

Вселенная

пространство ✦ время

Международный научно-популярный журнал
по астрономии и космонавтике

№2 (162) 2018

Ученые до сих пор не сформулировали четкого определения того, что такое жизнь, но это не мешает им вести ее активные поиски за пределами Земли. В первую очередь их внимание привлекают тела, на поверхности либо в недрах которых может присутствовать жидкая вода

ROSETTA, МАРС

и происхождение жизни

JUICE

европейская миссия
к Юпитеру и его
ледяным лунам

Galileo:

раскрывая тайны
системы Юпитера

Curiosity: путешествие
в прошлое Красной планеты

Проблемы миссии
Europa Clipper

Falcon Heavy:
новый успех
Илона Маска

NASA
вернет на Марс
кусочек Марса

Что скрывает
океан Энцелада?



ROSETTA, МАРС

и происхождение жизни:
случайности и закономерности

СТР. 4



Curiosity

путешествие
в прошлое
Красной планеты

СТР. 12

NASA вернет на Марс кусочек Марса

СТР. 16



JUPITER

европейский
к Юпитеру
ледяным

Руководитель проекта,
главный редактор:
Гордиенко С. П.

Выпускающий редактор:
Манько В. А.

Редактор:
Размыслович К. Р. (Минск)

Редакционный совет:
Андронов И. Л. — декан

факультета Одесского
национального морского
университета, доктор
ф.-м. наук, профессор, ви-
це-президент Украинской
ассоциации любителей
астрономии

Вавилова И. Б. — ученый
секретарь Совета по кос-
мическим исследованиям
НАН Украины, вице-прези-

дент Украинской астро-
номической ассоциации,
кандидат ф.-м. наук

Митрахов Н. А. — Прези-
дент информационно-а-
налитического центра
«Спейс-Информ», дирек-
тор киевского представи-
тельства ГП КБ «Южное»,
к.т.н.

Олейник И. И. — гене-
рал-полковник, доктор
технических наук, заслу-
женный деятель науки и
техники РФ

Рябов М. И. — старший
научный сотрудник
Одесской обсерватории
радиоастрономического
института НАН Украин-
ны, кандидат ф.-м. наук,

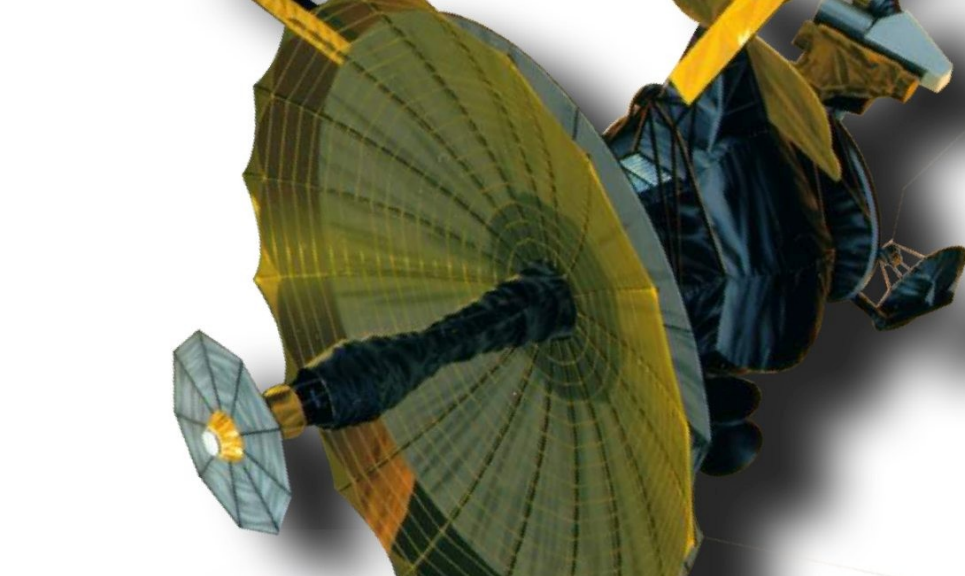
сопредседатель Междуна-
родного астрономическо-
го общества

Дизайн, верстка:
Кисилица Елена
IT сопровождение:
Голойда Андрей

СТР. 26

Galileo:

раскрывая тайны
системы Юпитера



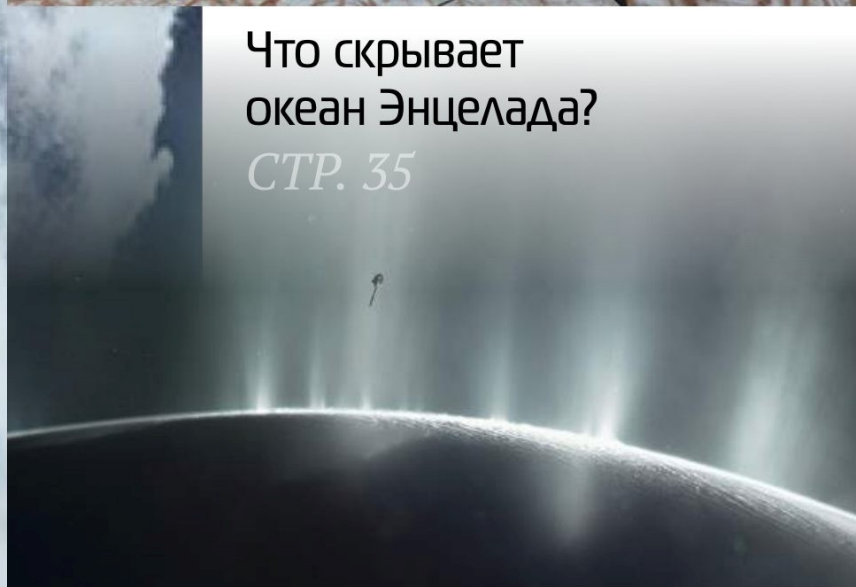
ICE

исская миссия
ру и его
лунам

СТР. 18



Проблемы миссии
Europa Clipper
СТР. 34



Что скрывает
океан Энцелада?
СТР. 35



Falcon Heavy:
новый успех
Илона Маска
СТР. 38

Учредитель и издатель
ЧП «Третья планета»
Зарегистрировано Госу-
дарственным комитетом
телевидения и радиове-
щания Украины.
Свидетельство КВ 7947 от
06.10.2003 г.
© ВСЕЛЕННАЯ, простран-
ство, время —
№ 2 февраль 2018

**ВСЕЛЕННАЯ, простран-
ство, время** — междуна-
родный научно-популяр-
ный журнал
по астрономии и космо-
навтике, рассчитанный на
массового читателя





ROSETTA, МАРС

и происхождение жизни:
случайности и закономерности

Жан-Пьер Бибринг

Институт космической астрофизики (Париж, Франция)

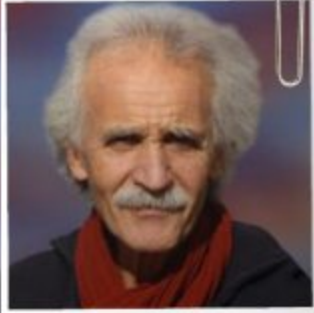
**Rosetta, Mars, and the emergence of life:
genericity and contingencies**

Jean-Pierre Bibring

Institut d'Astrophysique Spatiale (Paris, France)

Доклад прочитан 4 декабря 2017 г.
на 51-м симпозиуме ESLAB
(Нордвейк, Голландия)

Перевод: Владимир Манько
Редактор перевода: Сергей Гордиенко



Жан-Пьер Бибринг

Родился 24 июня 1948 г. в Париже, докторскую степень в области астрофизики получил в 1978 г. в Университете Париж-юг XI, в настоящее время является профессором

и сотрудником астрофизического отдела парижского Института космической астрофизики. Участник руководящих органов нескольких важнейших космических программ, в том числе миссии Cassini-Huygens (совместного проекта ESA и NASA по изучению Сатурна и его системы) и Venus Express вплоть до их завершения соответственно в 2017 и 2014 г. В настоящее время принимает участие в сопровождении зонда MRO (NASA), работающего на ареоцентрической орбите с весны 2006 г. Главный исследователь рабочей группы спектрометра OMEGA, установленного на европейском зонде Mars Express, координатор проектирования микроскопического оборудования для посадочного аппарата миссии ExoMars.

Главная тема 51-го симпозиума ESLAB — «Экстремальные обитаемые миры», и именно ей был посвящен первый доклад, прочитанный председателем оргкомитета Бернаром Фоингом (Bernard Foing). Следующий докладчик — Жан-Пьер Бибринг из парижского Института космической астрофизики — подошел к проблеме с другой стороны. Он охарактеризовал свое выступление как «противоречивое, если не провокационное, как и все, что связано с внеземной жизнью».

Все дискуссии о жизни за пределами Земли (как и о происхождении земной жизни) пока упираются в тот факт, что до сих пор нам известна единственная обитаемая планета — собственно Земля — и приблизительно установлено, что первые живые организмы на ней появились около 4 млрд лет назад. В этой области нет никаких твердых доказательств и общепризнанных концепций, и лишь раз это подтвердилось после начала исследований Солнечной системы с помощью космических аппаратов, результаты кото-

рых вынудили ученых полностью пересмотреть многие фундаментальные парадигмы. Последствия такого пересмотра выходят далеко за рамки научного сообщества. Множество миров как прямое следствие универсальности законов мироздания, вдохновлявшее поиски внеземной жизни до последнего времени, теперь выглядит как **разнообразие** миров, причем этот термин характеризует и объекты нашей Солнечной системы (проявляясь даже на уровне четырех галилеевых спутников Юпитера), и саму Солнечную систему как одну из бесчисленных звездных систем.

Что приводит к такому разнообразию эволюционных путей? Как схожие процессы могут способствовать появлению столь различных сценариев эволюции? В каком масштабе времени и пространства уникальна Земля и жизнь, которую она приютила? Как влияет на вероятность присутствия жизни за пределами нашей планеты способность земных живых организмов адаптироваться к широкому спектру внешних условий? Неожиданные ответы на эти вопросы дали экспедиции к Марсу и миссия космического аппарата Rosetta.

Общие процессы, специфичные формы

С момента появления первых монотеистических религий (а возможно, и раньше) надолго утвердилось представление о Земле как единственном и уникальном объекте, населенном людьми и противопоставляемом «небесному миру». Только с наступлением XVII века начало преобладать мнение о том, что на самом деле она вполне стандартная планета, каких много не только во Вселенной, но даже в нашей Солнечной системе, а Солнце — соответственно всего лишь одна из множества звезд. Из этого подобия (а также представления об универсальности физических законов, всегда и везде проявляющих себя одинаково) проистекал вывод о такой же «всеобщности» и распространенности жизни за пределами Земли. Но после полетов первых межпланетных аппаратов и открытия экзопланет наука на новом уровне вернулась к идее «земной уникальности». До сих пор в поисках внеземной жизни астрономы пытаются обнаружить планеты иных звезд (желательно солнцеподобных) с твердой поверхностью и обширными водными резервуарами на ней — то есть

▼ Ниццкая модель — сценарий динамической эволюции Солнечной системы, названный в честь административного центра французского региона, где расположена Обсерватория Лазурного Берега (ее сотрудники внесли наибольший вклад в разработку данной модели). Согласно ей, вначале — до того, как Юпитер и Сатурн вошли в орбитальный резонанс 2:1 — орбиты планет-гигантов располагались намного компактнее, чем сейчас (в интервале 3,5-17 а.е. от Солнца). Далее Нептун, траектория

с условиями, максимально напоминающими земные. Однако эта задача не просто очень сложна: похоже, такое направление поисков совершенно не повышает вероятность их позитивного результата.

Как показали исследования планет Солнечной системы средствами космонавтики, всех их отличает крайнее и совершенно неожиданное разнообразие с точки зрения эволюции и текущего состояния. Кажется невероятным, что все они сформировались из одного и того же протосолнечного газово-пылевого облака, которое должно было заложить много общего в их дальнейшее развитие. Для объяснения различий планет совершенно недостаточно их разных размеров и гелиоцентрических расстояний. Каковы же основные «движущие силы» эволюционного разнообразия?

По-видимому, даже при небольших различиях исходных состояний общие эволюционные процессы приводят к существенно отличающимся результатам, диктуемым спецификой каждого набора условий. Это может быть проиллюстрировано двумя примерами.

1. Ранние миграции планет-гигантов, в ходе которых они существенно меняют радиусы своих орбит, представляют собой весь

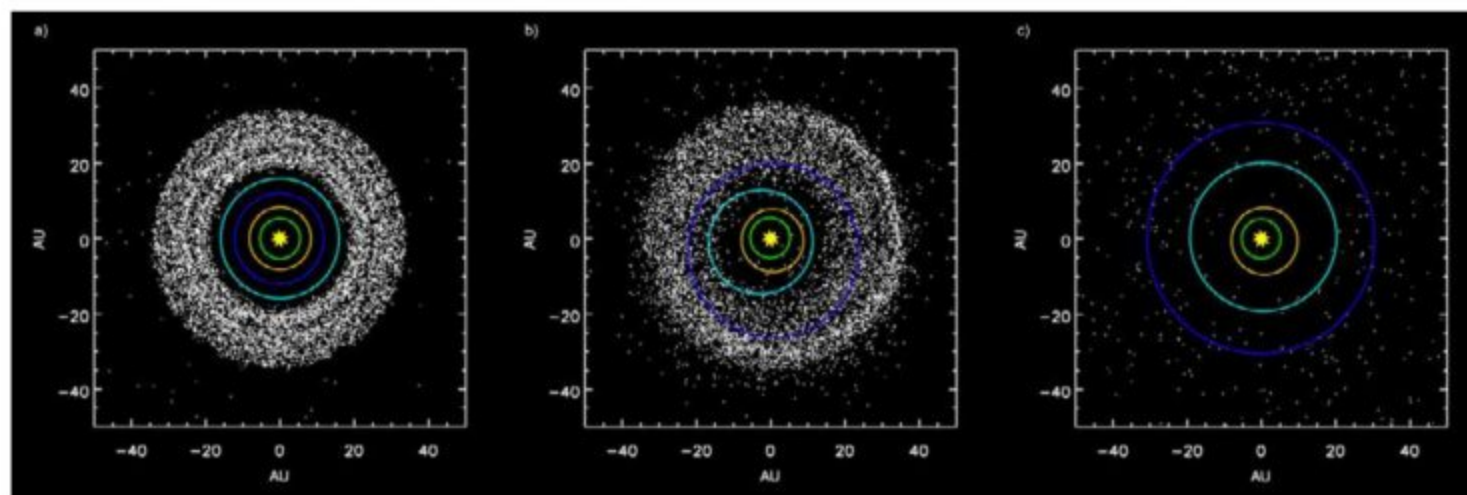
которого здесь показана темно-синим цветом, и Уран, обозначенный голубым, в результате многочисленных гравитационных взаимодействий с крупными ледяными объектами (планетезималиями), «обитавшими» на еще больших гелиоцентрических расстояниях, заставили многие из них приблизиться к Солнцу, а сами, «взяв на себя» часть потенциальной энергии этих объектов, наоборот, удалились от нашего светила. Позже пертурбации орбит Юпитера и Сатурна «забросили» часть планетезималей

ма распространенный процесс в эволюции звездных систем. Однако, по-видимому, каждой такой системе свойственен очень специфичный «миграционный сценарий», зависящий от структуры протопланетного диска и свойств родительской звезды, в том числе ее эволюционных особенностей. Применительно к Солнечной системе обычно рассматривается т.н. Ниццкая модель, включающая в себя миграции Юпитера и Сатурна (они получили название «Великого переворота» — Grand tack), в итоге ставшие причиной необычного пространственного и массового распределения внутренних планет, и в первую очередь — Земли, оказавшейся самой тяжелой из них. Вдобавок вклад турбулентции в формирование обогащенных льдом объектов во внешних областях диска необходимо учитывать при оценках содержания воды (по крайней мере, на Земле и Марсе).

2. Столкновения каменных протопланет со сравнимыми по размерам телами (астероидами либо меньшими по массе протопланетами) на ранних стадиях их формирования, несомненно, должны быть вполне регулярным явлением. С привлечением этого механизма, в частности, объясняют возник-

на дальние окраины Солнечной системы, сформировав Облако Оорта.

Механизм миграции планет-гигантов используется при динамическом моделировании Солнечной системы для объяснения некоторых событий ее истории, включая т.н. позднюю тяжелую бомбардировку внутренних каменных планет, формирование Главного пояса астероидов и появление многочисленных транснептуновых объектов, находящихся в орбитальном резонансе с Нептуном.



новение системы «Земля-Луна». Но далее такое столкновение оказало решающее воздействие на высокоспецифичную эволюцию Земли: появившийся у нее крупный спутник стабилизировал наклон земной оси, способствовал протеканию тектонических процессов с последующим проникновением воды и гидратированных минералов в мантию, возникновению глобального подповерхностного слоя жидкой магмы и т.д. Масштабы этих эффектов очень чувствительны к параметрам удара (геометрия, соотношение масс столкнувшихся тел, их состав), результатом чего также становятся сильно отличающиеся эволюционные сценарии.

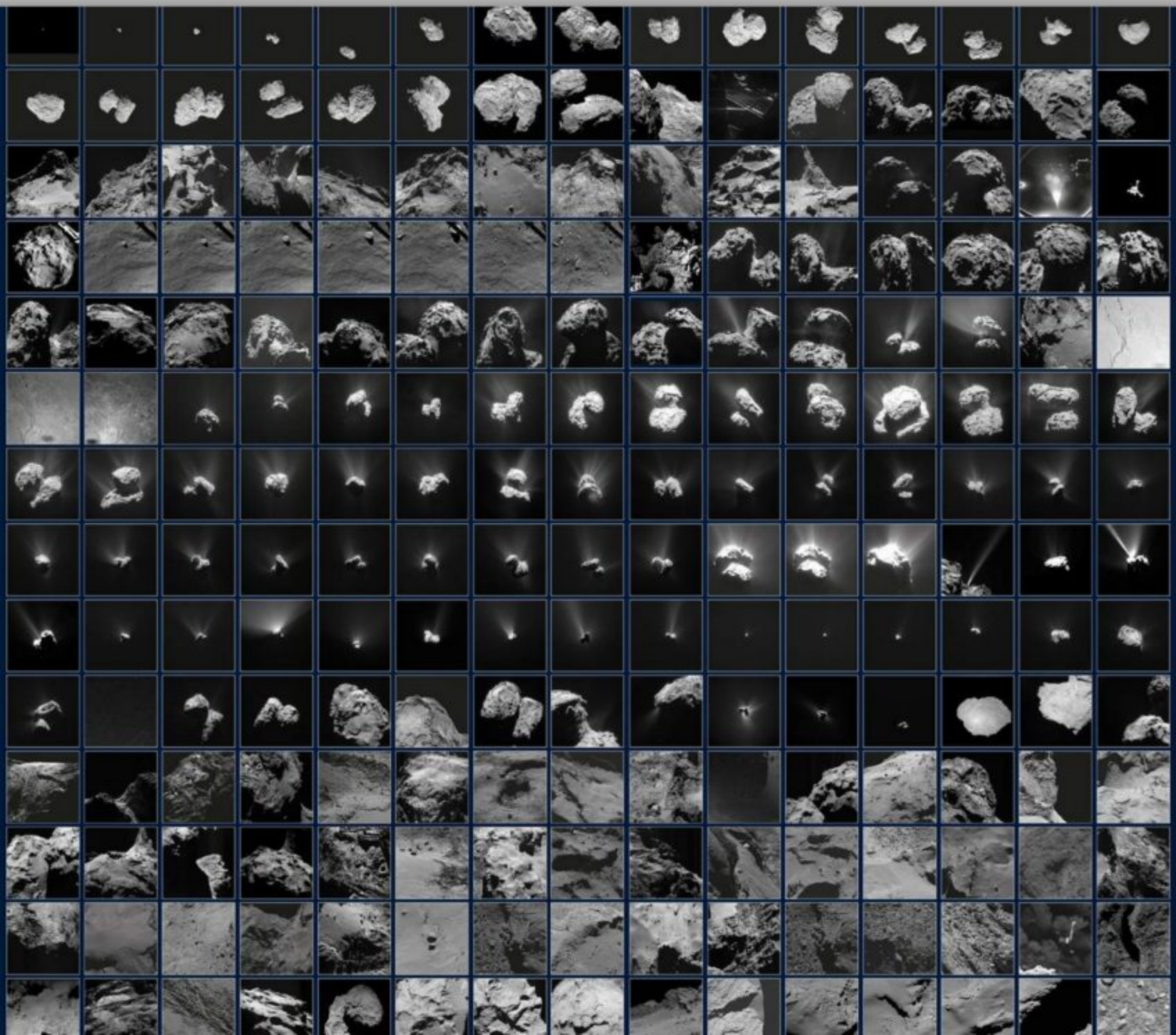
▼ Этот коллаж составлен из 210 снимков кометы Чурюмова-Герасименко (67P/Churyumov-Gerasimenko), сделанных европейским зондом Rosetta в период с июля 2014 г. до падения на ее ядро в сентябре 2016 г. На самом первом снимке в левом верхнем углу, полученном еще на стадии сближения с кометой, ее 4-километровое ядро имеет размер всего в несколько пикселей. На более поздних фотографиях становится очевидной его необычная форма, позже проявляются все более мелкие детали поверхности. В ряду изображений присутствуют также два «неестественных» объекта: Rosetta, сфотографированная посадочным модулем Philae вскоре после отделения от основного аппарата, и собственно посадочный модуль на своем пути к кометному ядру.

