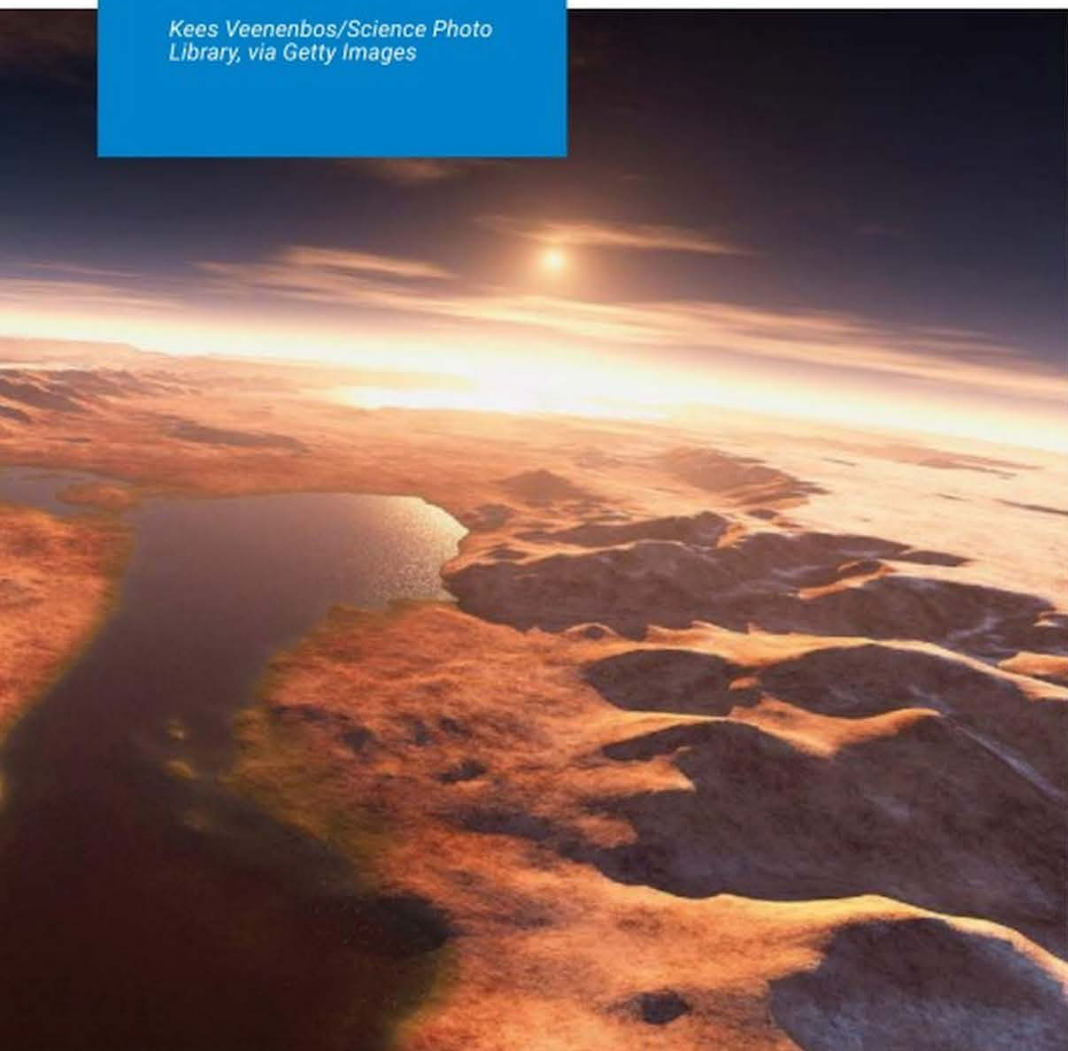
Прежде чем объявить об открытии озера, планетологи рассмотрели альтернативные варианты. Высказывались предположения, что сигнал может соответствовать слою замерзшего углекислого газа или просто водяному льду низкой температуры. Но, изучив всю имеющуюся информацию, ученые отвергли эти предположения и вернулись к первоначальной версии.