По мере приближения кометы к перигелию (который она прошла 13 августа 2015 г.) ее активность росла, что также хорошо видно на снимках. Это заметно усложнило тесные сближения космиче-

ского аппарата с ядром, выбрасывавшим значительные количества газа и пыли. Однако с большого расстояния удавалось сфотографировать впечатляющие гейзеры и джеты, извергаемые «хвостатой гостьей». После перигелия активность пошла на спад, и пролеты вблизи ядра снова стали сравнительно безопасными. На нескольких снимках можно увидеть тень, которую на него отбрасывает Rosetta. На участках, сфотографированных более одного раза, астрономы вели поиски изменений, произошедших во время сближения кометы с Солнцем.

По мере удаления космического аппарата вместе с кометой от нашего светила количество энергии, вырабатываемой его солнечными батареями, постепенно уменьшалось, и рабочая группа миссии приняла решение посадить зонд на ядро, что и было сделано 30 сентября 2016 г. За месяц до этого на одном из снимков наконец-то удалось рассмотреть модуль Philae, лежащий на боку в узкой расщелине...

ESA/Rosetta/NavCam – CC BY-SA IGO 3.0; ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA; ESA/Rosetta/Philae/CIVA; ESA/Rosetta/Philae/ROLIS/DLR



▼ Гладкие участки на поверхности ядра кометы Чурюмова-Герасименко, вероятнее всего, представляют собой твердую спеченную корку, от которой модуль Philae дважды отскочил перед посадкой (если бы поверхность была рыхлой — его посадочные опоры «увязли» бы в ней).

ESA/Rosetta/NAVCAM, CC-BY-SA IGO 3.0

Следующий серьезный «сдвиг парадигмы» касается процессов обогащения молодых планет органическими веществами, необходимыми для возникновения жизни. Данные, полученные европейским аппаратом Rosetta и посадочным модулем Philae, исключили из рассмотрения модель кометы — «грязного снежка». Вероятнее всего, кометное ядро состоит преимущественно из богатых углеродными соединениями зерен размером до нескольких миллиметров, в которые включены как силикаты, так и летучие вещества (в первую очередь лед). Для этих структур предложено название ORGANiceS, подчеркивающее тот факт, что водяной лед — ice — заключен в матрице из сложной органики. Анализ более тугоплавкой силикатной компоненты модуль Philae выполнить не смог из-за нехватки заряда бортовых аккумуляторов; общий массив информации, переданной им и зондом Rosetta, демонстрирует большой набор соединений, вполне достаточный для обеспечения «строительным материалом» большинства, если не всех, земных живых организмов. Избыток стереоизомеров и энантиомеров (органических молекул с полностью асимметричной структурой) мог возникнуть благодаря специфическому ультрафиолетовому излучению молодого Солнца, облучавшему обогащенные углеродом зерна в турбулентном аккреционном диске. Объекты, подобные ядру кометы Чурюмова-Герасименко, имеют на поверхности спеченную корку, от которой, по-видимому, и отскочил модуль Philae перед «окончательной» посадкой. Эта корка играет роль «теплового щита» и предохраняет органику от полного термического разрушения при вхождении такого объекта в атмосферу планеты, обеспечив, таким образом, возможность попадания «кирпичиков жизни» в большие поверхностные водоемы с подходящими условиями — температурой, соленостью, кислотностью (щелочностью). В этих условиях далее могут инициироваться автокаталитические реакции, приводящие к синтезу примитивных биологических структур из ингредиентов, предварительно слу-

чайно появившихся в результате специфических процессов «межпланетной химии» в первичном газозерно-пылевом облаке.

Здесь следовало бы упомянуть отдельную очень важную проблему. Мы привыкли рассматривать физические условия, присутствующие у поверхности Земли, в качестве «нормальных» и наиболее подходящих для обитания. Но на самом деле такое представление следует считать одной из опасных догм, воцарившихся в современной науке: отталкиваясь в понимании «нормальности» от себя, мы можем упустить множество интересных вариантов, заключающихся в том, что многие миры с «экстремальными» с нашей точки зрения условиями способны предоставить вполне благоприятные возможности для возникновения и эволюции жизни.

И еще одним устоявшимся представлением, которое, весьма вероятно, не совсем соответствует действительности, является картина эволюции от «простого» (сингулярность Большого Взрыва, элементарные частицы) через «более сложное» (атомы и простейшие молекулы) к «наиболее сложному» (органические соединения и структуры живой клетки). Сейчас практически единодушно считается, что этот путь — чуть ли не единственно возможный, и в конце него обязательно должна возникнуть жизнь, причем непременно разумная. Но пока этот результат мы наблюдаем лишь в единичном случае нашей планеты...

Марс как важный свидетель

Наш сосед по Солнечной системе давно уже привлекал внимание ученых как еще одно место, где потенциально может существовать жизнь. Истории о «марсианах» стали неотъемлемой частью литературы и кинематографии. Казалось бы: там, как и на Земле, имеется все необходимое для живых существ — солнечный свет, вода, твердая поверхность... Однако первые же снимки автоматических межпланетных станций показали: признаков жизни на

Марсе нет. Позже посадочные аппараты, осуществившие первые астробиологические эксперименты (Viking 1 и 2), не смогли подтвердить наличия там даже микробов. Определенную надежду дал лишь тщательный анализ метеоритов марсианского происхождения, но и его результаты научное сообщество воспринимает осторожно.

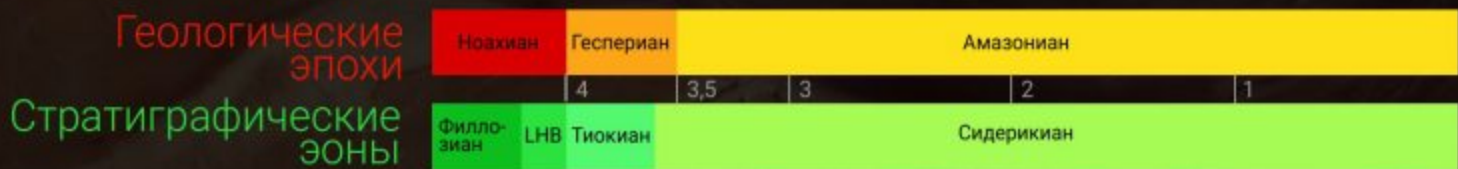
Европейский зонд Mars Express, за которым последовал американский MRO (оба они до сих пор функционируют), выполнили детальные исследования Красной планеты, приведшие к серьезному пересмотру ее истории: оказалось, что вскоре после ее формирования там могли существовать условия, при которых жидкая вода на поверхности оставалась стабильной на протяжении периодов, сопоставимых с возрастом Солнечной системы, прежде чем исчезла

полностью в результате глобального изменения климата. Но еще более интересным представляется открытие на Марсе участков, сохранивших практически нетронутыми с момента его образования — эта особенность делает его уникальным объектом Солнечной системы. Такие участки несут на себе следы условий, преобладавших в древние времена. Эволюция марсианской среды может быть представлена как последовательность минералов, изменявшихся под действием воды — в частности, филлосиликатов с различным содержанием магния, алюминия и железа. Районы с подобной сохранившейся стратиграфией являются идеальными местами для изучения с помощью новых марсоходов — ExoMars (2020 г., ESA) и Mars-2020 (NASA); запуск китайской марсианской мобильной ла-

боратории также запланирован на 2020 г.

Если жизнь и возникла когда-либо вне Земли, эти районы должны быть наиболее благоприятными для сохранения ее следов. Возможно, в одном из присутствующих там минералов (например, в смектите или каолините) мы обнаружим вещества, свидетельствующие об эволюции органики. По этим признакам мы сможем определить среду, более благоприятную для зарождения живых организмов на Марсе, а значит — и на древней Земле. С другой стороны, если никаких сложных органических веществ найдено не будет (только простейшие, непрэволюционировавшие, связанные с межпланетным материалом) — это станет дополнительным доказательством уникальности либо же большой редкости земной жизни.

Периодизация марсианской истории



Рабочая группа прибора OMEGA зонда Mars Express (одним из руководителей которой был Жан-Пьер Бибринг), исследуя хроностратиграфию марсианских минеральных отложений, установила, что хронология Красной планеты должна быть серьезно пересмотрена. Ученые предложили более взвешенный подход, основанный на стратиграфической системе и содержащий три эона:

Филлозиан — «эпоха глины» (4,2 млрд лет назад и ранее) — проявляется на участках, характеризующихся наличием филло-

силикатов, включая глинистые минералы, предположительно образованные в присутствии жидкой воды.

LHB (Late Heavy Bombardment) — гипотетическая «Поздняя тяжелая бомбардировка» каменных планет Солнечной системы большим количеством крупных астероидных тел, связанная с миграцией газовых гигантов и, возможно, вызвавшая усиление вулканизма на Меркурии, Венере, Земле, Луне и Марсе. Предположительно имела место 4,2-4,1 млрд лет назад.

Тиокиан — «серная эпоха» (4,2-3,8 млрд

лет назад) — характеризуется преобладанием сульфатированных минералов, возникших в результате марсианского вулканизма.

Сидерикиан — «железистая эпоха» (3,8 млрд лет и до наших дней) — время образования безводных оксидов железа, присутствующих на поверхности планеты почти повсеместно и ответственных за ее красно-оранжевый цвет.

Датировка этих эонов остается в значительной степени неопределенной. Детальный анализ результатов OMEGA выявил возможный разрыв между Филлозианом и Тиокианом; таким образом, начало последнего может совпадать с Гесперианом (эпохой, фигурировавшей в более ранней марсианской хронологии), а продолжительность Филлозиана оказывается меньше, чем соответствующего ему Ноахиана.

При таком подходе разрыв, более или менее совпадающий с предположительной «Поздней тяжелой бомбардировкой», фактически означал бы эпоху наиболее интенсивного вулканизма, которая распространилась на Тиокиан, постепенно затухая по мере снижения эндогенной активности планеты.



Модель марсианской хронологии (Hartmann & Neukum, 2001)

Основные периоды вулканической активности

Ноахианская эпоха

Эта карта рельефа Земли Ноя (Noachian Terra) — типичного образования времен ноахианской эпохи — получена с помощью высотомера MOLA американского зонда Mars Global Surveyor. Просматривается определенное внешнее сходство с лунными высокогорьями. Условным красным цветом обозначены наиболее высокие участки местности. Синий участок в правом нижнем углу — северо-западный регион гигантской впадины равнины Эллада.

Гесперийская эпоха

Карта равнины Гесперии, в честь которой названа еще одна марсианская эпоха, составленная по данным альтиметра MOLA зонда Mars Global Surveyor. Цвета условные и обозначают высоту местности относительно среднего уровня (красный — самые высокие участки, оранжевый и желтый — более низкие, зеленый — лежащие практически около нулевой отметки). Заметно, что территории, относящиеся к гесперийской системе, содержат меньше ударных кратеров, чем соседние «ноахианские» участки — это свидетельствует об их сравнительной молодости.

Амазонийская эпоха

Равнина Амазонии (Amazonis Planitia) — наиболее характерный пример поверхностных структур, возникших в Амазонийскую эру, фактически продолжающуюся до сих пор. Они характеризуются малой плотностью следов метеоритных и астероидных ударов. Большинство подобных участков лежит ниже среднего уровня Марса, поэтому при их обозначении преобладают условные зеленые и синие цвета.

Японское агентство исследований космоса JAXA организует миссию MMX (Mars Moon eXplorer), среди задач которой — поиск следов столкновения Красной планеты с крупным астероидоподобным телом на ранних стадиях ее эволюции (возможно, в ходе него образовались марсианские спутники Фобос и Деймос). Это позволит, в частности, определить, насколько велика вероятность подобных столкновений, и изучить их эффекты на объектах меньшей массы, чем Земля.

Интересно, что те марсианские регионы, которые действительно имеют выразительный красный или оранжевый оттенок, похоже, никогда не оказывались под водой, а следовательно, она не может нести ответственность за их окраску (как, опять же, считалось ранее). А значит, в истории Марса предположительно был период, когда его окутывала атмосфера с высоким содержанием кислорода, активно участвовавшего в окислении множества поверхностных минералов.

Предварительные итоги

Последовательность процессов, в результате которых Земля сформировалась как «пригодная для жизни» планета, демонстрирует ключевую роль, которую в этом играют случайности и непредвиденные обстоятельства. Новые открытия заставляют нас серьезно пересмотреть существующие парадигмы, рассматривавшие наличие стабильной жидкой воды на поверхности планеты в качестве главной движущей силы. Уже понятно, что зоны и объекты, на которых вода не удерживается на протяжении длительного времени, почти наверняка не являются обитаемыми — но и утверждение о том, что стабильные водные бассейны критически необходимы для возникновения жизни, не учитывает серьезный прогресс в нашем понимании планетной эволюции, достигнутый в последнее время. Впрочем, тот факт, что земная жизнь на протяжении двух с лишним миллиардов лет перед

тем, как выйти на сушу, существовала исключительно в водной среде, также не стоит игнорировать.

В то же время Земля признана уникальной во времени и пространстве (в масштабах, которые предстоит еще определить), со своими нигде более не встречающимися водными океанами и беспрецедентной азотно-кислородной атмосферой — а значит, такой же уникальной оказывается и жизнь, которая с этой точки зрения является специфическим продуктом определенного эволюционного сценария. Она возникла на Земле только один раз, и теперь предстоящие исследования Солнечной системы будут иметь целью решение вопроса о том, каково соотношение случайностей и закономерностей — включая сложную динамику молодого Солнца и протопланетного диска — в общем массиве вовлеченных в ее появление процессов. С другой стороны, однажды возникнув, жизнь больше никогда не «исчезала», проявляя чудеса при-

способляемости к изменениям внешних условий (часто в весьма широких пределах, вплоть до действительно экстремальных), поэтому отдельной проблемой является возможность ее «возрождения», а также возникновения в условиях, далеких от тех, которые сейчас принято считать благоприятными.

Из этого вывода проистекает еще одно интересное следствие. Весьма вероятно, что поиск «экзо-Земель» (объектов, по своим характеристикам максимально похожих на нашу планету), не имеет никакого отношения к поискам внеземной жизни: если таковая где-то и присутствует — она, скорее всего, развивалась в других условиях по собственному эволюционному сценарию, вряд ли сильно напоминающему земной. Не говоря уже о том, что ученые до сих пор не имеют четкого определения «жизни» как универсального феномена вселенских масштабов, и не факт, что оно вообще существует...

▼ Три из четырех землеподобных планет Солнечной системы — Венера, Земля и Марс — обладают атмосферой, причем ее общая масса убывает по мере удаления от Солнца. Спектральные признаки газовых оболочек ученые пытаются найти у планет других звезд, что указывало бы на их сходство с нашей планетой.



► 3 июля 2003 г., через месяц после старта зонда Mars Express с космодрома Байконур, его спектрограф OMEGA сделал снимок Земли, от которой он уже успел удалиться на 8 млн км. Съемка велась в рамках программы тестирования бортовой аппаратуры, однако имела и определенную научную ценность. В ходе нее в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне удалось зарегистрировать признаки воды (освещенный серп Земли, повернутый к зонду, был почти полностью занят Тихим океаном), а также многих атмосферных газов — в частности, углекислого (CO₂), молекулярного кислорода (O₂), озона (O₃), метана (CH₄) и некоторых других. Более того: по мере вращения нашей планеты интенсивность различных спектральных линий менялась, отображая вариации в составе атмосферы над разными участками поверхности. Это были первые в истории наблюдения земного диска, охватившие его полностью.



Curiosity

путешествие
в прошлое
Красной планеты

Американский марсоход Curiosity, работающий на соседней планете уже свыше пяти с половиной лет (вместо двух изначально запланированных), ведет исследования марсианской поверхности с помощью различных инструментов, в число которых входит и микроскопическая камера MAHLI (Mars Hand Lens Imager). Именно этот прибор помог недавно сделать

интересное открытие, позволившее больше узнать о древней истории Марса. 4 января 2018 г., на 1925-й сол (марсианские сутки) после посадки, Curiosity провел детальную съемку скалы-мишени, получившей название «Джура» (Jura) — части скалистой формации «Хребет Веры Рубин» (Vera Rubin Ridge). В целом она имеет коричневато-серый цвет и



мелкокристаллическую структуру, однако в ней встречаются и достаточно крупные кристаллы звездообразной и V-образной формы, а также минеральные жилы с ярким и темным материалом.

Кристаллы, найденные на скалистом обнажении «Харольдсвик» (Haroldswick), по размерам сравнимы с рисовым зерном. Часть

из них — одиночные, но многие образуют сростки — «звездочки» или более простые «ласточкины хвосты». По словам Санджива Гупты, участника рабочей группы Curiosity из Имперского колледжа Лондона (Sanjeev Gupta, Imperial College, London), подобные формации хорошо знакомы геологам, которые изучают кристаллы гипса, образовавшиеся в высохших озерах

на Земле: они могут появляться, когда соли концентрируются в постепенно испаряющейся воде. Тем не менее, специалисты предпочитают не делать окончательных выводов и рассматривают множество путей возникновения обнаруженных особенностей. Строго говоря, пока невозможно точно сказать, сформировались ли эти кристаллы еще до того, как вокруг

них возникла матрица нерастворимых осадочных пород, или же в этой матрице по какой-то причине появились пустоты, позже заполненные веществом, принесенным грунтовыми водами. Каждый из этих вариантов предполагает собственный эволюционный сценарий.

Команда марсохода исследует и другие подсказки, найденные в той же области, чтобы узнать больше об истории Красной планеты. К ним относятся, в частности, минеральные прожилки с



◀ Этот снимок марсоход Curiosity сделал 9 сентября 2015 г., направив камеру с места своей тогдашней стоянки в сторону более высоких участков горы Шарп (Mount Sharp) — центрального пика кратера Гейл. На переднем плане до расстояния примерно 3 км тянется длинный хребет, содержащий большое количество гематита (оксида железа Fe_2O_3). Прямо за ним — холмистая равнина, богатая глинистыми минералами, далее — множество округлых возвышенностей с высоким содержанием гипса и других сульфатов. Минералогическое разнообразие отложе-

ний на склонах горы связано с изменениями окружающей среды на ранних этапах эволюции Марса, однако все эти изменения предполагают участие воды. Дальний план занят необычными скалами светлых оттенков, возможно, образовавшимися в более сухие времена и постепенно разрушающимися под действием ветровой эрозии.

Цветовой баланс выставлен таким образом, чтобы максимально воспроизвести условия солнечного освещения на Земле (благодаря этому марсианское небо приобрело голубой оттенок).

NASA/JPL-Caltech/MSSS



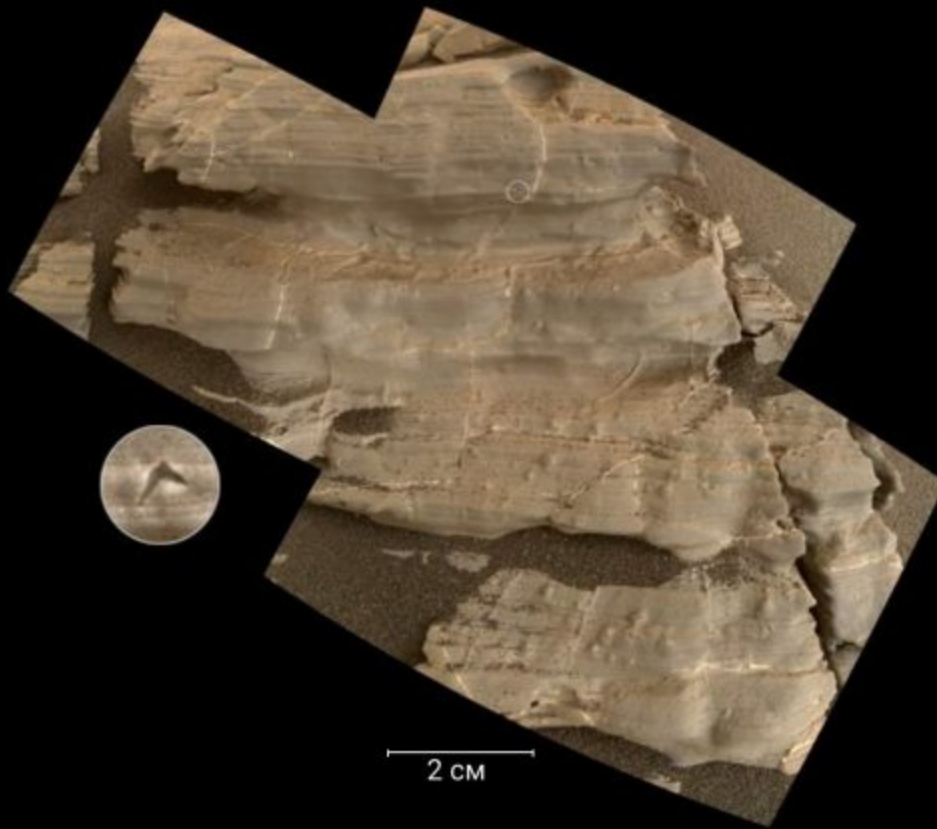
▲ Камера MastCam американского ровера Curiosity произвела подробную съемку «Хребта Веры Рубин» 19 августа 2017 г., за две недели до того, как мобильная лаборатория начала подъем на эту возвышенность. Панорамное

изображение составлено из 13 снимков «цветовой баланс примерно соответствует солнечному освещению на Земле». На нем хорошо заметны детали обнажений осадочных пород, слагающих хребет. Они характеризуются наличи-

ем гематита, обнаруженного еще на снимках, сделанных с орбиты.

Породы, составляющие нижнюю часть хребта, имеют отчетливую горизонтальную стратификацию с отдельными слоями толщиной свыше десятка санти-

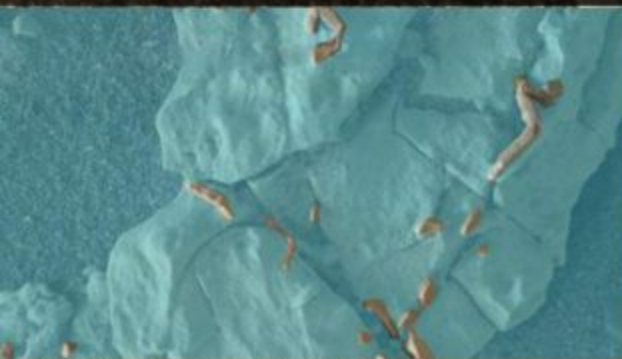
метров. Слоистые породы пересекают жилы, заполненные белым минералом (вероятнее всего, гипсом) — они свидетельствуют о более поздних эпизодах просачивания жидкости через пористые отложения.



◀ Это обнажение мелкокристаллической слоистой породы с минеральными прожилками темных и светлых оттенков, находящееся на южном склоне «Хребта Веры Рубин», получило название «Джура» (Jura). 4 января 2018 г. марсоход Curiosity произвел его детальную съемку с помощью микроскопической камеры MAHLI. Изображение составлено из трех снимков, охватывающих участки размером примерно с почтовую открытку. На врезке в увеличенном виде показан один из V-образных кристаллов. Здесь встречаются также другие кристаллические формации, характерные для гипса (сульфата кальция).

▶ Палочкообразные структуры на марсианской скале «Харольдсвик», сфотографированные камерой MAHLI (ширина представленного снимка равна примерно 5 см). Эта каменная мишень находится у южного края «Хребта Веры Рубин» в нижней части склона горы Шарп.

Происхождение серых продолговатых формаций пока не объяснено. Одна из версий заключается в том, что они представляют собой устойчивые к эрозии фрагменты темного материала из минеральных жил, прорезающих слои осадочных пород в этой области.



яркими и темными зонами, цветовые вариации в коренных породах, плавные горизонтальные слои, толщина которых изменяется более чем в десять раз, а содержание различных элементов (в первую очередь железа) — вчетверо. «Здесь целая сокровищница интересных целей, — прокомментировал исследование научный сотрудник проекта Curiosity из Лаборатории реактивного движения NASA Ашвин Васавда (Ashwin Vasavada, JPL NASA, Pasadena, California). — Каждая из них — подсказка, и чем больше таких подсказок — тем лучше... В любом из сценариев эти кристаллы являются новым свидетельством существования долгоживущих водоемов и пригодной для обитания окружающей среды на Марсе».

До сих пор, пояснил ученый, специалисты считали, что большинство древних водоемов были заполнены водой, содержащей сравнительно мало солей. Теперь же мы можем наблюдать, как озера менялись со временем вследствие глобальных изменений марсианского климата, и это согласуется с общей картиной, согласно которой Марс постепенно терял воду на протяжении последних трех миллиардов лет. Эти отличия напоминают разницу между пресноводными горными озерами, подпитываемыми тающим снегом, и солеными озерами в пустынях, где вода испаряется быстрее, чем поступает свежая.

В настоящее время считается, что мелкокристаллические спрессованные породы скалы Джура являются следствием

накопления осадков на озерном дне, как это происходило в нескольких более старых нижележащих слоях. Однако найденные кристаллы могли образоваться не только в испаряющемся озере, но и гораздо позже — из рассола, пропитавшего водопроницаемую породу. Нечто подобное Curiosity уже обнаруживал в местах, где подповерхностные водные растворы оставили после себя такие структуры, как минеральные жилы. Кстати, особый интерес представляют вариации содержания железа в таких жилах, способные содержать информацию об условиях, благоприятных для жизни микроорганизмов. Оксиды железа различаются по своей растворимости в воде, причем соединения этого элемента с более высоким показателем окисления, как правило, менее

склонны к растворению и транспортировке. Окружающая среда с набором оксидов разной валентности может обеспечить градиент химической энергии, используемый некоторыми типами микробов в процессе их жизнедеятельности.

Хребет Веры Рубин (Vera Rubin Ridge) мобильная лаборатория изучает уже более полугодя. Он представляет собой устойчивую к эрозии полосу в нижней части северного склона горы Шарп внутри кратера Гейл. Необычность этой структуры была замечена еще на снимках с ареоцентрической орбиты, сделанных до посадки Curiosity. Недавно ровер завершил подъем на южную оконечность хребта и приготовился к переходу к следующей цели исследований, получившей условное название «Глиняный участок» (Clay Unit).



► На этом изображении структуры под названием «Рона», расположенной вблизи верхней части южного края «Хребта Веры Рубин», выделяется минеральная жила с яркими и темными включениями. Серый участок в центре имеет ширину около 5 см и длину почти 8 см. Он был предварительно расчищен с помощью проволоочной щетки для удаления пыли, установленной на ровере Curiosity. Фотография сделана 17 января 2018 г., на 1937-й сол с момента начала работы мобильной лаборатории на поверхности Марса.



NASA вернет на Марс кусочек Марса

Ежегодно на Землю падает несколько тысяч тонн метеоритов. Большинство из них имеет астероидное происхождение. Но некоторые «космические гости» прилетают к нам с других планет Солнечной системы — главным образом с соседнего Марса. Как правило, они представляют собой обломки, выбитые с их поверхности ударами крупных астероидов,

руку-манипулятор ровера Mars 2020. Задача прибора — микроскопические минералогические исследования и поиск органических веществ.

Преыдущие марсоходы NASA также имели на борту калибровочные образцы. В зависимости от инструмента в этом качестве могли применяться горные породы, металл или стекло. Однако в случае с SHERLOC исследователи решили использо-



или же вещество, выброшенное в космос в ходе самых мощных вулканических извержений.

К настоящему времени уже удалось найти свыше ста метеоритов, прилетевших к нам с Марса. Их происхождение подтверждено изотопным анализом. Эти камни являются предметом особого интереса планетологов, предоставляя им возможность заглянуть в марсианское прошлое. Некоторые ученые, по их утверждениям, обнаружили в таких метеоритах следы, указывающие на то, что на Красной планете раньше существовала жизнь.

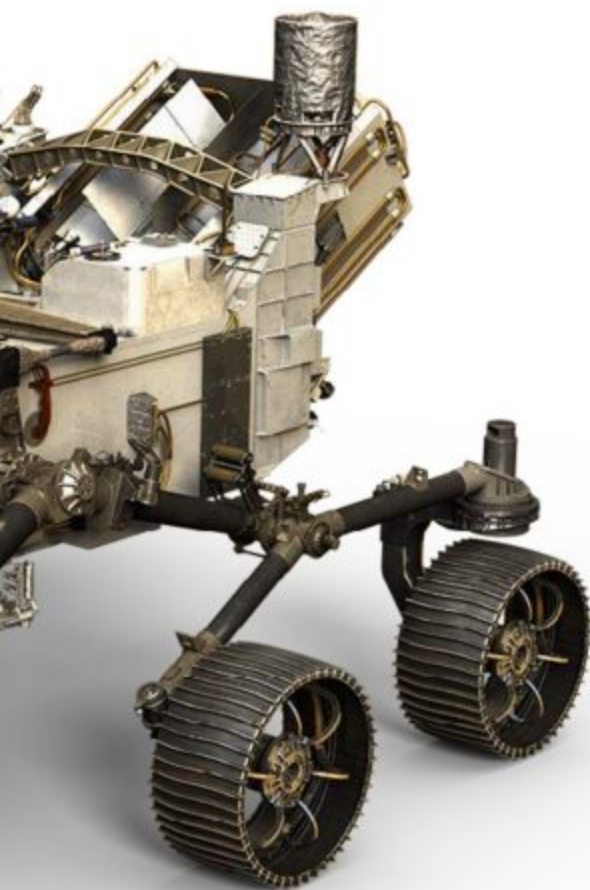
В 2020 г. одному из марсианских метеоритов предстоит обратное путешествие. Речь идет о фрагменте камня Uhaymir 008 (SaU008), упавшего на Землю в 1999 г. С его помощью специалисты собираются производить калибровку лазера, используемого в спектрометре SHERLOC, который установят на

вать образец настоящего марсианского вещества, что должно значительно повысить точность работы приборов.

Mars 2020 будет заниматься астробиологическими исследованиями и искать следы, указывающие на потенциальную обитаемость соседней планеты в прошлом. Кроме того, марсоход должен собрать пробы марсианского вещества с наиболее интересных участков для дальнейшей доставки на Землю.

Стоит отметить, что SaU008 — не первый метеорит, совершающий «обратный перелет» к Красной планете. На борту запущенного в 1996 г. аппарата Mars Global Surveyor находится небольшой

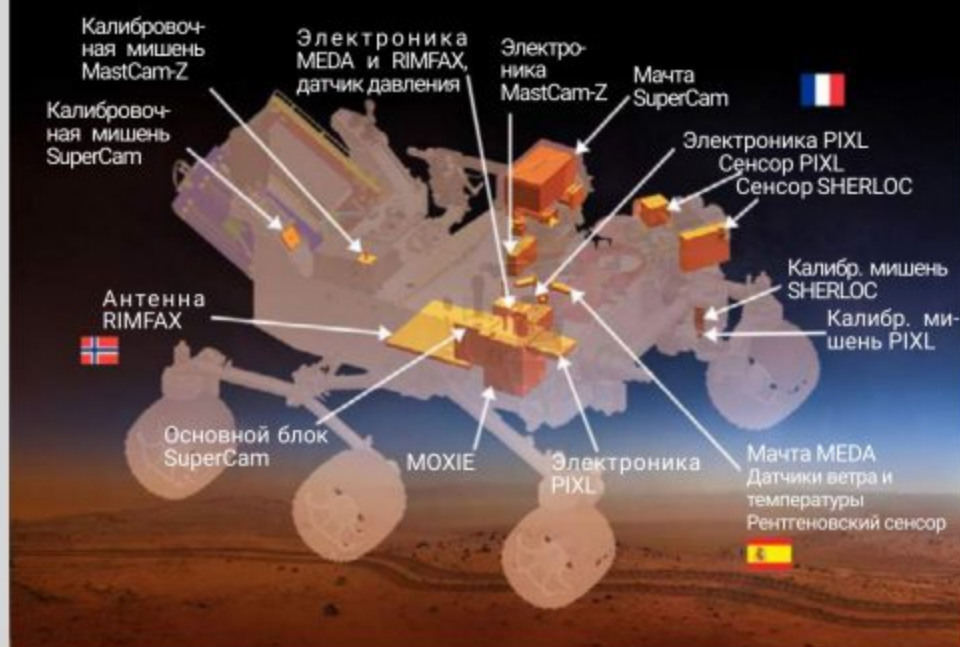
кусочек метеорита Загами. Этот аппарат, вышедший из строя в 2006 г., все еще находится на орбите вокруг Марса и, по расчетам, упадет на его поверхность где-то в середине текущего века. Кроме того, на ровере Mars 2020, скорее всего, установят еще один фрагмент «марсианского камня», который будет использован в качестве калибровочной мишени для камеры SuperCam.



NASA/JPL-Caltech

▲ Так в представлении художника NASA ровер Mars 2020 будет выглядеть после посадки на марсианскую поверхность. Ему предстоит открыть новый этап исследований других планет с помощью автоматических аппаратов. Основной его задачей станет поиск признаков существования марсианской микробной жизни в прошлом (а возможно, и в наши дни).

Научное оборудование ровера Mars 2020



NASA/JPL-Caltech

MastCam-Z — усовершенствованная система из двух камер панорамной и стереоскопической съемки с объективом переменного фокусного расстояния. Прибор также будет участвовать в определении состава марсианской почвы и выполнять вспомогательные операции. Главный исследователь — Джеймс Белл, Университет Аризоны в Темпе (James Bell, Arizona State University, Tempe).

SuperCam — инструмент для анализа химического и минералогического состава марсианской почвы. Прибор способен обнаружить на расстоянии присутствие органических соединений в горных породах и реголите. Главный исследователь — Роджер Винс, Лос-Аламосская национальная лаборатория (Roger Wiens, Los Alamos National Laboratory, New Mexico), вспомогательные организации — французский Национальный центр космических исследований, Институт астрофизических и планетологических исследований (CNES/IRAP).

Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry (PIXL) — рентгеновский флуориметрический спектрометр, содержащий тепловизор с высоким разрешением для выявления редких элементов в составе марсианского грунта. Позволяет более точно определить элементный состав. Главный исследователь — Эбигейл Оллууд, Лаборатория реактивного движения NASA (Abigail Allwood, JPL NASA, Pasadena, California).

Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics and Chemicals (SHERLOC) — ультрафиолето-

вый рамановский спектрометр для получения увеличенных изображений образцов и поисков органических веществ на микроскопических масштабах. SHERLOC будет первым УФ-спектрометром на поверхности Марса, ему предстоит работать совместно с другими инструментами. Главный исследователь — Лютер Бигл, Лаборатория реактивного движения (Luther Beegle, JPL NASA).

Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE) — экспериментальный инструмент для получения кислорода из атмосферы Марса, состоящей в основном из углекислого газа. Главный исследователь — Майкл Хехт, Массачусетский технологический институт (Michael Hecht, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts).

Mars Environmental Dynamics Analyzer (MEDA) — набор датчиков, измеряющих температуру, скорость и направление ветра, давление, относительную влажность, размер и форму пылевых частиц. Главный исследователь — Хосе Родригес-Манфредди, Центр астробиологии, Национальный институт аэрокосмической техники, Испания (Jose Rodriguez-Manfredi, Centro de Astrobiologia, Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial).

Radar Imager for Mars' Subsurface Exploration (RIMFAX) — георадар для зондирования строения марсианских недр с разрешением до сантиметра. Главный исследователь — Свейн-Эрик Хамран, Центр оборонных исследований, Норвегия (Svein-Erik Hamran, Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, Norge).



JUICE

европейская миссия
к Юпитеру и его
ледяным лунам

Оливье Витасс

ученый-проектировщик Европейского космического агентства (ESA)

JUICE: A European Mission to Jupiter and its Icy Moons
Olivier Witasse
ESA project scientist

Доклад прочитан 5 декабря
2017 г. на 51-м симпозиуме ESLAB
(Нордвейк, Голландия)

Перевод: Владимир Манько
Редактор перевода:
Сергей Гордиенко



Оливье Витасс – французский планетолог, научный сотрудник ESA. Степень бакалавра получил в 1990 г. в лицее Жака Моно (Lycée Jacques Monod, Clamart, France), до 1994 г. учился в Университете Париж-юг, где защитил диплом магистра в области фундаментальной физики. До 1996 г. работал в Университете Клода Бернара (Université Claude Bernard, Lyon 1), диссертацию доктора философии по астрономии и планетологии завершил в 2000 г. в Университете Жозефа Фурье в Гренобле (Université Joseph Fourier, Grenoble I).

С 2000 г. работает в Европейском космическом агентстве, с 2003 по 2007 г. – участник рабочей группы посадочного аппарата Huygens и миссии Venus Express, представитель ESA в индийском проекте «Чандраян-1». С 2007 г. – научный сотрудник миссии Mars Express. С 2010 г. занимался проектированием зонда Trace Gas Orbiter в рамках миссии ExoMars, с 2015 г. – один из руководителей проектной группы аппарата JUICE. Отвечает за выполнение научных программ упомянутых миссий, архивирование и доступ к полученным данным, организацию конференций и симпозиумов участников программ, а также связь с общественностью и СМИ. Специализируется на изучении верхних атмосфер планет и их спутников.

«В своем выступлении я хочу представить текущий статус миссии JUICE как ученый-проектировщик ESA и рассказать о том, что уже сделано научной рабочей группой миссии, а также о ее основных целях и задачах. Поскольку эта конференция посвящена обитаемости, необходимо сказать о том, как мы собираемся искать признаки жизни на поверхности и в глубинах ледяных лун Юпитера и далее характеризовать ее.»

Оливье Кутасс

Юпитер и его окружение представляют собой сложную систему, которую иногда называют Солнечной системой в миниатюре — она включает в себя собственно гигантскую планету, окружающие ее плазменные пояса быстро движущихся заряженных частиц и обращающиеся внутри них спутники. Особенно нас интересуют три внутренних галилеевых спутника: Ио, Европа и Ганимед. Все они активно взаимодействуют между собой, что само по себе весьма интересно. Основные задачи миссии JUICE

можно свести к двум: исследование возможных рисков для жизни, потенциально существующей на спутниках газовых гигантов, и системы Юпитера как архетипа подобных систем на орбитах вокруг других звезд.

В качестве пригодных для жизни рассматриваются три луны: Европа, Ганимед и наиболее далекий от планеты крупный спутник Каллисто. Первые два почти наверняка содержат в глубинах жидкую воду, и нас интересует ее взаимодействие с юпитерианским магнитным полем (на расстоянии Каллисто оно уже достаточно

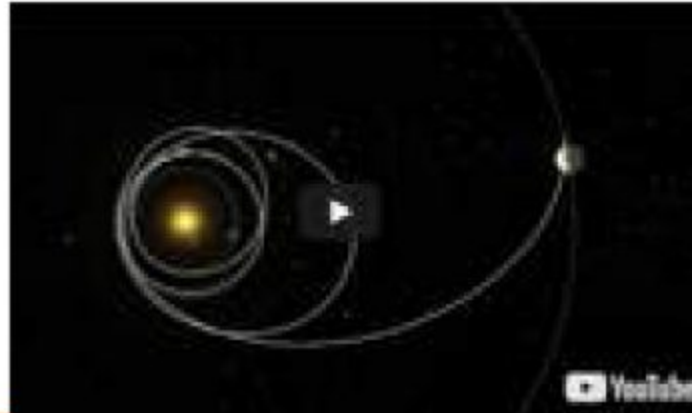
слабое), а именно — почему оба спутника взаимодействуют с ним по-разному. Наличие воды сильно повышает вероятность возникновения живых организмов, но мы собираемся изучать ее не изолированно, а как часть всего комплекса, включающего в себя Юпитер, его атмосферу, магнитосферу и малые внешние спутники. Как видите, это будет очень захватывающая миссия.

Обычно проходит порядка 20-30 лет от появления идеи до старта космического аппарата. В данном случае концепция миссии была предложена ESA в

2007 г., спустя пять лет она прошла стадию отбора, еще год ушел на формирование списка полезной нагрузки, в середине 2015 г. были выбраны основные предприятия-контракторы, на которые возложили создание собственно аппарата, и решены вопросы финансирования. Запуск будет осуществлен в июне 2022 г. с космодрома Куру во Французской Гвиане с помощью новой ракеты Ariane 6, и в октябре 2029 г. после долгого перелета зонд выйдет на орбиту вокруг Юпитера. Проработав на ней почти три года, он перейдет на орбиту вокруг одного из спутников планеты — здесь в качестве приоритетной цели выбран Ганимед. В его окрестностях JUICE пробудет еще год до полного завершения миссии в сентябре 2033 г.