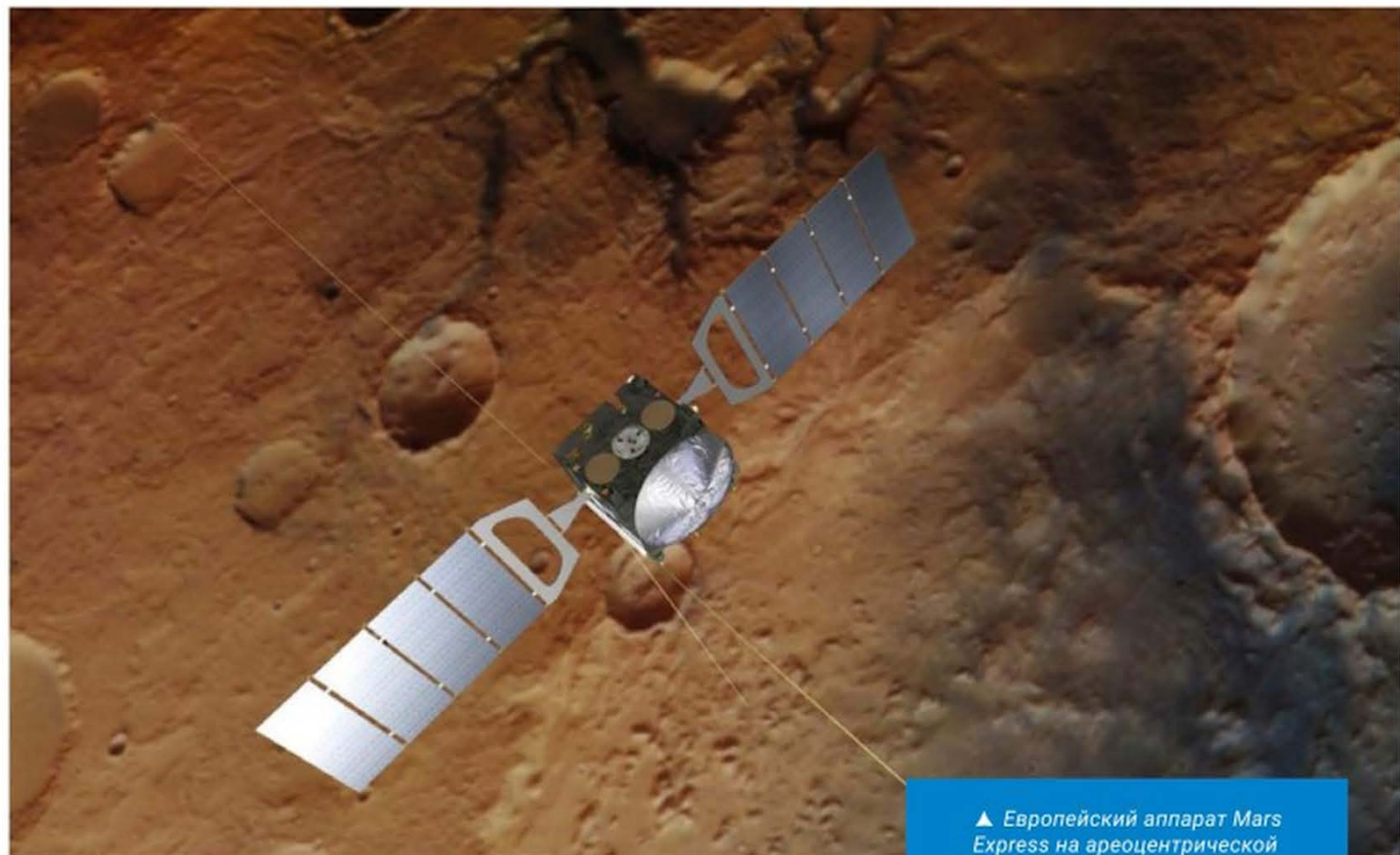
Данные Mars Express говорят о том, что на глубине 1,5 км под плато находится жидкая прослойка. Ее толщина составляет как минимум несколько десятков сантиметров, а общая протяженность достигает 20 км. Температура подповерхностного водоема, вероятнее всего, заметно ниже нуля. В таких условиях вода остается жидкой благодаря растворенным в ней солям и давлению вышележащих слоев грунта.

Авторы статьи особо отмечают, что Mars Express исследовал лишь незначительную часть Южного плато, а его инструменты позволяют «видеть» только достаточно крупные массы воды. Почти наверняка подобные подповерхностные водоемы существуют и в других частях Красной

▼ Так мог выглядеть восход Солнца на Марсе 3,5 млрд лет назад. Остатки этой сравнительно теплой и влажной эпохи ученые сейчас ищут глубоко под марсианской поверхностью.

Kees Veenenbos/Science Photo Library, via Getty Images





▲ Европейский аппарат Mars Express на арелоцентрической орбите в представлении художника. С его помощью ученые надеются отыскать жидкую воду глубоко под марсианской поверхностью. На самой поверхности имеется множество следов, оставленных водными потоками, и отложений, характерных для высохших морей или озер. Однако все эти водоемы существовали миллиарды лет назад и давно исчезли.