Космический аппарат размером со шкаф (и почти такой же формы) будет иметь стартовую массу 5264 кг, из которых 2857 кг придется на топливо для двигательной установки, и солнечные батареи площадью 97 м², на расстоянии Юпитера генерирующие около 850 Вт электроэнергии. На борту зонда установят 10 научных инструментов общей массой 219 кг, в том числе камеру, спектрометры видимого, ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов UVS и MAJIS, лазерный альтиметр для точного измерения неровностей рельефа и вариаций формы юпитерианских лун под действием приливных сил, а также оборудование для экспериментов радиопросвечивания и анализа конфигурации гравитационных полей по доплеровскому сдвигу частоты передатчика. Наконец, в инструментарии аппарата предусмотрены магнитометр и анализатор плазмы. Дополнительно мы хотим использовать сеть из

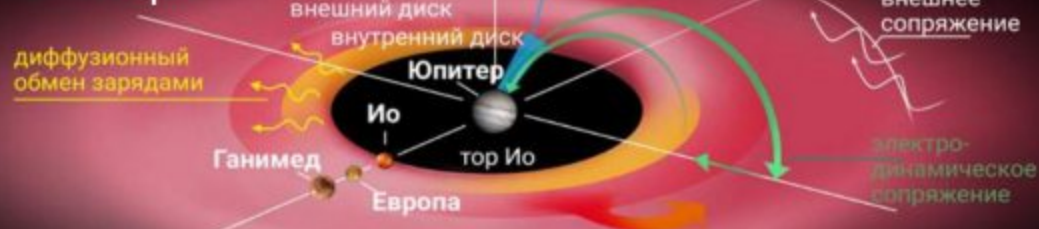
► Траектория полета зонда JUICE к Юпитеру предполагает совершение ряда разгонных гравитационных маневров в окрестностях Венеры, Земли (трижды) и Марса. Всего путешествие к планете-гиганту продлится 7 лет и 4 месяца.



Хронология миссии

Март 2007	ESA объявило конкурс проектов	Июнь 2022	Старт с космодрома Куру (носитель Ariane 6)
Май 2012	Выбор миссии	Октябрь 2029	Выход на орбиту вокруг Юпитера
Февраль 2013	Выбор полезной нагрузки	Август 2032	Выход на орбиту вокруг Ганимеда
Июль 2015	Выбор предприятий-изготовителей	Сентябрь 2033	Завершение миссии

Динамика системы Юпитера

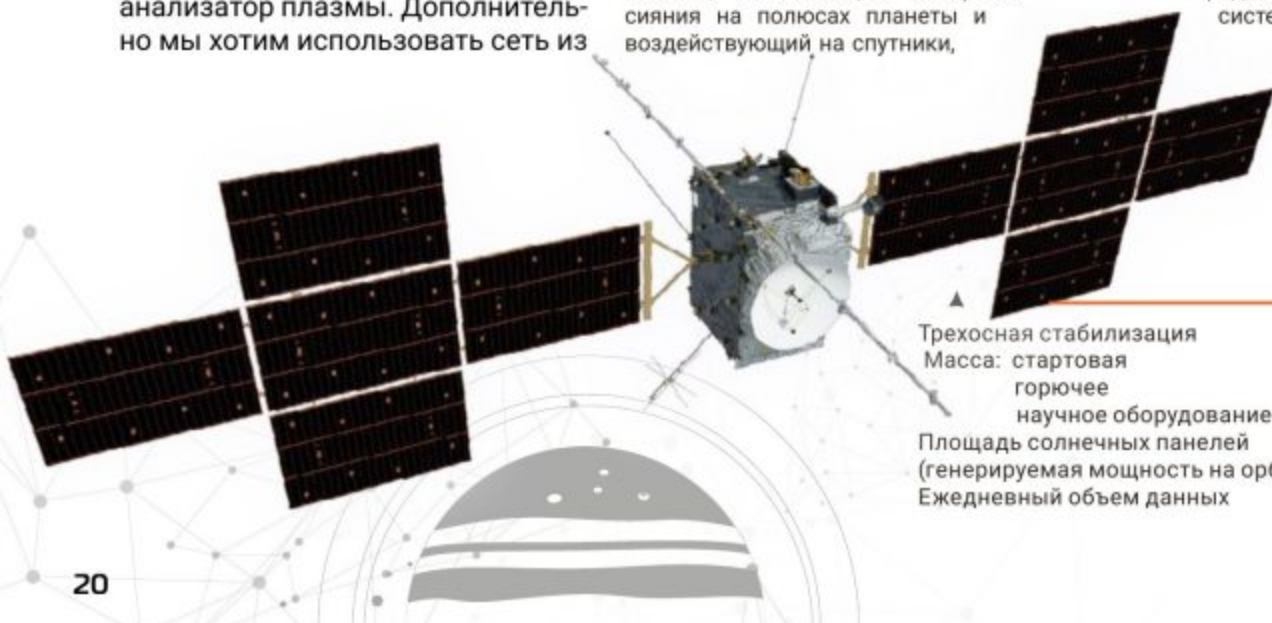


Бинарные взаимодействия



▲ Обширные радиационные пояса Юпитера, огромный вращающийся диск плазмы, вызывающий полярные сияния на полюсах планеты и воздействующий на спутники,

плазменный тор вокруг орбиты Ио — все это является следствиями мощных электродинамических взаимодействий в системе газового гиганта.



ЗОНД JUICE

Трехосная стабилизация

Масса: стартовая	5264 кг
горючее	2857 кг
научное оборудование	219 кг
Площадь солнечных панелей	97 м ²
(генерируемая мощность на орбите Юпитера — 850 Вт)	
Ежедневный объем данных	1,4 гигабайт



	Ио	Европа	Ганимед	Каллисто
Радиус орбиты, тыс. км	421,7	670,9	1070,4	1882,7
Период обращения, сутки	1,77	3,55	7,15	16,69
Диаметр, км	3643	3120	5268	4820
Масса, $\times 10^{22}$ кг	8,93	4,80	14,82	10,76

Четыре крупнейших естественных спутника Юпитера (в порядке удаления от планеты — Ио, Европа, Ганимед, Каллисто) известны также под названием «галилеевых лун», поскольку считается, что первым их наблюдал знаменитый итальянский астроном Галилео Галилей в 1610 г. Расстояние от газового гиганта существенным образом определяет физические характеристики его спутников.

большого количества радиоантенн на Земле (в режиме интерферометра со сверхдлинной базой VLBI), чтобы максимально точно определять положение JUICE в пространстве. Две антенны на самом зонде рассчитаны на передачу 1,4 Гб данных в сутки.

Длинный штырь, выступающий с обеих сторон одного из ребер космического аппарата — радар сантиметрового диапазона. Штанга магнитометра выдвигается с противоположной стороны; дополнительно со всех сторон корпуса установлены детекторы электрического поля и плазменного окружения гигантской планеты.

Итак, аппарат стартует в июне 2022 г., но мы не можем отправить его прямо к Юпитеру из-за большой массы, требующей очень мощной ракеты. Поэтому по пути к цели он осуществит пять гравитационных маневров вблизи Земли, Венеры и Марса. В результате последнего маневра в поле земного тяготения зонд разгонится до нужной скорости, чтобы после семи с половиной лет межпланетных странствий достичь юпитерианской орбиты. Возможно, если это не потребует большого расхода топлива, по пути к главной цели удастся сблизиться с одним из астероидов Главного пояса и провести его исследования.

За полгода до выхода на орбиту вокруг Юпитера группа сопровождения включит инструменты зонда и начнет выполнение научной программы. В планах миссии — около 50 витков вокруг гигантской

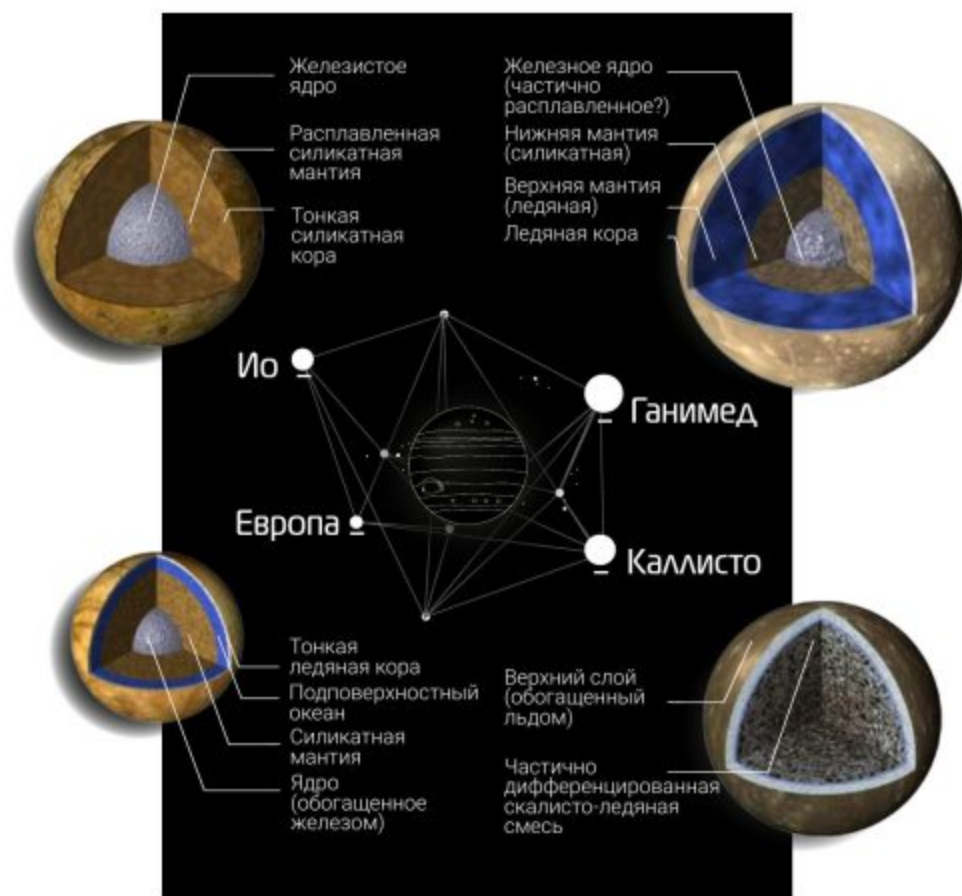
Ио подвержен наиболее сильному приливному воздействию, разогревающему его недра, благодаря чему является самым вулканически активным телом Солнечной системы. Европа прошла полную внутреннюю дифференциацию — у нее есть твердое железокремниевое ядро, ледяная поверхность и жидкая водная мантия между ними. Примерно такую же структуру имеет и соседний Ганимед

(самый крупный спутник какой-либо планеты); на его поверхности заметно меньше следов тектонической активности. Каллисто с огромным количеством кратеров и масштабными многокольцевыми ударными структурами выглядит практически «нетронутым» эндогенными процессами со времени формирования. Весьма вероятно, что дифференциация его недр не завершилась.

планеты. Первые из них пройдут по вытянутым эллиптическим траекториям, последующие будут все больше приближаться к круговым, но все они должны иметь достаточно большую величину перигея, чтобы избежать слишком глубокого погружения в плотные области юпитерианских радиационных поясов, опасных для бортовой электроники. В ходе примерно половины витков запланированы пролеты галилеевых спутников: аппарат дважды встретится с Ев-

Предполагаемая внутренняя структура Ио, Европы (левая колонка), Ганимеда и Каллисто. Все спутники — кроме последнего, не прошедшего внутреннюю дифференциацию — имеют металлическое (железникелевое) ядро, изображенное серым цветом и окруженное оболочкой из скальных пород, показанных коричневым. Синий цвет соответствует мантии из жидкой воды либо солевого раствора, белый — ледяной коре. Эти компоненты, как несложно заметить, полностью отсутствуют на Ио.

John Brodholt



ропой, более 10 раз — с Ганимедом и примерно столько же раз — с Каллисто. Основная часть витков пройдет вблизи плоскости экватора Юпитера, поскольку в ней лежат орбиты всех его крупных лун, но чтобы исследовать планету и ее магнитосферу детальнее, желательно подняться в область более высоких широт. JUICE не сможет выйти на полярную орбиту, как JUNO; тем не менее, он использует гравитационное поле Каллисто во время пролетов, чтобы значительно отклониться от экваториальной плоскости.

Два года спустя зонд начнет все ближе и ближе подлетать к Ганимеду — самому крупному спутнику планеты Солнечной системы — и выйдет на орбиту вокруг него. Вначале эта орбита будет эллиптической с перигеем 200-300 км и апоцентром порядка 10 тыс. км, позже — почти круговой высотой 5 тыс. км, потом аппарат некоторое время проработает на новой переходной эллиптической орбите, а с нее уже окончательно перейдет на круговую 500-километровую орбиту, на которой выполнит основную часть исследований и экспериментов. Однако эти планы подлежат корректировке в зависимости от того, сколько останется топлива для бортовых двигателей, и от мощности предполагаемых радиационных поясов Ганимеда.

Самый интересный объект исследований на ледяных лунах Юпитера — подповерхностный океан. Мы пока не имеем оборудования, чтобы его изучать или хотя бы зарегистрировать непосредственно (это будет задачей следующих миссий), поэтому приходится изобретать косвенные методы его обнаружения и характеристики, для чего JUICE оснащен специальными инструментами. Первый из них — магнитометр J-MAG. Если бы океаны состояли из чистой, дистиллированной воды, этот прибор бы ничего не заметил, но в реальности они содержат растворенные соли, что делает их электропроводными. При движении спутника во внешнем (юпитерианском) магнитном поле в таком соленом океане генерируются электрические токи, порождающие, в свою очередь, вторичное магнитное поле, которое уже

можно измерить магнитометром. Его данные дадут возможность оценить величину электропроводности и толщину слоя воды.

Второй метод исследований, не менее любопытный, связан с приливами. Благодаря гравитационному взаимодействию спутников с Юпитером и между собой их ледяные поверхности постоянно деформируются приливными силами, причем величина и характер деформаций связаны с наличием или отсутствием глубинных океанов. Эти параметры будет с большой точностью измерять лазерный альтиметр. На компьютерной симуляции отклонений поверхно-

сти Ганимеда от среднего уровня под действием приливов хорошо видно, что в районе экватора они могут достигать 8 м. Этого достаточно, чтобы вызвать искажения гравитационного поля луны, влияющие на траекторию зонда во время пролета, что может быть обнаружено с помощью наземных приемников при детальном анализе изменений частоты радиосигнала за счет доплеровского сдвига.

Как и большинство лун в Солнечной системе, галилеевы спутники находятся в приливном захвате — они постоянно повернуты к Юпитеру одной стороной.

Внутреннее строение Ганимеда



▲ Внутреннее строение Ганимеда согласно данным, полученным американским зондом Galileo в 1996-2003 гг., и наблюдениям космического телескопа Hubble. Под ледяной корой и водяной мантией лежит слой сверхплотного льда (или газовых гидратов), между ним и металлическим ядром расположена скалистая мантия.

Согласно одной из версий, собственное магнитное поле Ганимеда генерируется его железным ядром. На конфигурацию этого поля и его поведение под действием внешних возмущений должно сильно влиять присутствие под ледяной поверхностью спутника электропроводной прослойки (водяной мантии, содержащей растворенные соли).



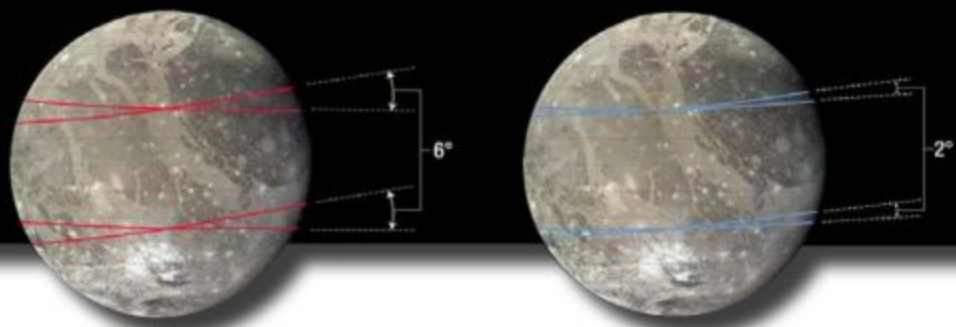
На этой иллюстрации показан глобальный вид полярных сияний Ганимеда. Их положение относительно поверхности спутника определяется наличием у него собственного магнитного поля.

Однако гравитационное воздействие «соседей» вынуждает их немного «покачиваться» относительно среднего положения. Такие явления называются либрациями и наблюдаются, в частности, у нашей Луны (правда, немного по другой причине). Если Европа и Ганимед имеют твердую кору, не связанную жестко с жидкими недрами, величина их либраций должна быть больше, чем если бы они были сплошными ледяными сферами. Также много информации о «внутренностях» небесных тел может предоставить их сплюснутость со стороны полюсов. Ее можно оценить по результатам лазерной альтиметрии и радиочастотных экспериментов.

Все эти три метода позволяют нам с неплохой точностью определить толщину твердой коры, глубину скрывающегося под ней океана, и вообще получить представление о внутренней структуре ледяных лун вплоть до размеров железного ядра.

Но есть еще одно интересное связующее звено между физикой плазмы и океанами спутников Юпитера. Околоземные космические телескопы зарегистрировали над определенными регионами Ганимеда полярные сияния (ав-

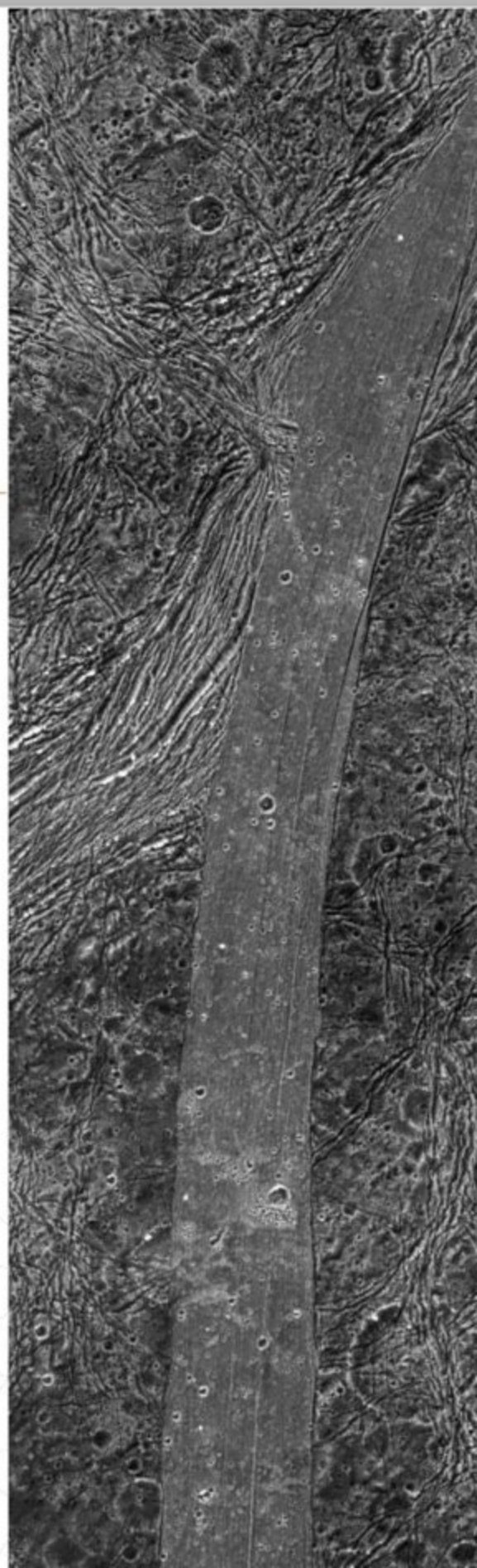
Credit: NASA, ESA, and A. Feild (STScI)



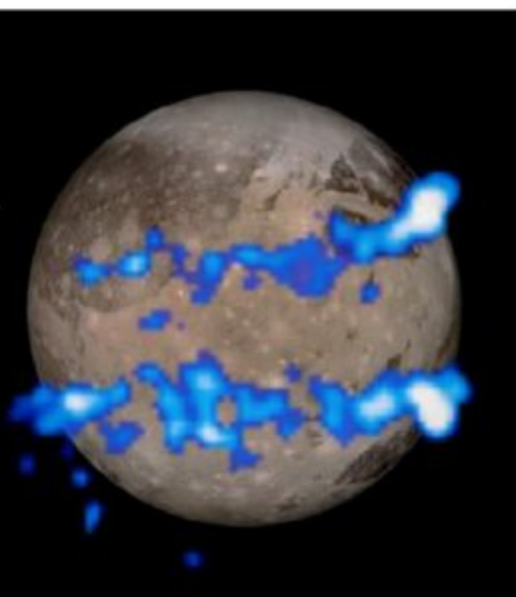
▲ Результаты компьютерного моделирования сдвига авроральных поясов Ганимеда: слева — в случае сплошных твердых недр, справа — при наличии соленого подповерхностного океана.

роральные кольца). Их положение, а точнее, его изменения со временем, как показывают компьютерные модели, напрямую зависят от состояния недр этой луны: если они полностью твердые — сияния должны «плясать» по широте в пределах 6° , а если имеют значительную жидкую электропроводящую прослойку — авроральные кольца будут занимать строго определенную позицию, не отклоняясь от нее более чем на 2° . К сожалению, с Земли провести подобные наблюдения пока невозможно, но для

► На этом снимке зонда Galileo, запечатлевшем регион Николсона и борозду Арбелы (Nicholson Regio, Arbela Sulcus) на поверхности Ганимеда, заметен резкий контраст между более светлой сравнительно ровной протяженной полосой и окружающим сильно изрезанным темным ландшафтом. Это изображение помогает лучше понять механизм формирования подобных борозд. Вулканическая модель предполагает заполнение тектонических депрессий достаточно чистой, богатой водой лавой с последующим охлаждением и появлением гладкой поверхности. В рамках тектонической модели разлом и деформация более старой темной коры вызывает обнажение относительно чистого светлого льда. Анализ фотографий позволил предложить неожиданную третью возможность: борозда Арбелы может быть похожей на некоторые протяженные структуры другого спутника Юпитера — Европы. Там они возникают благодаря раздвиганию отдельных плит ледяной коры и заполнению трещин между ними водой из подповерхностного океана.



NASA, ESA, and J. Saur (University of Cologne, Germany). Ganymede Globe Credit: NASA, JPL, and the Galileo Project

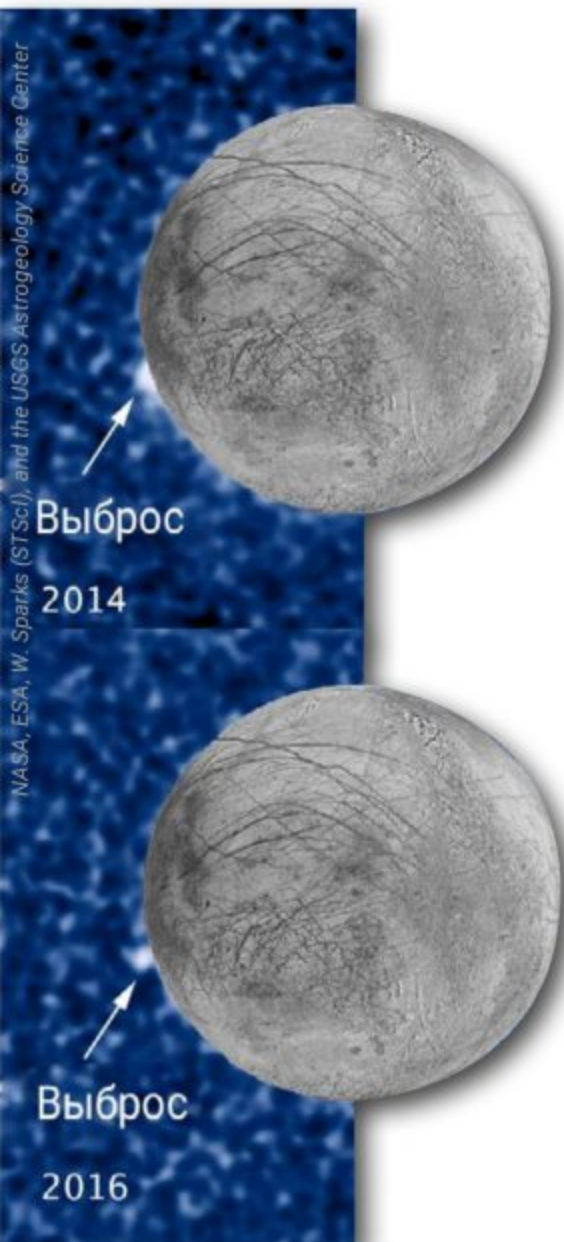


▲ На снимках юпитерианского спутника Ганимеда, сделанных орбитальным телескопом Hubble в ближнем ультрафиолетовом диапазоне, хорошо видна пара авроральных поясов, расположенных над определенными широтами (показаны условным голубым цветом). Чтобы нагляднее проиллюстрировать их положение, снимки наложены на изображения спут-

ника, полученные зондом Galileo (NASA). Задачей космического аппарата JUICE будет наблюдение за изменениями положения этих поясов. Чем более стабильными они окажутся — тем мощнее должен быть подледный океан Ганимеда, ответственный за возникновение у него собственного магнитного поля.

► Выбросы из недр Ио, Европы и Ганимеда формируют вокруг них экзосферу — постепенно рассеивающуюся разреженную газовую оболочку. Другими ее источниками являются распыление и сублимация (испарение) поверхностного материала.

▼ На снимках Европы в ультрафиолетовом диапазоне, сделанных орбитальным телескопом Hubble 17 марта 2014 г. (слева) и 22 февраля 2016 г., хорошо заметен выброс водяного пара высотой до сотни километров. В моменты съемки спутник был ориентирован практически одинаково по отношению к Земле (его синтезированное изображение наложено на фотографии), и положение выброса указывает на то, что он находится над одним и тем же участком поверхности. Ранее, в 1995-1996 гг., космический аппарат Galileo зарегистрировал примерно в том же месте необычное «теплое пятно». Ученые предполагают, что это может быть постоянно либо периодически извергающийся гейзер, аналогичный знаменитым «фонтанам» сатурнианского спутника Энцелада.



► Крупномасштабный снимок Европы, сделанный зондом Galileo (NASA). Цвета искусственно усилены. Заметна сложная картина извилистых и почти ровных разломов ледяной поверхности. Более свежие разломы пересекаются с более старыми; несколько широких темных полос отмечают места, где в прошлом происходило «раздвигание» крупных ледяных плит. Изображение также содержит несколько областей «рельефа хаоса», в которых исходно гладкая поверхность была разрушена тектоническими подвижками и превратилась в скопление бесформенных блоков материала. Изучение состава поверхностных пород Европы (особенно с помощью посадочных аппаратов) представляет большой интерес для ученых, поскольку эти породы могут содержать вещества, растворенные в подледном океане. Среди них экзобиологи надеются найти признаки продуктов жизнедеятельности внеземных микроорганизмов.

NASA/JPL-Caltech/ SETI Institute



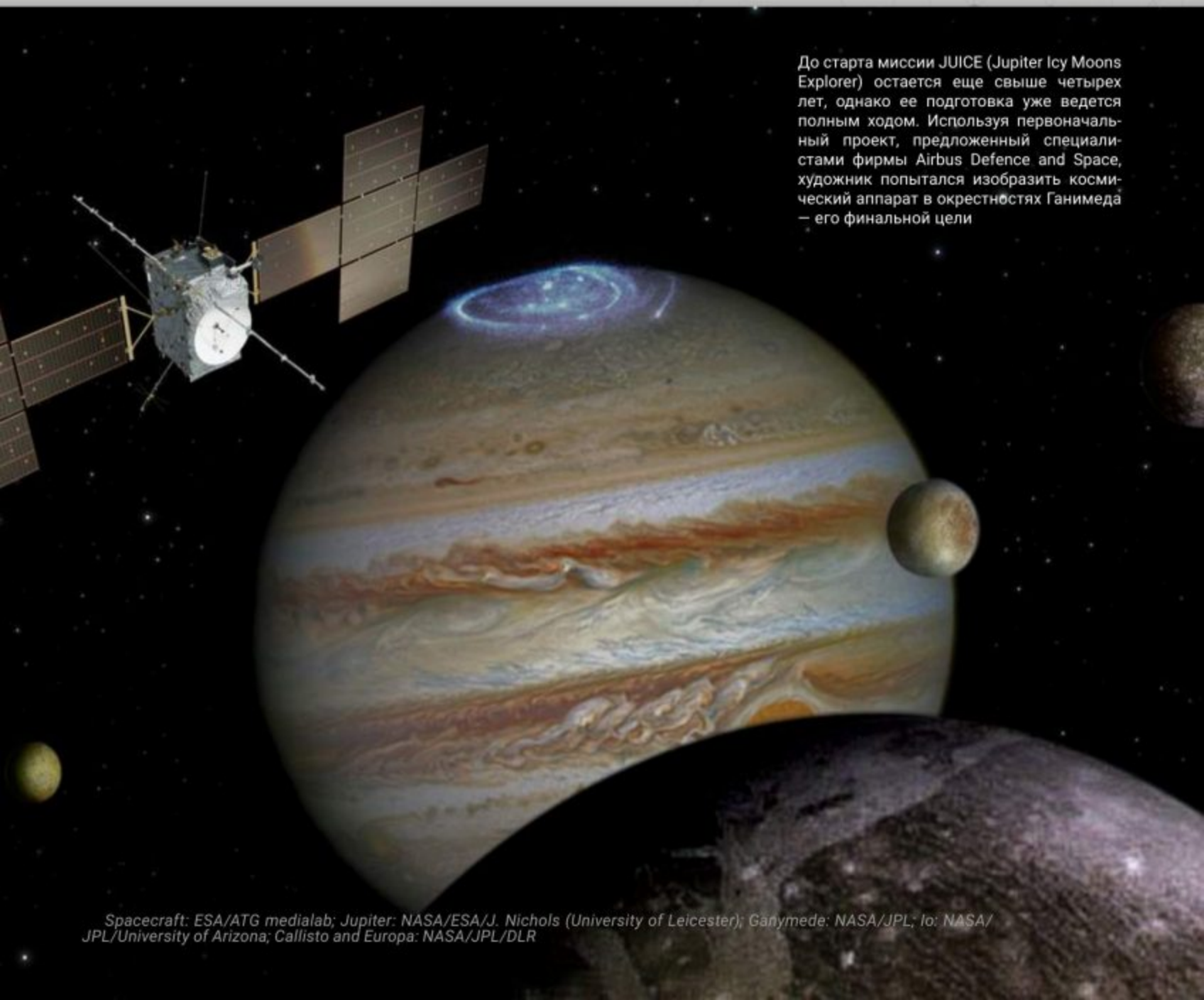
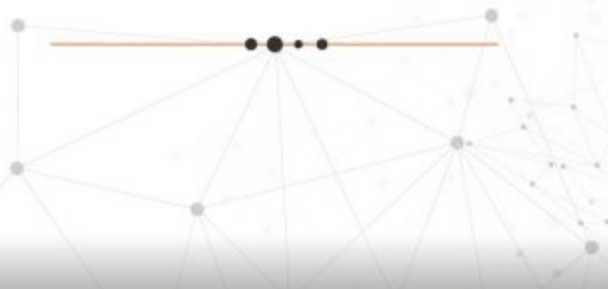


▲ Хотя наличие выбросов с поверхности Европы еще не доказано напрямую, косвенно их зарегистрировали уже многими методами и инструментами, включая орбитальный телескоп Hubble. Если они действительно существуют — это означает, что ледяная кора спутника имеет толщину всего 15-25 км. Конечно, это все равно очень много для современных буровых установок (особенно пригодных для доставки к другой планете), однако вероятность того, что вещество подледного океана Европы регулярно попадает на ее поверхность, значительно возрастает, и оно может оказаться доступным для прямых научных исследований. А начать планетологи собираются с космического аппарата, который пролетит через облака изверженного пара.

JUICE они не будут представлять сложностей. Наконец, иногда подледные океаны можно обнаружить и напрямую. Космический аппарат будет оборудован масс-спектрометром для анализа частиц в его космическом окружении и, в частности, в экзосферах (разреженных нестабильных газовых оболочках) галилеевых спутников во время пролетов. Если в интервале между пролетами на спутнике произойдет извержение криовулкана, подпитываемое глубинным океаном, или хотя бы небольшой выброс вещества, аналогичный гейзерам сатурнианского спутника Энцелада, состав экзосферы и концентрация в ней летучих соединений заметно изменятся. Сильнее всего изменения будут выражены над местом выброса, но на самом

деле они затронут практически все окрестности ледяной луны.

Как видите, у нас уже есть хороший план комплексных исследований глубинных океанов спутников Юпитера, и сейчас в нашем распоряжении имеются достаточно продвинутые технологии, чтобы построить самые совершенные инструменты и наилучший аппарат, ориентируясь на дату запуска в 2022 г. Как один из проектантов миссии, могу заверить, что на данный момент все идет согласно графику и без существенных проблем. Спасибо за внимание! ■



До старта миссии JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) остается еще свыше четырех лет, однако ее подготовка уже ведется полным ходом. Используя первоначальный проект, предложенный специалистами фирмы Airbus Defence and Space, художник попытался изобразить космический аппарат в окрестностях Ганимеда — его финальной цели

Galileo:

раскрывая тайны системы Юпитера

К настоящему времени наибольший объем информации о спутниках Юпитера ученым предоставил американский межпланетный аппарат Galileo, запущенный 18 октября 1989 г. с борта многоразового космического корабля Atlantis (миссия STS-34). Впервые он был оборудован системой регистрации изображений на основе полупроводниковой ПЗС-матрицы — главного элемента многочисленных камер, используемых сейчас для исследования планет Солнечной системы, их спутников, комет и астероидов.

Galileo должен был стать первым в истории искусственным спутником планеты-гиганта — ранее их исследовали только с пролетных траекторий. Для этого на его борту установили мощный ракетный двигатель, работавший на монометилгидразине и тетроксиде азота. Вообще этот аппарат стал «первопроходцем» по многим показателям: впервые за пределы марсианской орбиты запускался такой тяжелый рукотворный объект (общей массой 2562 кг), поэтому баллистикам пришлось сильно «удлинить» его путь, используя технику разгона в полях тяготения Земли (в окрестностях которой он осуществил два гравиманевра) и Венеры. Опять же,

впервые в ходе своей миссии автоматический разведчик сфотографировал с близкого расстояния двух «обитателей» Главного астероидного пояса — Гаспру (951 Gaspra) и Иду (243 Ida), попутно открыв у последней полутораклометровый спутник Дактил. Наконец, во второй половине июля 1994 г. Galileo стал единственным непосредственным свидетелем падения на Юпитер двух десятков фрагментов ядра кометы Шумейкер-Леви 9 (D/1993 F2 Shoemaker-Levy 9).

К сожалению, научная продуктивность миссии оказалась сильно ограниченной из-за того, что главная антенна Galileo полностью не раскрылась и не смогла обеспечить полноценную передачу информации на Землю. Все попытки ее раскрыть «встряхиванием» аппарата с помощью двигателей ориентации закончились безуспешно. Инженерам и программистам пришлось приложить максимум усилий, чтобы оптимизировать отправку данных через вспомогательную малонаправленную антенну, но все равно их общий поток не достиг даже одного процента от проектной величины. Тем

не менее, по оценкам ученых, команде миссии удалось выполнить почти 70% запланированных заданий. Опять же, впервые в истории полученная информация выкладывалась на сайт Galileo во всемирной сети, где становилась доступной широкой публике.

10 июля 1995 г. от основного аппарата отделился небольшой спускаемый модуль и устремился в атмосферу Юпитера, в которую вошел 7 декабря того же года, на протяжении

примерно часа (до момента разрушения) передавая данные об окружающей среде. Днем позже Galileo также сблизился с планетой и после получасового включения главного двигателя вышел на вытянутую орбиту вокруг нее с периодом обращения 198 суток, лежащую примерно в той же плоскости, в которой движутся крупнейшие юпитерианские спутники.



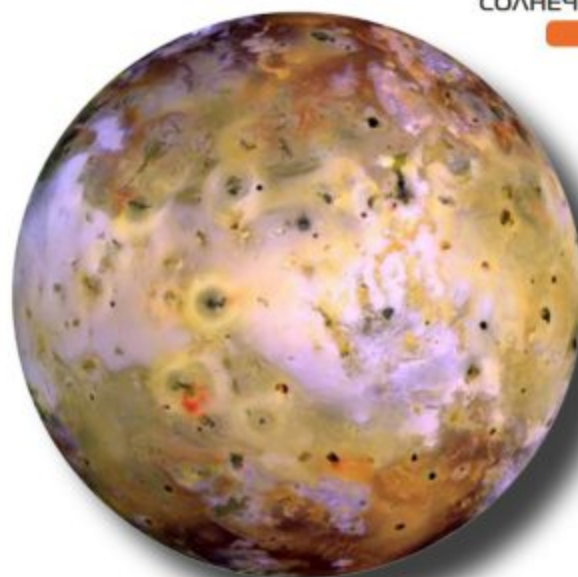
Ио

Выйти на планетоцентрическую орбиту аппарата помогло сближение с Ио, гравитация которого дополнительно немного затормозила Galileo. Однако научные исследования в ходе первого пролета не планировались и не проводились. Ученые уже знали, что в этой области пространства зонд столкнется с мощными потоками заряженных частиц в радиационных поясах, а также с возможными выбросами вулканов Ио — наиболее вулканически активного тела Солнечной системы.

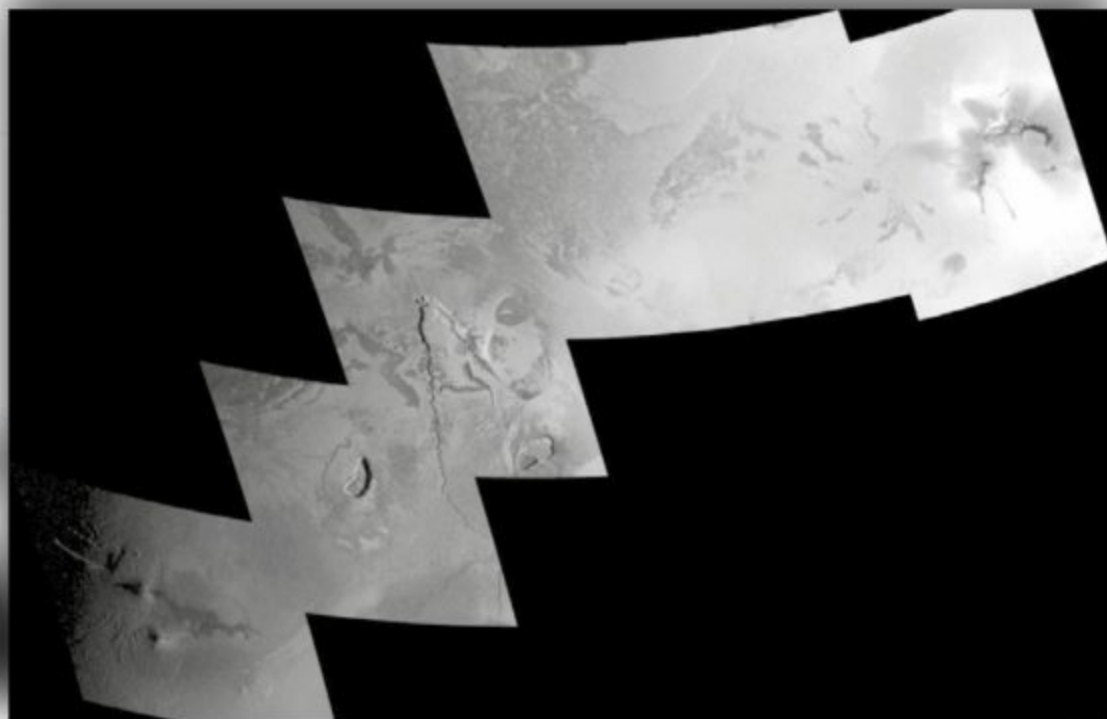
Всего с этим спутником Galileo сблизился семь раз, причем в ходе последнего пролета (17 января 2002 г.) прошел чуть более чем в сотне километров от его поверхности. За полгода до этого, 5 августа 2001 г., зонд провел магнитометрические исследования, установив, что глобальное магнитное поле у этой луны отсутствует, и проанализи-

ровал состав вулканических выбросов. Оказалось, что основным компонентом экзосферы Ио является сернистый газ (SO_2). Он же время от времени выпадает на поверхность в виде снега, местами формируя своеобразные слои «недолговечной мерзлоты», укрытой более поздними тугоплавкими отложениями. Экзосфера активно взаимодействует с радиационными поясами Юпитера, фактически участвуя в работе огромной «динамо-машины».