ESA / ATG Medialab / DLR / FU Berlin / CC BY-SA 3.0 IGO

▼ Между 2012 и 2015 гг. аппарат Mars Express провел 29 наблюдений Южной равнины с помощью радара MARSIS. На черно-белом изображении в центре нанесены результаты мониторинга указанного участка прибором TEIS (Thermal Emission Imaging System) американского зонда Mars Odyssey. Различными цветами показана интенсивность отраженного радарного сигнала (белый — слабый, синий — наиболее сильный, горчичный соответствует различным промежуточным значениям). Справа показан разрез исследованного региона, построенный по данным радиолокации. Яркая горизонтальная черта сверху обозначает марсианскую поверхность, под ней находятся слои запыленного льда, а на глубине полутора километров обнаружена «прослойка» с наилучшими отражающими свойствами (отмечена голубым), что может быть объяснено наличием жидкой воды. Размер отражающей области достигает 20 км, примерные координаты ее центра — 81° ю.ш., 193° в.д.

NASA / Viking / JPL-Caltech / Arizona State University / ESA / ASI / University of Rome / R. Orosei et al.

### Южный полярный регион Марса



### Результаты радарного зондирования (синий цвет соответствует самому сильному отражению)



### Вертикальный разрез изученного участка



планеты. Не исключено, что они сообщаются между собой. Если на Марсе и сохранилась какая-то жизнь, то такая глубинная водная система является наиболее вероятным местом ее обитания.

## Сложности поиска жизни

Но даже если на Марсе действительно была или до сих пор существует жизнь — сумеем ли мы ее отыскать? Ответ на этот вопрос не настолько очевиден, как может показаться. В 1970-х годах NASA развернула весьма амбициозный эксперимент, призванный раз и навсегда поставить точку в дискуссиях об обитаемости Красной планеты. Севшие на ее поверхность аппа-

раты Viking 1 и Viking 2 провели серию биологических тестов с марсианским грунтом. Однако «эксперимент века» обернулся большим пшиком. Результаты проведенных анализов оказались весьма неопределенными, и аэрокосмическая администрация подверглась серьезной критике по поводу организации миссии.

Два десятилетия спустя NASA снова заговорила о жизни на Марсе. В этот раз сотрудники агентства рассказали о вероятном обнаружении окаменелостей живых организмов в марсианском метеорите ALH84001. Сообщение вызвало огромный резонанс по всему миру. Даже тогдашний американский президент Билл Клинтон выступил с заявлением по телевидению. И снова NASA не избежала кри-

тики со стороны ученых — как из-за поспешной публикации статьи, так и по поводу интерпретации результатов исследований. Дискуссии вокруг ALH84001 продолжаются до сих пор, но общий научный консенсус заключается в том, что аргументы в пользу «окаменелостей» выглядят недостаточно убедительными.

Американское космическое ведомство усвоило урок. Нынешние марсианские миссии не занимаются прямыми поисками жизни на Красной планете. Они анализируют состав осадочных пород, чтобы ответить на вопрос о том, каким был климат на Марсе в далеком прошлом, и ищут вещества-биомаркеры, которые могли бы быть произведены живыми существами. С одной стороны, таким путем



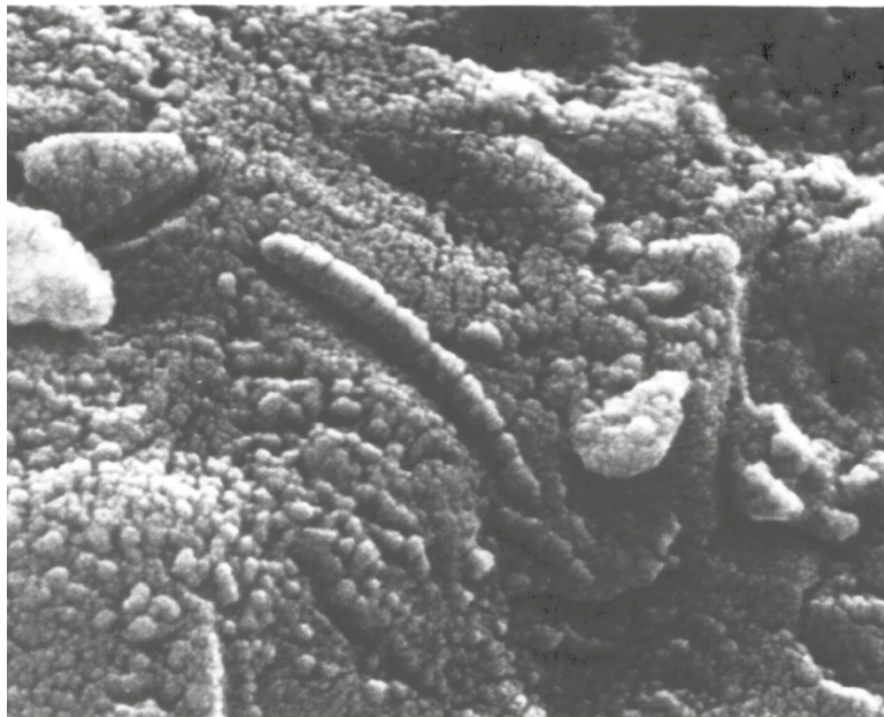
▲ «Траншея» слева от центра этой фотографии — следы отбора проб марсианского грунта манипулятором посадочного аппарата Viking 1 с целью проведения биологических экспериментов (сам манипулятор виден ниже). Некоторые образцы были взяты с большей глубины, где они теоретически не подвергались воздействию солнечной и космической радиации. Аппарат совершил посадку в районе Золотой равнины (Chryse Planitia) и проработал на поверхности Марса более 6 лет.

► Электронно-микроскопический снимок, демонстрирующий загадочные продолговатые структуры в метеорите ALH84001.



▲ Окаменелости, обнаруженные в марсианском метеорите ALH84001 (его нашли в Антарктиде в 1984 г.), стали причиной множества дискуссий о том, не принадлежат ли они древним живым организмам. Эти дискуссии продолжаются по сей день.

NASA



NASA оберегает себя от нежелательной критики. Но с другой — косвенные данные вряд ли позволят получить долгожданный ответ.

Неудивительно, что в последнее время многие представители научного сообщества призывают оснащать будущие марсоходы специальными биологическими лабораториями, способными напрямую искать следы микроорганизмов в марсианском грунте.

Впрочем, даже положительный результат подобных поисков вряд ли устроит всех ученых. В этой сфере слишком многое зависит от интерпретации данных. Как говорил знаменитый американский астроном, астрофизик и популяризатор науки Карл Саган, экстраординарные заявления требуют экстраординарных доказательств. Таким доказательством может стать, например, прямое обнаружение живых существ, которых удастся увидеть (хотя бы в микроскоп) и сфотографировать.

Но если на Марсе когда-нибудь действительно найдут жизнь, это сразу же поставит перед человечеством сложную дилемму. Имеем ли мы право заселять планету, где уже имеется собственная биосфера? Несмотря на кажущуюся надуманность, это действительно важный вопрос. Современные планы по колонизации Марса (вроде тех, которые озвучивает Илон Маск) предполагают его постепенное терраформирование — изменение физических условий у поверхности до состояния, пригодного для жизнедеятельности человека и земных растений «в открытом грунте». Подобная активность со значительной долей вероятности будет губительной для «коренной» марсианской биосферы.

Конечно, если жизнь на соседней планете ограничивается исключительно чем-то вроде микробов — скорее всего, колебания будут недолгими. Но что делать, если там обитают более сложные организмы? Где проходит «запретная черта» и кто имеет право принимать подобные решения?

Впрочем, вначале нужно будет решить чисто технический вопрос...

## Можно ли терраформировать Марс?

Разумеется, все рассуждения на эту тему пока остаются умозрительными. В силу огромной сложности межпланетных пилотируемых перелетов человечество в обозримом будущем вряд ли сможет начать полноценную колонизацию Марса. Это вопрос



▲ Это изображение было получено с помощью камеры MOC американского космического аппарата MGS (Mars Global Surveyor) 13 марта 1999 г., когда в северном полушарии Красной планеты началась зима. Белые отложения представляют собой «постоянную» часть полярной шапки, состоящую в основном из водяного льда. Ее размер превышает тысячу километров. По мере похолодания шапка увеличивается за счет намерзающей из атмосферы углекислоты





дальней перспективы.

Фантасты и футурологи давно расписали процесс превращения Красной планеты в обитаемый мир. Вначале необходимо растопить марсианские полярные шапки. Они состоят из двух слоев: сверху находится замерзшая углекислота, внизу — смесь водяного льда и пыли. Таяние полярных шапок приведет к высвобождению больших объемов углекислого газа и водяного пара, являющихся мощными парниковыми агентами (они пропускают к по-

верхности излучение видимого диапазона, но «не выпускают» ее инфракрасное излучение, за счет чего происходит нагрев приповерхностного атмосферного слоя). Газовая оболочка планеты «уплотнится» и ее средняя температура у поверхности вырастет, что сделает возможным стабильное существование воды в жидком виде.