▲ Эта глобальная мозаика Ио составлена на основании снимков, сделанных зондом Galileo в 1999-2001 гг. Съемка велась через фиолетовый и зеленый светофильтры, а также в ближнем инфракрасном диапазоне (поэтому ее результаты здесь представлены в условных цветах). Основная часть поверхности имеет белый, бежевый и желтоватый цвет; хорошо заметные темные детали, а также красные, оранжевые и коричневые пятна, как правило, связаны с активной деятельностью местных вулканов.



NASA/JPL/University of Arizona



NASA/JPL/University of Arizona

► Лавовый поток Замама в северном полушарии Ио, сфотографированный зондом Galileo 16 октября 2001 г., берет начало в одном из двух небольших вулканов на левом нижнем изображении. Возможно, этот же вулкан был источником выброса

вещества, зарегистрированного двумя месяцами ранее. Поток достоверно отсутствовал на снимках, сделанных в 1979 г. аппаратами Voyager.

Второй и третий кадры этой мозаики (слева направо) содержат лавовые поля и несколько

безымянных вулканических впадин, называемых «патерами». Темные извилистые разломы дают основания считать, что кора здесь постоянно разрушается, создавая трещины, по которым магма может подняться на поверхность. На крайнем пра-

вом кадре видны темные потоки лавы и яркие пятна, вероятно, покрытые серосодержащими выбросами, скорее всего, связанными с извержением, которое Galileo наблюдал в августе 2001 г. (тогда выбросы достигли высоты около 500 км).

► Несмотря на мощную активность вулканов Ио, постоянно разрушающих его поверхность, на ней имеются и достаточно высокие горы — такие, как хребет Тохил (Tohil Mons), показанный на этой мозаике, которую Galileo отснял 16 октября 2001 г. Его самые выдающиеся вершины

имеют высоту около 6 км относительно среднего уровня. На центральном кадре виден кратер неправильной формы с ровным дном. На нем обязательно должны были бы присутствовать следы обвалов с окружающих его крутых склонов, однако ничего подобного

ученые не заметили. Вероятнее всего, дно кратера залило лавой сравнительно недавно. Вторая интригующая возможность — на самом деле это озеро жидкости (например, расплавленной серы), в которой тонут все обломки, упавшие со склонов.

NASA/JPL/University of Arizona



▲ Фонтан лавы, замеченный на поверхности Ио 25 ноября 1999 г., оказался настолько горячим, что «перегрузил» чувствительные элементы камеры Galileo и отобразился на снимке в виде протяженного яркого пятна (инженеры группы обработки изображений называют этот эффект «bleeding» — «кровотечение»).

Основная часть породы, разогретой примерно до 700°C (местами — до 1300°C), заполняет полуторакилометровый извилистый канал, рядом с которым видны отдельные горячие участки: судя по всему, канал имеет ответвления. Значительную часть приведенного снимка занимает вулканиче-

ская кальдера неправильной формы — одна из крупнейших на Ио и вообще в Солнечной системе. Она имеет размеры 290×100 км и образовалась в результате обрушения поверхностных пород в вулканическую полость, «освободившуюся» после очередного извержения.

▼ Фотографии основных вулканических центров Ио, приведенные к одному масштабу. Высота трех верхних изображений — 575 км. Как правило, с вулканами связаны наиболее яркие и примечательные детали поверхности этого спутника. Съемка велась через фиолетовый и зеленый светофильтры, а также в ближнем инфракрасном диапазоне (на длине волны 756 мкм). Цвета условные, искусственно усиленные.

NASA/JPL/University of Arizona

Аматерасу, Локи



Мардук

Волна Лей-Лунг, патера Исум



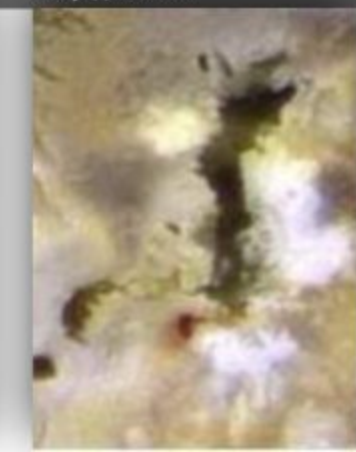
Волунд, Замама

Мауи, Амирани

Прометей, Кулани



патера Зал



Ганимед

Следующим телом, с которым сблизился Galileo, стал Ганимед — самый большой спутник Солнечной системы. Это произошло 27 июня 1996 г. (минимальное расстояние от поверхности составило 835 км). Сюрпризы начались почти сразу: оказалось, что эта луна имеет собственную достаточно мощную магнитосферу. Уже на фотографиях, сделанных с больших расстояний, стали заметны полярные шапки и два доминирующих типа поверхности, отличающихся цветом и рельефом. Благодаря сравнительно большой массе Ганимеда его гравитация неоднократно использовалась для изменения орбиты космического аппарата: в частности, при первом пролете его перигеум был «поднят» за пределы наиболее опасной внутренней части радиационных поясов, а период обращения уменьшился до 72 суток. Следующий пролет, состоявшийся 6 сентября того же года на расстоянии всего 260 км,

предоставил информацию о внутреннем строении спутника — теперь ученые могли утверждать, что его недра дифференцированы (в центре имеется каменное либо железистое ядро, окруженное мантией из плотного льда, между которой и внешней ледяной корой, по-видимому, имеется океан жидкой соленой воды). Остальные четыре пролета Ганимеда прошли на расстоянии свыше тысячи километров.

► Регион Мария и борозды Ниппура (Marius Regio, Nippur Sulcus) демонстрируют два основных типа поверхности Ганимеда — темную сравнительно ровную и более светлую пересеченную местность. Оба участка сфотографированы вблизи терминатора (границы между освещенным и неосвещенным полушарием) для более выразительного представления рельефа. Ровная поверхность старого,

сильно кратерированного темного региона Мария местами нарушается мелкими бороздами, по всей видимости, возникшими в результате древних метеоритных ударов. Светлые участки значительно моложе — они содержат множество глубоких параллельных трещин и сформировались благодаря тектоническим процессам, возможно, в сочетании с криовулканизмом.

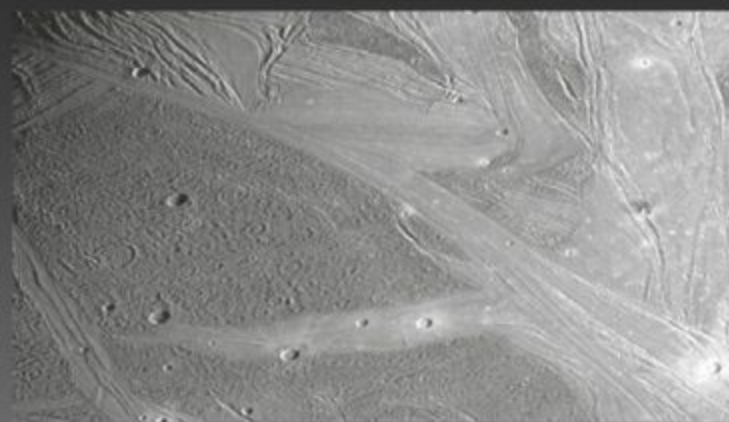


◀ Глобальная мозаика хвостового полушария Ганимеда (постоянно повернутого в сторону, противоположную направлению орбитального движения), составленная на основании снимков зонда Galileo. Цвета искусственно усилены. Светло-фиолетовые полярные шапки состоят из тонкого слоя инея, представляющего собой, как и на Земле, мелкие кристаллы замерзшей воды. Их распределение, по-видимому, связано с наличием у спутника собственного магнитного поля. Местами иней простирается до 25° широты.



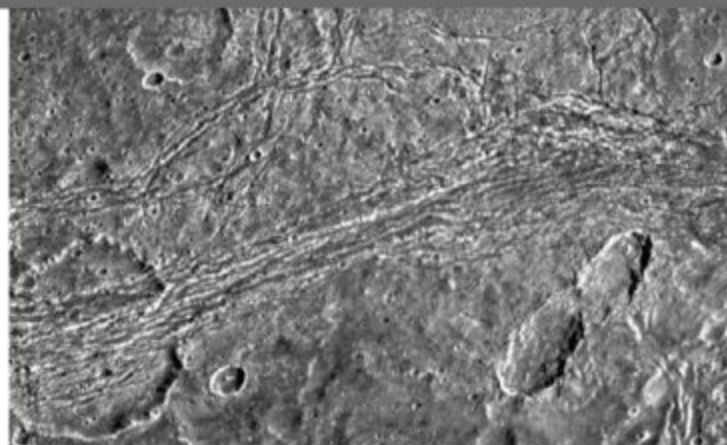
▲ Еще один регион на поверхности Ганимеда получил имя Галилея (Galileo Regio). Он покрыт сеткой разнонаправленных темных трещин, которые могут быть следами древних тектонических процессов.

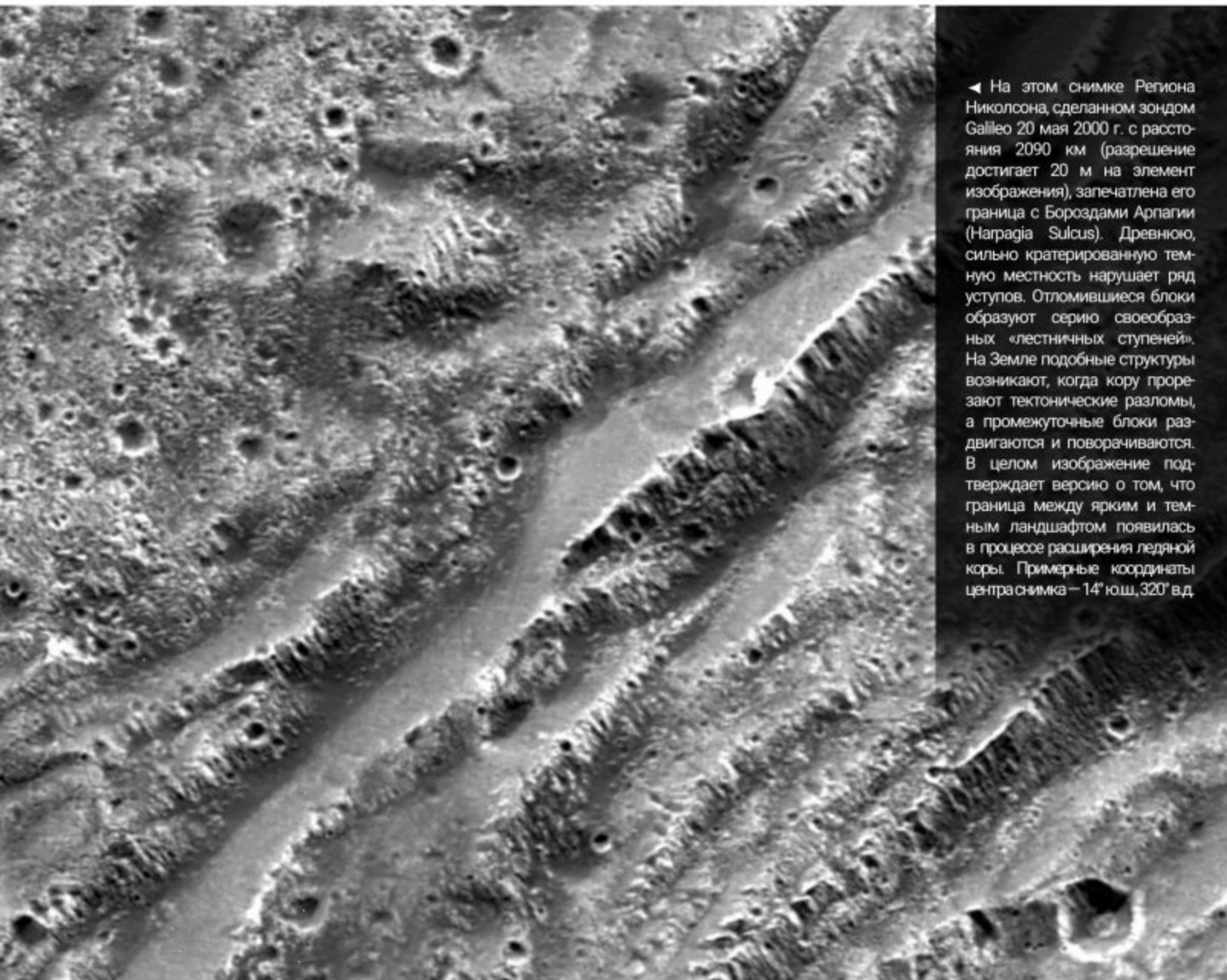
На снимке видна полоса более светлого «свежего» льда, пересекающая этот регион. Кольцевая структура в верхнем правом углу — остатки очень старого, почти разрушенного ударного кратера.



◀ В Регионе Николсона обнаружено много кратеров, диаметр которых превышает 10 км. Здесь показан один из них, интересный тем, что через него прошел тектонический разлом, сильно искаживший округлые очертания ударной структуры. Еще два мень-

ших продолговатых кратера видны справа внизу. Они образовались при падении гравитационно связанной пары астероидов или распавшегося кометного ядра. Их вытянутая форма говорит о том, что падение произошло под небольшим углом к поверхности.





◀ На этом снимке Региона Николсона, сделанном зондом Galileo 20 мая 2000 г. с расстояния 2090 км (разрешение достигает 20 м на элемент изображения), запечатлена его граница с Бороздами Арпагии (Harpagia Sulcus). Древнюю, сильно кратерированную темную местность нарушает ряд уступов. Отломившиеся блоки образуют серию своеобразных «лестничных ступеней». На Земле подобные структуры возникают, когда кору пререзают тектонические разломы, а промежуточные блоки раздвигаются и поворачиваются. В целом изображение подтверждает версию о том, что граница между ярким и темным ландшафтом появилась в процессе расширения ледяной коры. Примерные координаты центра снимка — 14° юш., 320° вд.

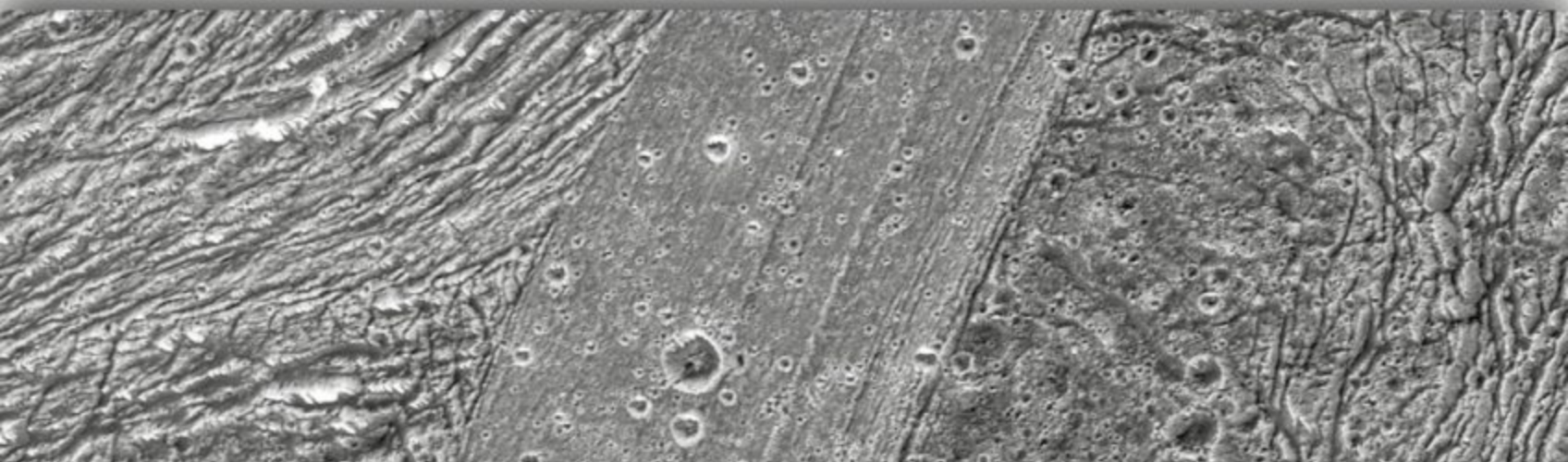
▼ Сравнительно яркая полоса Борозд Арбелы (Arbela Sulcus), с севера на юг пересекающая Регион Николсона (Nicholson Regio), имеет заметно меньший возраст, чем последний — это можно определить по ее более

сложному рельефу и не столь сильной кратерированности. На востоке (справа) находится самый старый ландшафт в этой области, содержащий заметно больше ударных кратеров. На западе расположен сильно де-

формированный участок промежуточного возраста. Здесь Регион Николсона подвергся воздействию тектонических сил, вызвавших его растяжение и появление разломов. Солнце освещает местность с

запада, приблизительные координаты центра изображения — 15° ю.ш., 347° долготы (отсчитываемой к востоку от условной «подъюпитерианской» точки), его размеры примерно равны 89×26 км.

NASA/JPL/Brown University



Каллисто

Следующим объектом, с которым сблизился космический аппарат, стал Каллисто — наиболее далекий от Юпитера крупный спутник (второй по величине в системе газового гиганта). Первый из восьми пролетов состоялся 4 ноября 1996 г. на расстоянии 1135 км от поверхности. В данном случае обошлось без особых сюрпризов: картина, которую увидели ученые, оказалась близкой к тому, чего они ожидали.

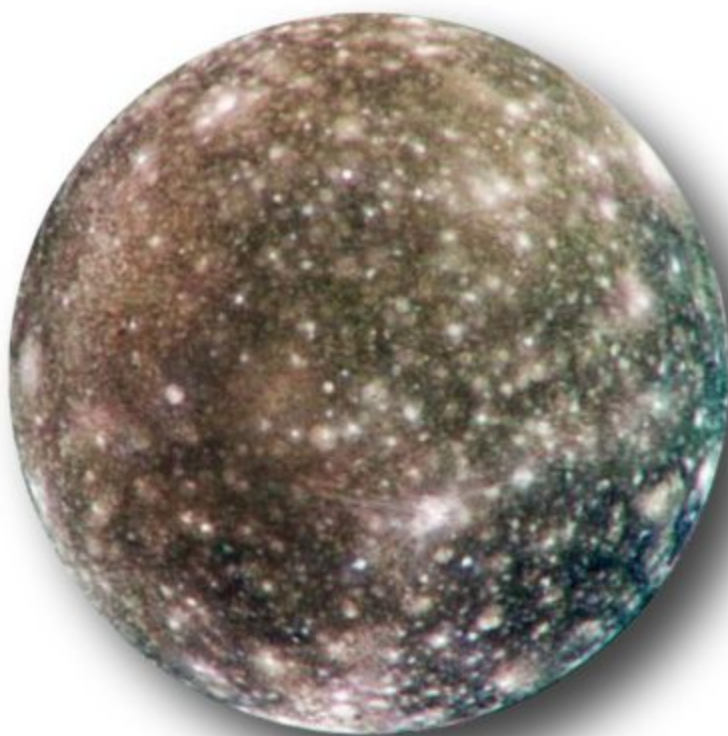
Очень старая, практически не тронутая тектоникой поверхность Каллисто покрыта огромным количеством ударных кратеров, «накопившихся» там за миллиарды лет. Среди этих кратеров обнаружилось огромное многокольцевые бассейны — крупнейшие сохранившиеся импактные структуры в Солнечной системе.

Самый большой из них получил название «Вальхалла» (Valhalla); его диаметр превышает 1900 км.

Гравиметрические эксперименты показали, что Каллисто примерно на 40% состоит из водяного льда и на 60% — из скалистых пород, а его внутренняя структура почти недифференцированная.

► Единственный глобальный вид Каллисто, сфотографированный аппаратом Galileo в мае 2001 г. Этот спутник плотно и практически равномерно покрыт ударными кратерами, однако некоторые регионы его поверхности имеют незначительные цветовые отличия, природа которых не совсем ясна.