Далее Марс необходимо «засеять» генно-модифицированными организмами, которые постепенно «переработают» атмосферу, сделав ее пригодной для дыхания. Этот процесс, конечно, растянется на много тысячелетий, но в результате Красная планета станет зеленой, и по ее поверхности можно будет гулять без скафандра.

Все подобные мечты основываются на одном важном допущении. Оно заключается в том, что на Марсе имеется достаточное количество парниковых газов (главным образом углекислоты) для уплотнения атмосферы. Однако, согласно расчетам астрономов Брюса Якоски и Кристофера Эдвардса (Bruce Jakosky, Christopher Edwards), опубликованным в июльском издании *Nature Astronomy*, на самом деле это не так — на планете попросту нет нужного объема  $\text{CO}_2$  для успешного терраформирования.

По расчетам планетологов, если полностью растопить полярные шапки Марса, его атмосферное давление увеличится всего лишь вдвое (то есть станет не в 160, а в 80 раз меньше, чем на Земле на уровне моря). Ученые также оценили другие потенциальные источники углекислоты — верхний слой марсианского грунта и углеродсодержащие минералы. Если каким-то образом высвободить абсолютно весь заключенный в них  $\text{CO}_2$ , это позволит увеличить давление до 5% от земного.

Впрочем, по мнению авторов статьи, даже используя все доступные источники углекислого газа, в реальности человечество сможет повысить марсианское атмосферное давление максимум до 2% от соответствующего земного показателя. Это

увеличит среднюю температуру планеты всего лишь на  $10^\circ$ , чего совершенно недостаточно для стабильного существования воды. Не стоит также забывать, что у Марса нет глобального магнитного поля, и вся высвобожденная углекислота будет безвозвратно «сдуваться» солнечным ветром.

Теоретически существует возможность доставить на Марс недостающие объемы газов «извне» — например, устроив его бомбардировку кометами и астероидами либо каким-то образом «переправив»  $\text{CO}_2$  с Венеры, где его имеется с избытком. А для запуска планетного динамо необходима сущая мелочь — расплавить внешние слои марсианского ядра. Другое возможное решение проблемы — строительство в точке Лагранжа  $L_1$  системы «Солнце-Марс» космической станции, генерирующей магнитное поле достаточной мощности. Но все эти варианты требуют таких огромных ресурсов и энергозатрат, что выглядят слишком нереальными даже по меркам научной фантастики.

Тем не менее, далеко не все согласны с тем, что идею терраформирования Красной планеты стоит похоронить в зародыше. Тот же Илон Маск уже успел заявить, что в марсианских минералах содержится достаточное для уплотнения атмосферы количество углекислоты, которую вполне реально высвободить. Он сослался на результаты исследований, проведенных другими экспертами-планетологами.

Независимо от того, существует ли в действительности жизнь на Марсе и можно ли в будущем сделать его зеленым, все эти исследования и открытия напоминают нам о главном. У нас есть лишь один «космический дом» — наша Земля. Даже самый суровый уголок нашего мира намного благоприятнее для жизни, чем холодные марсианские пустыни. Поэтому, думая о поисках жизни на других планетах и их терраформировании, нам никогда не следует забывать о сохранении нашей собственной. ■

# Битва **СВЕТА И** **ТЬМЫ** В туманности Киля

Туманность NGC 3372, также известная как «туманность Киля», была формально открыта 25 января 1752 г. французским астрономом Николя Луи де Лакайлем (Nicolas-Louis De la Caille). Впрочем, он практически наверняка был не первым человеком, наблюдавшим ее. Дело в том, что эта туманность является одним из самых больших и ярких объектов дальнего космоса, которые можно увидеть на ночном небе невооруженным глазом. Тем не менее, она не столь известна, как другие подобные объекты. Это объясняется тем, что туманность лежит в  $60^\circ$  южнее небесного экватора. Поэтому она видна только в Южном полушарии Земли (а также в приэкваториальных областях Северного полушария).

NGC 3372 расположена в созвездии Киля (части древнего, но «упраздненного» ныне созвездия Корабля Арго) на расстоянии около 7500 световых лет от Солнца. По сути, это динамично эволюционирующее облако межзвездного газа и пыли протяженностью свыше 300 световых лет, которое представляет собой один из крупнейших известных регионов Млечного Пути, где регулярно рождаются новые звезды. Сейчас туманность переживает вторую вспышку звездообразования. По оценкам астрономов, первая произошла примерно 3 млн лет назад.