▼ Сравнение наиболее типичных видов поверхности трех внешних галилеевых спутников — Европы (слева), Ганимеда (в центре) и Каллисто. Изображения приведены к одному масштабу порядка 150 м на пиксель. Хорошо заметно, что в формировании рельефа перво-



NASA/JPL/DLR

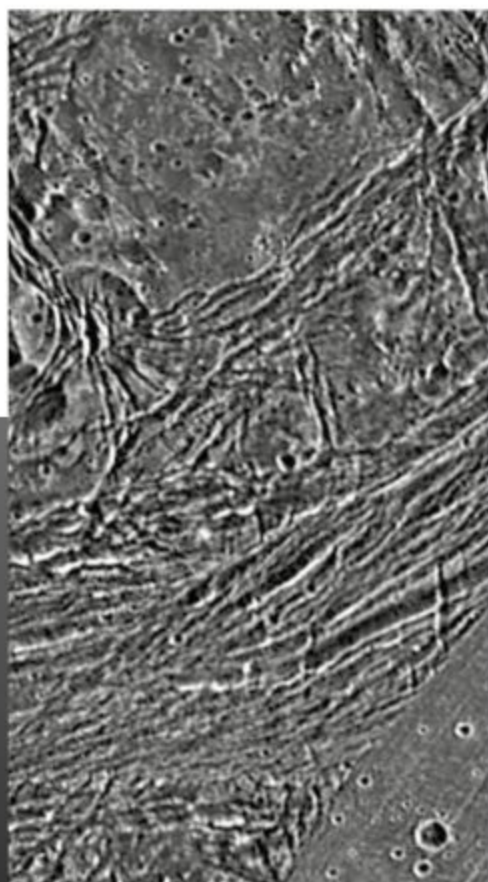
го из них большую роль играют тектонические процессы: его поверхность постоянно обновляется, поэтому кратеры на ней надолго «не задерживаются». Самый внешний спутник, наоборот, характеризуется почти исключительно импактными поверхностными структурами.

В случае Ганимеда наблюдается сочетание обоих типов рельефа. Считается, что крупнейшие юпитерианские луны имеют примерно одинаковый возраст (около 4,5 млрд лет), поэтому очевидно, что различия в их эволюции связаны исключительно с разным расстоянием от планеты-гиганта.

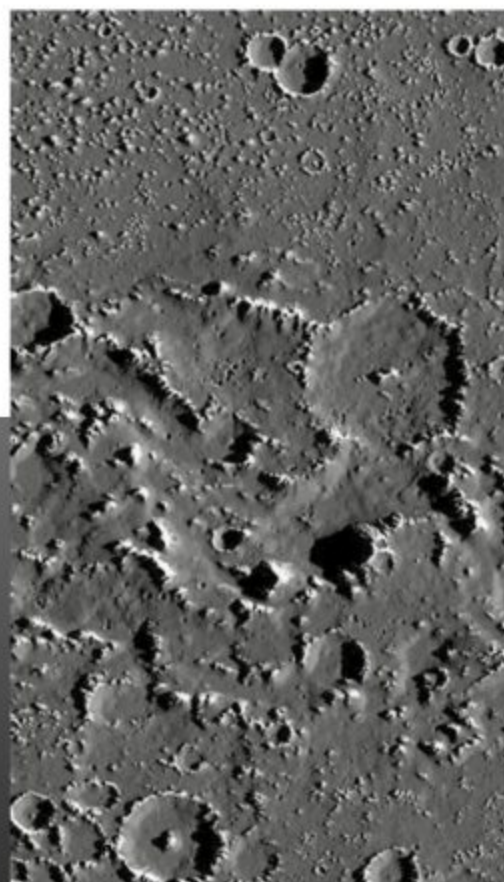
Европа



Ганимед



Каллисто



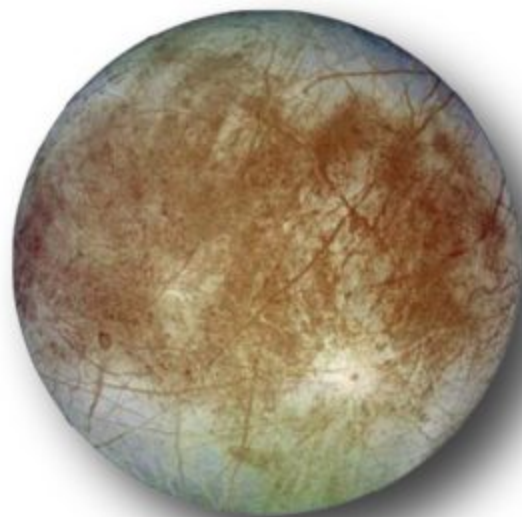
NASA/JPL/Brown University

Европа

Самый маленький из галилеевых спутников (единственный из них, который меньше нашей Луны) обращается вокруг Юпитера между Ио и Ганимедом, находясь с каждым из них в орбитальном резонансе. Первое сближение с ним состоялось 19 декабря 1996 г., а всего их было 12, причем во время самого близкого пролета расстояние до поверхности Европы составило 196 км.

Чем же так заинтересовало ученых это непримечательное на первый взгляд небесное тело? Во-первых, оказалось, что его форма почти не отличается от правильной сферы (максимальное отклонение не превысило пары сотен метров). Во-вторых, его поверхность проде-

монстрировала признаки исключительной молодости — очень малое количество ударных кратеров и следов взаимодействия с космической радиацией. А это, в свою очередь, проще всего объясняется тем, что вся поверхность Европы представляет собой тонкую — толщиной не более нескольких десятков километров — ледяную кору, укрывающую глубокий глобальный водяной океан. Благодаря приливному воздействию со стороны Юпитера и других его спутников в европейских недрах вырабатывается достаточно тепла для обеспечения энергией тектонических процессов, а возможно — и примитивных форм внеземной жизни.



NASA/JPL/DLR

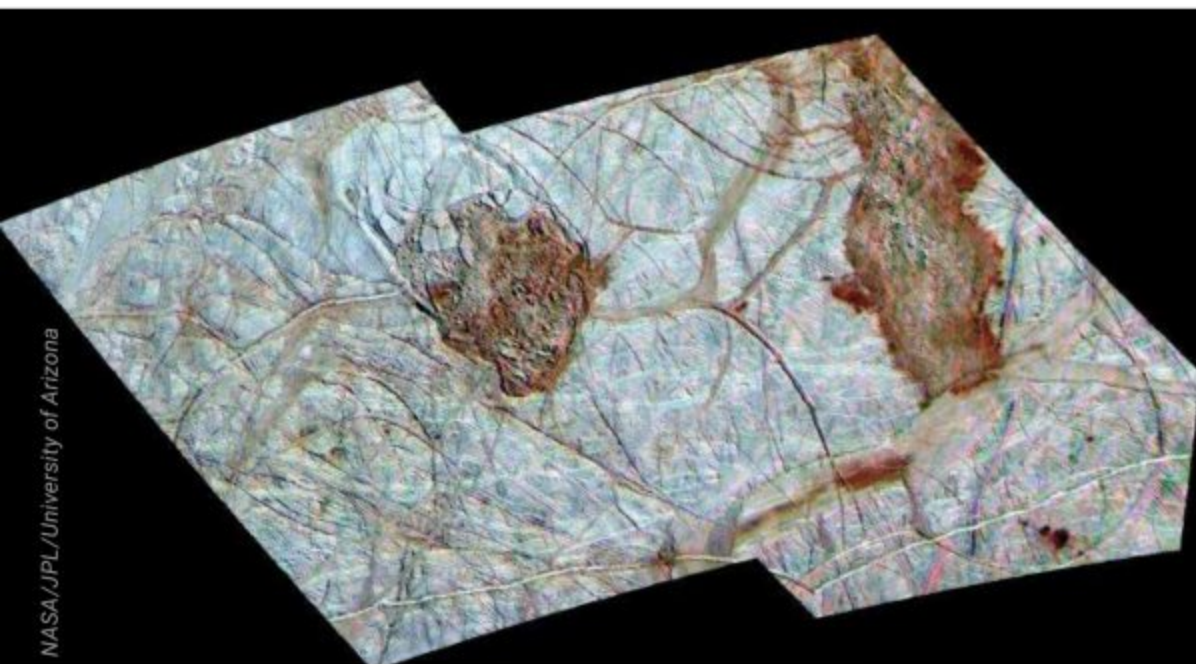
▲ Глобальный снимок хвостового полушария Европы, сделанный зондом Galileo 7 сентября 1996 г. с расстояния 677 тыс. км. Съемка велась через фиолетовый, зеленый и инфракрасный фильтры для улучшения цветовых различий достаточно однородной поверхности этого спутника. Темно-коричневые области представляют собой скалистый материал, по-видимому, поднятый из недр луны, принесенный метеоритами или же происходящий из обоих этих источников. Сравнительно яркие равнины в полярных реги-

онах (сверху и снизу) показаны в синеватых тонах, позволяющих отличить темно-синий крупнозернистый лед от более светлого мелкозернистого инея. Длинные коричневые линии — трещины в коре Европы. Некоторые из них имеют протяженность свыше 3000 км. Самое яркое пятно с темным включением в центре, видимое в нижней правой части изображения — молодой ударный кратер диаметром около 50 км, получивший название «Пуилл» (Pwyll) в честь кельтского бога подземного царства.



◀ Черно-белый снимок участка поверхности Европы, окрашенный по результатам съемки с цветными светофильтрами и меньшей разрешающей способностью (цвета усиленные, близкие к естественным). Голубовато-белые ландшафты представляют собой относительно чистый водяной лед, в красноватых областях он содержит значительное количество гидратированных солей — вероятно, сульфата магния. В основном окрашенный материал связан с широкой полосой в центре изображения, а также с некоторыми более тонкими полосами, гребнями и трещинами. Считается, что эти детали рельефа должны быть признаками наличия глобального подповерхностного океана.

NASA/JPL-Caltech/SETI Institute



NASA/JPL/University of Arizona

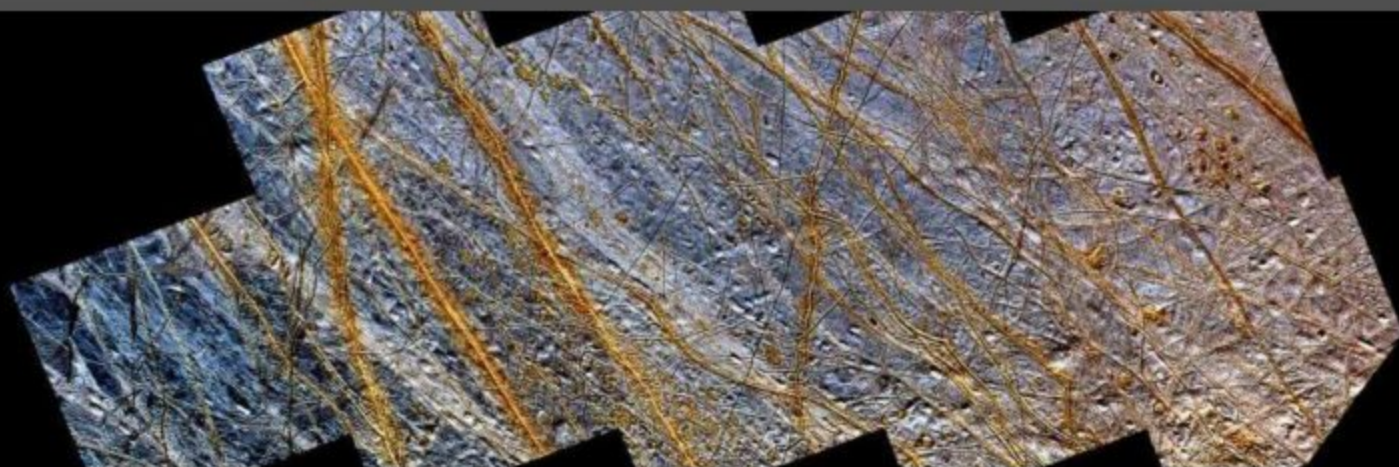
▼ Эта мозаика региона в северном полушарии Европы отображает многие особенности, характерные для ледяной поверхности спутника. Двойные коричневые протяженные хребты заметны на всем изображении. Они мо-

гут быть замерзшими остатками криовулканической активности, когда вода или ее смесь с раздробленным льдом извергались на поверхность, почти мгновенно замерзая в условиях чрезвычайно низких температур. По поверх-

ности разбросаны также темные пятна диаметром в несколько километров. Более старые и гладкие ландшафты, показанные голубоватым цветом, лежат в основе системы хребтов. Синие участки состоят из почти чистого водяного

◀ Тира и Фракия — два загадочных темных региона посреди более старых ледяных равнин юпитерианского спутника Европы. Тира (слева, западнее) имеет размеры около 85×70 км и лежит немного ниже уровня окружающей местности. Неровные разломы вдоль ее границ позволяют предположить, что ее формирование было связано с коллапсом подледной полости. Фракия (справа) заметно длиннее, ее поверхность более изрезана и, похоже, расположена чуть выше светлых равнин. Она примыкает к серой Полосе Ливии (Libya Linea) на юге. Одна из моделей формирования этих и других похожих структур на Европе включает в себя полный прорыв внешней ледяной оболочки водами залегающего под ней океана.

льда; состав темных коричневатых пятен и протяженных структур пока не определен. Возможно, они содержат минералы-эвапориты (водорастворимые минеральные соли) в матрице с высоким содержанием воды.



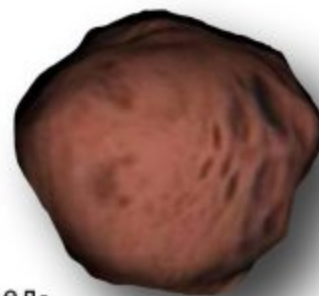
Амальтея. Финал миссии

Чтобы не допустить падения земных микроорганизмов, которые могли остаться на борту Galileo, на какой-либо из юпитерианских спутников, рабочая группа миссии приняла решение направить космический аппарат в атмосферу газового гиганта. Для этого 17 января 2002 г. был предпринят финальный гравиманевр в окрестностях Ио (минимальное расстояние до которого составило всего 102 км). К сожалению, большая часть ценных научных данных, получен-

ных при этом сближении, оказалась потеряна из-за сбоя записывающего устройства. Наконец, 4 ноября 2002 г. зонд прошел в 160 км от небольшой луны Амальтеи, обращающейся внутри орбиты Ио недалеко от внешнего края тонких колец Юпитера.

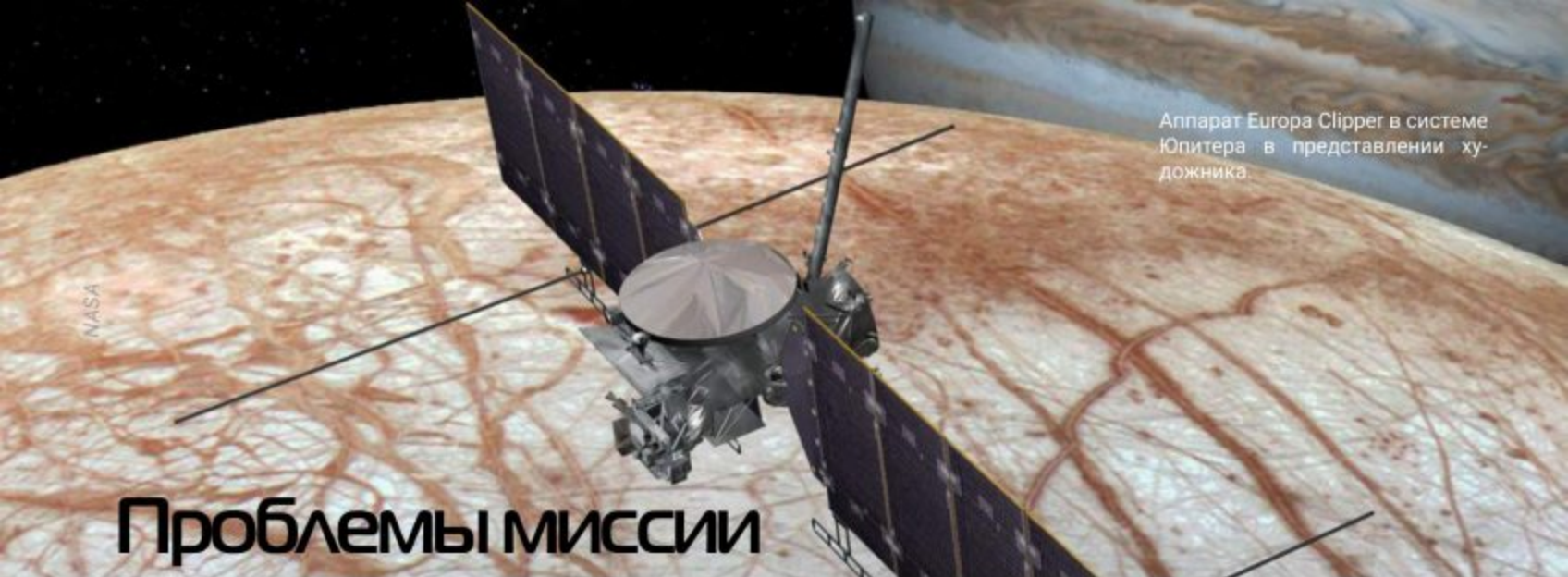
Амальтея — последний спутник планеты Солнечной системы, открытый визуально (все последующие подобные объекты открывались фотографически либо с помощью космических

аппаратов). Она оказалась каменистым телом красно-коричневого оттенка и неправильной формы размером 250×146×128 км. Вероятнее всего, это бывший астероид, захваченный полем тяготения Юпитера и «переброшенный» гравитационными возмущениями со стороны его крупных спутников на нынешнюю сравнительно стабильную орбиту. Красный цвет поверхности Амальтеи объясняется выпадением на нее соединений серы, выбрасываемых вулканами со-



сед-
ного Ио.

Наконец, 21 сентября 2003 г., завершив свой 35-й виток вокруг Юпитера, Galileo вошел в его атмосферу с невообразимой скоростью 173,7 тыс. км/час (48,3 км/с). Первый искусственный спутник планеты-гиганта прекратил свое существование. Общая стоимость миссии составила 1,4 млрд долларов США.



Аппарат Europa Clipper в системе Юпитера в представлении художника.

NASA

Проблемы миссии

Europa Clipper

В следующем десятилетии NASA планирует запустить космический аппарат Europa Clipper. Его целью станет Европа — спутник Юпитера, под ледяной поверхностью которого скрывается глобальный океан. По классификации агентства эта миссия относится к категории флагманских, что делает ее приоритетной. Но, несмотря на всю ее важность, два ключевых аспекта миссии до сих пор неясны: год запуска и ракета-носитель.

Согласно недавно предложенному американской администрацией проекту бюджета NASA, в 2019 г. Europa Clipper будет профинансирован на сумму 265 млн долларов. В 2020 г. проект получит 200 млн, а затем по 360 млн в промежутке с 2021 по 2023 г. По словам Джима Грина, директора Отдела по изучению планет (Jim Green, NASA Planetary Science Division), указанный уровень финансирования обеспечит запуск зонда в 2025 г. — на год раньше, чем предусматривал прошлогодний проект бюджета агентства от администрации США.

Однако названная дата противоречит требованию принятого Конгрессом билля, согласно которому в этом году миссия должна получить 495 млн долларов (существенно больше, чем запрашивал Белый дом). Условием выделения этих средств является запуск аппарата Europa Clipper в 2022 г. с использованием новой тяжелой ракеты SLS. Также билль предусматривает отправку отдельного спускаемого аппарата к Европе в 2024 г.

Использование SLS даст возможность направить зонд к Юпитеру по траектории прямого перелета, благодаря чему он достигнет своей цели всего за три года. Для сравнения: при использовании ракеты Atlas V полет займет более шести лет и потребует проведения нескольких гравитационных маневров у Венеры и Земли. Кроме того, визит к Венере означает, что Europa Clipper придется оснастить дополнительной теплозащитой. А любой лишний килограмм веса конструкции аппарата в итоге обернется снижением полезной нагрузки.

В своей бюджетной заявке на следующий год NASA запросила значительно большую сумму, нежели готов предложить Белый дом. Согласно документу, в

2020 г. на программу должно быть выделено 594 млн долларов. Такой уровень финансирования обеспечит выполнение требований Конгресса по дате запуска зонда.

В то же время не секрет, что многие представители NASA сомневаются как в реальности этого срока, так и в возможности использования для запуска ракеты SLS. Тому есть несколько причин. Во-первых — цена: в агентстве предпочли бы более дешевый носитель, а сэкономленные средства потратили бы на сам аппарат и его научную «начинку». В бюджетной заявке NASA прямо говорится о том, что дополнительные расходы, неизбежные при использовании SLS, перевешивают потенциальные выгоды от сокращения времени перелета.

Во-вторых, вызывает сомнения доступность носителя SLS. Согласно действующей директиве, основным приоритетом пилотируемой программы США в следующем десятилетии должна стать Луна. Поэтому новую ракету в первую очередь задействуют в лунных миссиях. По некоторым оценкам, «свободная» SLS, которую можно будет использовать для исследований дальнего космоса, появится в распоряжении агентства не ранее 2024 г.