Находящиеся в недрах туманности массивные звезды испускают мощное излучение, которое ионизирует окружающие газовые облака, заставляя их светиться. Поэтому мы можем наблюдать NGC 3372 в видимом диапазоне. Другие ее части глазу кажутся темными — на самом деле это огромные скопления пыли, внутри которых скрываются новорожденные светила.

Можно сказать, что между звездами и пылью в туманности Киля идет непрекращающаяся битва, и первые в ней побеждают. Испускаемое ими высокоэнергетическое излучение и мощный звездный ветер постепенно испаряют и рассеивают газы-пылевые «звездные ясли», в которых они родились. Этот процесс формирует причудливый «ландшафт», хорошо заметный на фотографиях NGC 3372, сделанных различными оптическими обсерваториями.

Но видимого света недостаточно, чтобы проникнуть сквозь содержащиеся в туманности массы горячего газа и темной пыли, и запечатлеть «звездные ясли» во всей красе. Для этого исследователи используют инфракрасную съемку. В ходе недавних наблюдений обзорный телескоп видимого и инфракрасного диапазона VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) чилийской обсерватории Параналь — подразделения Европейской Южной обсерватории (ESO) — сумел получить беспрецедентные

► Наиболее детальное изображение туманности «Гомункул» — части туманности Киля — было получено в сентябре 1995 г. Планетной камерой широкого поля WFPC2 космического телескопа Hubble.

Сгусток частично ионизированного газа и пыли необычной формы имеет размер порядка 15 млрд км (для сравнения: диаметр орбиты Нептуна — самой внешней планеты Солнечной системы — примерно равен 9 млрд км). На снимке можно заметить потоки вещества, выброшенного двойной системой  $\eta$  Киля в середине прошлого века в ходе события, получившего название «Великой вспышки». В основном это водород и гелий, но на их фоне хорошо видны темные пылевые прожилки — так массивные звезды «снабжают» Вселенную тяжелыми элементами, синтезированными в их недрах в результате термоядерных реакций.

Несложно понять, что расширяющееся газовое облако состоит из двух конусов с общей осью, соприкасающихся вершинами. Однако часть вещества вылетает из точки соприкосновения (где, собственно, и находится двойная звезда) в плоскости, перпендикулярной оси конусов. Расширение происходит со скоростью более 600 км/с и постепенно замедляется.

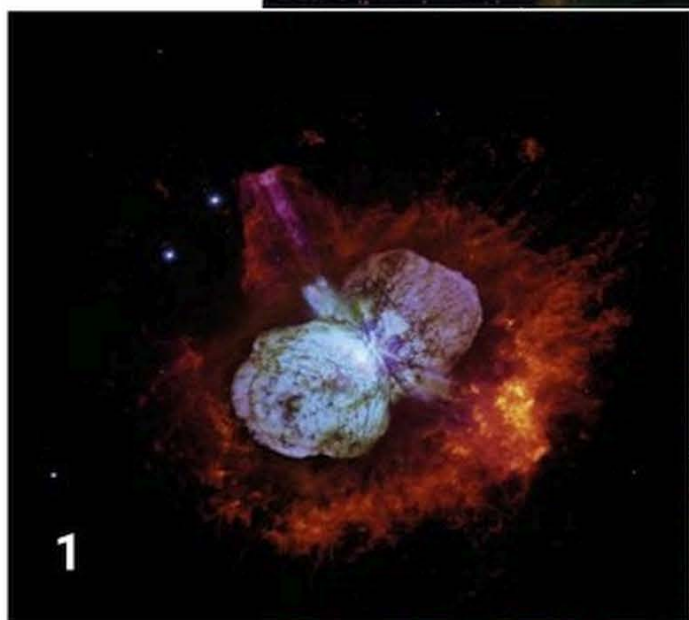
Чтобы полноценно

запечатлеть всю туманность, потребовалось сделать восемь снимков с различными экспозициями, поскольку ее самые тусклые части в 100 тыс. раз слабее самых ярких. Съемка велась через красный фильтр и в ближнем ультрафиолетовом диапазоне (показан условным голубым цветом), на который приходится основная часть излучения  $\eta$  Киля — это легко заметить по фиолетовому оттенку в центре туманности. Возможно, это также связано с тем, что в непосредственной близости от звезд оказались сконцентрированы достаточно крупные частицы пыли, поглощающие ультрафиолет значительно меньше, чем мелкие пылинки, но вполне эффективно его отражающие.

Более тяжелый компонент  $\eta$  Киля превышает по массе Солнце как минимум в 90 раз и в единицу времени излучает примерно в 5 млн раз больше энергии. Массу второго компонента оценивается в 30 солнечных. Астрономам пока известна лишь одна такая система, состоящая из двух массивных звезд. Поэтому с момента «Великой вспышки» ей всегда уделялось повышенное внимание. Ее исследования помогут ученым лучше понять механизмы взрывов в двойных системах и процессы переноса материи в них.

Jon Morse (University of Colorado), NASA





1

▼ Изображение туманности Киля, полученное телескопом VISTA в инфракрасном диапазоне. Прекрасно видны огромные облака межзвездного газа с темными вкраплениями пыли. Среди них разбросаны молодые горячие звезды, многие из которых образовались менее 3 млн лет назад. Их гравитация, излучение и мощный звездный ветер заставляют туманность активно меняться. Астрономы ведут постоянный мониторинг этого объекта, отслеживая подобные изменения, чтобы получить больше информации о процессах звездообразования.

ESO / J. Emerson / M. Irwin / J. Lewis



Изображение туманности Киля, полученное Межамериканской обсерваторией Серро Тололо в Чили (Cerro Tololo Inter-American Observatory). Цвета синтезированы путем объединения снимков, сделанных через различные фильтры. Синий соответствует излучению кислорода, зеленый – водорода, красный – серы. Дополнительно цветом отображается температура ионизированного газа: оттенки синего преобладают в более горячих областях, красного – в более холодных. Яркое пятно чуть выше центра изображения – η Киля, одна из наиболее интенсивно излучающих и массивных звезд Млечного Пути.

N. Smith and NOAO/AURA/NSF



▲ В апреле 2007 г. в честь 17-летия со дня вывода на орбиту легендарного телескопа Hubble его научная команда опубликовала это мозаичное изображение туманности Киля (NGC 3372). Оно составлено из 48 отдельных снимков, сделанных Усовершенствованной обзорной камерой ACS в линии нейтрального водорода. Цвета добавлены по данным наземных наблюдений, выполненных Межамериканской обсерваторией Серро Тололо (Чили). Синий соответствует излучению кислорода, зеленый — водорода, красный — серы.

На момент публикации

это была самая обширная небесная панорама, снятая обсерваторией Hubble. Она охватывает область пространства поперечником до 50 световых лет вблизи центра NGC 3372, содержащую множество недавно сформировавшихся звезд всех масс и размеров. Согласно современным оценкам, последний всплеск звездообразования в туманности произошел примерно 3 млн лет назад. Теперь ее вещество постепенно «выдувается» мощным излучением и звездными ветрами массивных светил. Максимум их излучения приходится на ультрафиоле-

товый диапазон, поэтому оно ионизирует окружающий газ, заставляя его светиться.

В наиболее ярком регионе левее центра изображения находится  $\eta$  Киля. На самом деле это двойная система, один из компонентов которой относится к наиболее массивным звездам Млечного Пути (он как минимум в 90 раз тяжелее Солнца). Жизненный цикл таких звезд длится всего несколько миллионов лет, после чего водород и гелий в их недрах полностью «выгорают», а далее происходит гравитационный коллапс, сопровождаемый грандиозной вспышкой сверхновой и

образованием черной дыры.

Изучая туманность Киля, астрономы надеются лучше понять процессы рождения и эволюции звезд различных масс. Предполагается, что наше Солнце 4,6 млрд лет назад образовалось в подобном газово-пылевом облаке. Сравнительно близкие взрывы сверхновых выбрасывали в пространство большие количества синтезированных в их недрах тяжелых элементов, «загрязнивших» околосолнечный протопланетный пылевой диск и ставших основой для формирования каменных планет — в том числе и Земли.



► «Столпы творения» в туманности Киля. Слева можно увидеть «гору», состоящую из пыли и холодного водорода, внутри которой формируются новые светила. «Гора» постепенно разрушается под действием ультрафиолетового излучения, испускаемого горячими новорожденными звездами туманности.

На врезке справа показан один из «пиков» структуры. Из его «острия» в обоих направлениях вырываются газовые потоки. Они врезаются в окружающие газопылевые облака, формируя хорошо заметную ударную волну. Это не что иное, как джеты, выбрасываемые новорожденной звездой внутри «столпа». В нижней части снимка можно увидеть аналогичный джет даже большей протяженности, генерируемый еще одним «звездным зародышем».

Изображение получено таким же образом, как предыдущее, цвета условно отображают те же спектральные линии.



NASA, ESA, N. Smith (University of California, Berkeley),  
The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)



▲ Фотография глобул Бока внутри туманности Киля, сделанная обсерваторией Hubble. Глобулами Бока называют темные газо-пылевые сгустки, которые можно наблюдать на фоне эмиссионных космических туманностей или отдаленных звезд. Они характеризуются резко очерченными границами и более высокой плотностью вещества, чем в обычных газовых облаках. Крупные глобулы имеют массу, достаточную для того, чтобы внутри них начали формироваться новые звезды. Но даже мощности орбитального телескопа недостаточно, чтобы пробиться сквозь толщу пыли. Объекты, скрытые внутри глобул, астрономы смогут увидеть, когда вступят в строй инструменты следующего поколения — такие, как JWST (James Webb Space Telescope).

На центральном снимке видна небольшая глобула с яркими краями, которой присвоили неофициальное название «Гусеница». Сияние ее внешних слоев говорит о том, что она подверглась фотоионизации (отрыва электронов от атомов) под действием излучения самых горячих светил окружающей туманности. В дальнейшем это излучение ее разрушит — совместно со светом новорожденных звезд, формирующихся в ее недрах.

Изображение получено таким же образом, как предыдущее, цвета обозначают те же линии излучения.

NASA, ESA, N. Smith (University of California, Berkeley), The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

по детализации изображения «внутренностей» NGC 3372. Снимки демонстрируют множество звезд — как новорожденных, так и завершающих свой жизненный цикл. В общей сложности VISTA выявил 5 млн индивидуальных источников инфракрасного излучения внутри гигантского газо-пылевого облака.

В туманности Киля «проживает» как минимум дюжина гигантских звезд, массы которых составляют от 50 до 100 солнечных. Наиболее известная из них —  $\eta$  (эта) Киля. В период с 1837 по 1856 г. она значительно увеличила свой блеск, временно став второй по яркости звездой земного неба. Событие получило название «Великая вспышка». Но блистала

она недолго: уже через несколько лет яркость  $\eta$  Киля начала стремительно уменьшаться, и к 1870-м годам она на длительное время вовсе перестала быть видимой невооруженным глазом.

Сейчас астрономам известно, что на самом деле система  $\eta$  Киля состоит из двух компонентов. Первый из них является одной из самых массивных звезд Млечного Пути. Он весит как минимум в 90 раз больше, чем Солнце, и в ближайшие полмиллиона лет, полностью израсходовав свое водородно-гелиевое термоядерное «горючее», взорвется как Сверхновая. Масса второй звезды оценивается в 30 солнечных. Оба светила окружены туманностью «Гомункул», по форме напоминающей песочные часы. Считается, что она сформировалась из вещества, выброшенного главным компонентом системы во время «Великой вспышки». По мнению некоторых ученых, изначально  $\eta$  Киля состояла не из двух, а из трех звезд. Позже две из них слились воедино, что привело к беспрецедентному выбросу энергии и звездной материи.

На фотографиях телескопа VISTA  $\eta$  Киля видна как часть яркого пятна сразу над вершиной V-образной детали, образованной газо-пылевыми облаками. Справа от звезды (также внутри NGC 3372) лежит сравнительно небольшая туманность «Замочная Скважина» — плотный компактный сгусток холодного молекулярного газа, в котором находится несколько массивных светил. Вид этой туманности также заметно изменился за последние столетия. Очевидно, более мощные астрономические инструменты следующих поколений продемонстрируют нам еще более динамичную картину далекой области звездообразования.



## ВСЕ НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ РАБОТЫ С ГЕОДАНЫМИ В ОДНОЙ ПЛАТФОРМЕ

- Поиск, хранение и загрузка снимков любого разрешения
- Спектральный анализ данных ДЗЗ «на лету»
- Готовые алгоритмы обработки изображений для разных отраслей
- Картографирование, стилизация, а также анализ пространственных данных

[www.eos.com/platform](http://www.eos.com/platform)



EARTH  
OBSERVING  
SYSTEM

Listening To The Pulse Of The Planet

По вопросам сотрудничества пишите на [sales@eos.com](mailto:sales@eos.com)

Генеральные спонсоры:



EARTH  
OBSERVING  
SYSTEM

Listening To The Pulse Of The Planet



AUTO  
Standard  
Group

Издается при поддержке:



Национальная академия наук Украины



Государственное космическое агентство Украины



Главная астрономическая обсерватория НАН Украины



Аэрокосмическое общество Украины



Информационно-аналитический центр «Спейс-Информ»



Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета



Украинская астрономическая ассоциация

Международное Евразийское астрономическое общество