Известно, что американское космическое ведомство рассматривает альтернативные возможности отправки зонда к Европе, в числе которых, в частности, значится обращение к услугам коммерческих «перевозчиков». В первую очередь под ними подразумевается SpaceX с ее тяжелой ракетой Falcon Heavy: даже в полностью одноразовой конфигурации ее старт будет стоить чуть ли не на порядок дешевле, чем SLS. Но дело в том, что для запуска миссий NASA ракета должна пройти сертификацию. А этот процесс займет как минимум несколько лет.

Официально в NASA пока не исключают никаких вариантов. У агентства есть еще примерно полтора года, чтобы определиться с планом полета. Решение о выборе носителя для миссии должно быть принято к концу 2019 г., когда состоится окончательное утверждение дизайна зонда Europa Clipper. Стоит отметить, что на состоявшемся 21 февраля заседании группы OPAG (Outer Planets Assessment Group) участники проекта заявили о том, что работают по графику, предполагающему запуск аппарата в июне 2022 г. с использованием ракеты SLS.

Что скрывает океан Энцелада?

Еще недавно ледяные спутники планет-гигантов рассматривались большинством астрономов как статичные мертвые миры без заметной внутренней активности, где нет ничего особенно интересного. Однако за последние годы это мнение серьезно изменилось. Данные, собранные миссиями Galileo и Cassini, говорят о том, что под поверхностью как минимум нескольких крупных лун Юпитера и Сатурна имеются глобальные океаны. Не исключено, что это справедливо также для некоторых спутников Урана и Нептуна.

Одним из наиболее перспективных для исследований с этой точки зрения считается сатурнианский спутник Энцелад. Тому есть несколько причин. Во-первых, в его окрестностях достаточно спокойная радиационная обстановка — в отличие, например, от Европы, орбита которой проходит вблизи одного из радиационных поясов Юпитера, что создает значительные сложности при проектировании посадочного аппарата. Во-вторых, на южном полюсе Энцелада находится целый ряд гейзеров, активно выбрасывающих воду из его подповерхностного океана, то есть для изучения этого океана даже не обязательно сажать на поверхность спутника спускаемый модуль — достаточно оснастить исследовательский зонд химической мини-лабораторией и направить его сквозь водяные выбросы.

За годы пребывания на орбите вокруг Сатурна аппарат Cassini совершил несколько таких пролетов. Конечно, его создатели не предполагали, что будут использовать свое «детище» подобным образом — инструменты Cassini не предназначались для детального химического анализа. Но даже с учетом технических ограничений зонду удалось собрать множество данных, позволивших отчасти приоткрыть завесу тайны над океаном Энцелада.

Согласно этим данным, выбросы примерно на 98% состоят из водяного пара, на 1% — из водорода, и еще около процента приходится на смесь других веществ — в частности, углекислого газа, метана и аммиака. Также были обнаружены следы минеральных солей, некоторых органических соединений и небольшие частички кремнезема (диоксида кремния). Лабораторные опыты показали, что подобные частички формируются в воде, разогретой до температуры 90°C. В целом в океане Энцелада, согласно подсчетам, содержание поваренной соли примерно такое же, как и в земных океанах. Кроме того, в нем растворено много соды, благодаря чему он имеет высокий уровень щелочности (показатель pH достигает 12).

Наличие водорода и частичек кремнезема указывает на то, что на дне океана Энцелада протекают активные гидротермальные процессы. В горячих источниках на дне земных водоемов одноклеточные микроорганизмы используют водород и углекислый газ для получения энергии; в качестве продукта жизнедеятельности

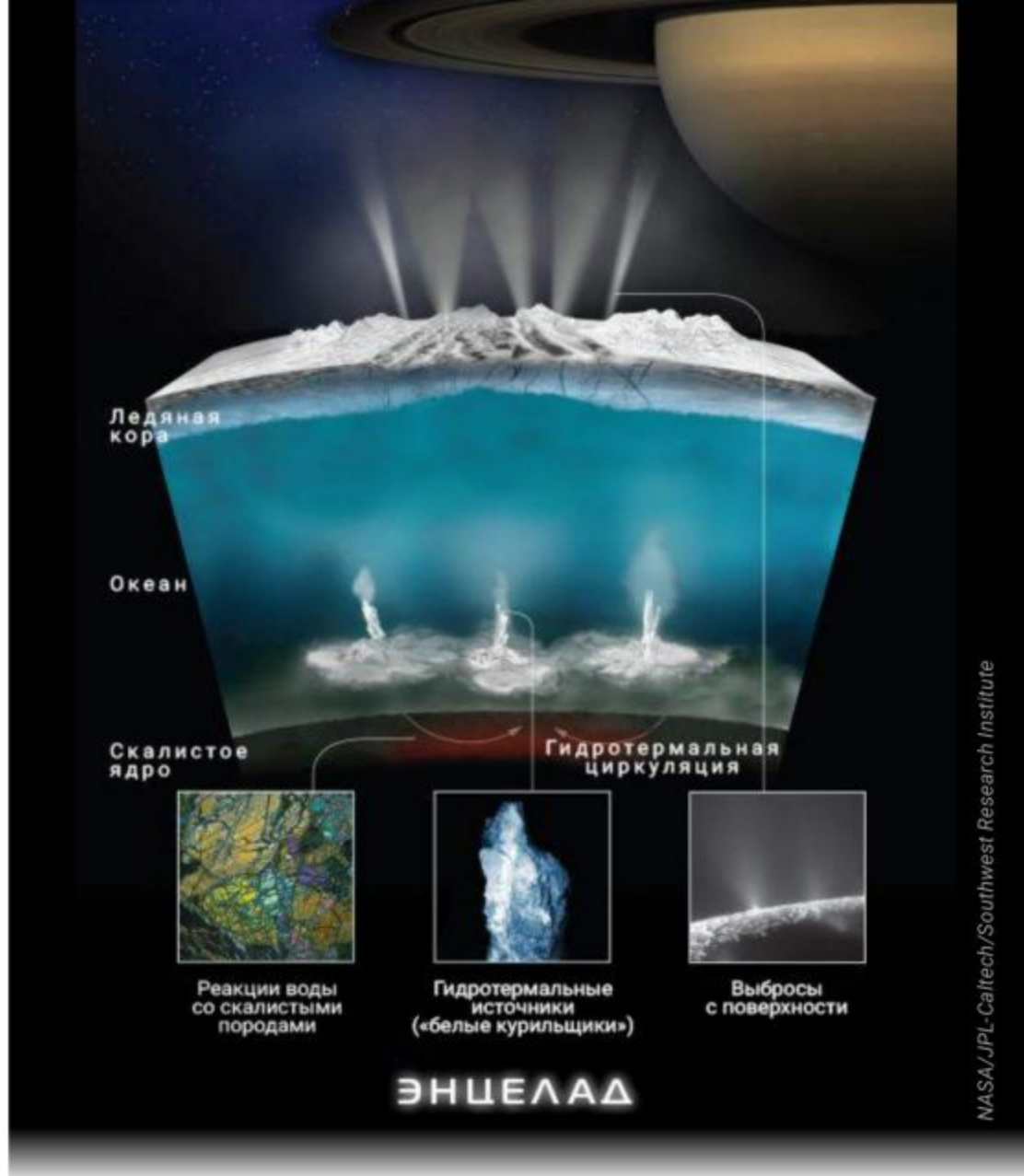
Наличие водорода и частичек кремнезема указывает на то, что на дне океана Энцелада протекают активные гидротермальные процессы. В горячих источниках на дне земных водоемов одноклеточные микроорганизмы используют водород и углекислый газ для получения энергии; в качестве продукта жизнедеятельности

▼ Выбросы с поверхности сатурнианского спутника Энцелада, сфотографированные зондом Cassini в 2015 г., незадолго до пролета сквозь них (космический аппарат на их фоне показан условно). За последние годы в Солнечной системе было открыто сразу несколько миров с подледными океанами, в которых ученые надеются найти внеземную жизнь.

► На этой схеме показано, как научные сотрудники миссии Cassini представляют себе взаимодействие воды и скальных пород в недрах Энцелада, в результате которого выделяется газообразный водород (H_2), обнаруженный в составе выбросов гейзеров у южного полюса этого сатурнианского спутника. Последнее, самое глубокое погружение в них космический аппарат осуществил 28 октября 2015 г.

Как предполагают ученые, внутри спутника есть частично пористое каменное ядро, сквозь которое циркулирует вода, нагреваясь и взаимодействуя со скальными породами. Позже, насытившись минералами и растворенными газами, эта вода конвективными потоками поднимается к ледяной коре и участвует в образовании гейзеров, извергающихся сквозь трещины.

Открытие водорода в выбросах гейзеров Энцелада стало подтверждением того, что в недрах этого спутника протекают окислительно-восстановительные реакции, которые вполне могут служить источником химической энергии для потенциально обитающих там живых организмов.



при этом выделяется метан. Указанные газы присутствуют и в выбросах гейзеров Энцелада. А это значит, что в его подповерхностном океане есть все условия для зарождения жизни и ее существования на протяжении длительного времени.

Возникает резонный вопрос: что же может быть «движущей силой» столь высокой активности спутника? Энцелад часто сравнивают с еще одним сатурнианским спутником Мимасом. Оба они имеют близкие размеры и орбитальные характеристики, однако лишь одна из лун демонстрирует эндогенную активность. Что же стало причиной такого различия?

По оценкам ученых, энергия распада радиоактивных элементов в ядре Энцелада может дать не более 1% тепла, необходимого для поддержания воды в его недрах в жидком состоянии. Конечно, его ледяная кора подвергается мощному гравитационному воздействию со стороны Сатурна, однако и этой энергии также оказывается недостаточно. Как показывают расчеты, подледный океан должен был бы полностью замерзнуть всего за 30 млн лет. Это значит, что нынешнее состояние спутника вполне может оказаться лишь небольшим эпизодом его эволюции. В таком случае на всех надеждах найти там жизнь следовало бы поставить крест.

Группа планетологов из США и Европы попыталась найти ответ на этот вопрос. Согласно резуль-

татам их исследований, опубликованным в конце прошлого года в журнале Nature Astronomy, существование океана Энцелада объясняется особенностями его ядра. Ученые создали компьютерную модель внутреннего строения спутника, показавшую, что если ядро имеет пористую структуру с пустотами, занимающими 20-30% его внутреннего объема, под влиянием гравитации Сатурна в нем должны происходить деформации, которые вызывают трение каменных блоков, приводящее к генерации тепла. Вода попадает в поры, нагревается и затем выбрасывается обратно в подледный океан, по пути взаимодействуя с окружающими породами. В такой модели требуется от 25 до 250 млн лет на то, чтобы вся вода в недрах Энцелада прошла через его ядро. Этого оказалось достаточно, чтобы обеспечить существование океана спутника в течение миллиардов лет — а значит, шансы на то, что в нем могла зародиться примитивная жизнь, остаются вполне существенными.

Результаты другого недавно проведенного эксперимента показали, что некоторые земные микробы вполне могли бы выжить в гидротермальных источниках на дне океана Энцелада. Группа ученых из Австрии и Германии поместила три вида архей (примитивных микроорганизмов) в условия, близкие к существующим в недрах спутника. В качестве внешнего газового окружения использовалась смесь во-

дорода, углекислого и угарного газа, метана, азота и в некоторых случаях этилена (C_2H_4). Давление варьировалось от 2 до 90 бар, а температура — от 65 до 80°C.

Выяснилось, что как минимум один из видов архей может расти и производить метан даже в присутствии веществ, которые подавляют развитие других организмов — в частности, формальдегида, аммиака и угарного газа. Микробы оказались способны выжить при давлении 50 бар (в 50 раз больше, чем у поверхности Земли). Все это делает Энцелад одним из наиболее перспективных мест для поиска жизни в Солнечной системе.

К сожалению, после завершения работы зонда Cassini в распоряжении исследователей еще долго не будет действующих аппаратов в окрестностях Сатурна. Специалисты NASA и ESA разработали несколько концептов специализированной миссии для изучения Энцелада и его океана, но ни один из них пока официально не одобрен.

Не исключено, что в этом вопросе ученым смогут помочь частные компании. Уже известно, что возможность отправки аппарата к Энцеладу изучает руководство программы Breakthrough Initiatives. Для оценки выполнимости подобного проекта создана рабочая группа. Она рассматривает множество вариантов миссии. Предпочтение пока отдается зонду, который, подобно Cassini, несколько раз посетил бы

окрестности луны и прошел через струи выброшенного из ее недр вещества. Если какой-то из концептов будет соответствовать всем предъявляемым техническим и стоимостным критериям, экспедиция к Энцеладу может быть утверждена руководством Breakthrough Initiatives уже в этом году.

Но даже если планы негосударственных организаций останутся на бумаге, ученые все равно продолжат изучать спутник дистанционными методами. Недавно в ходе серии наблюдений Сатурна, выполненных при помощи 30-метрового радиотелескопа Института радиоастрономии миллиметровых волн (Institute for Radio Astronomy in the Millimeter range — IRAM), исследователи из Кардиффского университета обнаружили в кольце E, которое «подпитывается» гейзерами Энцелада, высокое содержание метанола CH_3OH — простейшего органического спирта. Эта находка стала первой прямой идентификацией химического вещества в шлейфе спутника с помощью наземных радиотелескопов. Она доказала принципиальную возможность поиска различных сложных соединений (в том числе и органики) в выбросах Энцелада с использованием средств наблюдений, находящихся на поверхности Земли.

▼ «Морщинистая» поверхность сатурнианского спутника Энцелада, на которой отобразилась сложная история взаимодействия приливных сил и возможных источников тепла в его недрах. Яркий белый цвет и малое количество ударных кратеров указывают на постоянное обновление поверхностного слоя.

NASA/JPL-Caltech



◀ Разлом «Багдад» — одна из трещин на поверхности Энцелада, из которой происходят выбросы пара и ледяных частиц.

◀ Глубокие разломы в ледяной коре Энцелада.

◀ Более свежие трещины пересекают старые кратерированные области.

Falcon Heavy:

НОВЫЙ успех Илона Маска

Итак, 6 февраля, наконец, произошло событие, изначально запланированное на декабрь прошлого года, но впервые анонсированное почти 7 лет назад, когда руководитель и основатель американской компании SpaceX миллиардер Илон Маск (Elon Musk) заявил о начале работ над новым тяжелым носителем, который получил имя Falcon Heavy. Это было вскоре после того, как в июне 2010 г. успешно стартовала нынешняя основная «рабочая лошадка» компании — ракета Falcon 9. Тогда уже стало ясно, какие усовершенствования следует внести в ее конструкцию и в каком направлении нужно вести ее доработку до более грузоподъемной версии.

Первые планы Маска относительно сроков выглядели весьма оптимистичными — предполагалось, что Falcon Heavy стартует с базы ВВС США Ванденберг на побережье Калифорнии уже во второй половине 2013 г. Но все оказалось не так просто: запуск отложили на год, потом еще на год... а после аварии ракеты Falcon 9 с грузовым кораблем Dragon 28 июня 2015 г. график работ пришлось серьезно пересмотреть. Даже обещание испытать новый носитель до конца 2017 г. выполнить не удалось. Тем не менее, 28 декабря он был в собранном виде доставлен на стартовый комплекс LC-39А Космического центра им. Кеннеди (мыс Канаверал, штат Флорида), и началась подготовка к «прожигу» — одновременному огневому испытанию всех 27 двигателей первой и второй ступеней без отры-

ва от пусковой установки.

Далее в дела космические вмешалась политика: из-за приостановки работы государственных учреждений США ввиду недостатка бюджетного финансирования (и, как следствие, прекращения обслуживания некоторых объектов NASA) испытания, запланированные на 19 января, также пришлось отложить, но в итоге 24 января они успешно состоялись. Путь к старту новой тяжелой ракеты был открыт.

Как уже говорилось, 6 февраля 2018 г. в 20 часов 45 минут по всемирному времени (22:45 по времени Восточной Европы) элегантный 70-метровый носитель, наконец, устремился в голубое небо Флориды, где тогда был еще день. За историческим событием непосредственно наблюдало больше сотни тысяч человек, и еще почти два с половиной миллиона следили за прямой трансля-

цией пуска во всемирной сети. Одним из первых, кто поздравил Маска с очередным успехом, стал президент США Дональд Трамп, написавший в свой twitter: «Это достижение вместе с коммерческими и международными партнерами NASA демонстрирует американскую изобретательность во всей красе».

Что же вызвало такой всемирный интерес, и был ли он в данном случае оправдан? Безусловно, был. Конечно, по заявленной грузоподъемности — 64 тонны полезной нагрузки на низкую околоземную орбиту — Falcon Heavy существенно «не дотягивает» до уже существовавших сверхтяжелых носителей, у которых этот показатель достигал сотни тонн (советская РН «Энергия», совершившая два полета в 1987-88 гг.) и даже 140 тонн (Saturn V, использовавшийся в лунной программе NASA). Строго говоря, и

американские многоэтажные космические корабли Space Shuttle имели орбитальную массу свыше сотни тонн, то есть даже в текущем столетии мы были свидетелями стартов ракетно-космических систем, превосходящих по характеристикам новую ракету SpaceX. Однако они превосходили ее и по такому важному параметру, как стоимость запуска: если у «космических челноков» она под конец их эксплуатации превышала миллиард долларов, то старт Falcon Heavy обошелся примерно в десять раз дешевле, что означало рекордно низкую цену доставки на орбиту килограмма грузов — менее полутора тысяч долларов. А в дальнейшем, после начала регулярных полетов, Илон Маск обещает снизить эту цифру еще больше.

Такого удешевления удалось достичь благодаря тому, что все предыду-

щие сверхтяжелые носители как минимум в одной своей ступени использовали в качестве горючего дорогой и сложный в обращении жидкий водород. Ракета Маска работает на топливной паре «жидкий кислород — керосин», и хотя керосин этот, конечно, должен предварительно пройти специальную очистку, он все равно остается наиболее дешевым и безопасным из всех имеющихся ракетных горючих.

Второй важной особенностью нового носителя является тот факт, что Falcon Heavy разработан и будет эксплуатироваться частной компанией, тогда как ранее вся подобная техника создавалась государственными агентствами на деньги налогоплательщиков. Аналитики космической отрасли уже давно говорят о том, что ее коммерциализация должна иметь следствием подключение к «частной космической гонке» новых участников, повышение эффективности использования носителей и в итоге — еще большее снижение стоимости запусков. Насколько верны эти прогнозы — покажет будущее; во всяком случае, как уже было сказано, сверхтяжелый носитель сейчас находится только в распоряжении SpaceX, и единственным возможным конкурентом этой компании, разрабатывающим сравнимую по грузоподъемности ракету SLS (Space Launch System), остается NASA.

Медиа-эффект от запуска постарался максимально усилить и сам Илон Маск, избрав в качестве имитатора полезной нагрузки спортивный электромобиль Tesla Roadster вишневого цвета, производимый одним из его предприятий. За рулем необычного космического

Старт ракеты-носителя Falcon Heavy частной компании SpaceX с площадки LC-39A Космического центра им. Кеннеди (NASA) 6 февраля 2018 г.



аппарата сидел манекен по имени Starman в фирменном скафандре SpaceX. Имя манекена является отсылкой к одноименному синглу Дэвида Боуи, выпущенному в апреле 1972 г. Во время старта в машине звучала еще одна известная композиция этого исполнителя — Space Oddity (ее название обычно переводят как «Космическое приключение»). На приборной доске видна надпись Don't panic («Без паники») — фраза из книги «Автостопом по галактике». Сама книга уложена в бардачке электромобиля вместе с полотенцем и дисковым накопителем, на котором записана трилогия знаменитого американского фантаста Айзека Азимова «Основание» (Foundation). Среди прочих «сюрпризов» на борту имеется миниатюрная модель Tesla и пластина с именами участников проекта Falcon Heavy.

Вся эта «нагрузка» вызвала оживленные обсуждения в социальных сетях и средствах массовой информации, и мнения о том, что она служила главным образом рекламным целям, вполне имеют под собой основание. Однако нельзя не признать, что неистощимый на выдумки основатель компании SpaceX весьма эффектно привлек внимание и к космонавтике как таковой — особенно если учесть, что

в перспективе новый носитель должен быть использован в грандиозном проекте по колонизации Марса. Пока сложно сказать, до какой стадии этот проект удастся осуществить... но свое место в истории освоения космоса Илон Маск уже занял.

Tesla Roadster, установленный на «вершине» второй ступени (вокруг него были смонтированы несколько видеокамер, передававшие изображения электромобиля с манекеном на Землю в течение следующих четырех часов), вначале с помощью импульса двигательной установки этой ступени вышел на опорную околоземную орбиту, а далее, после еще двух импульсов, перешел на межпланетную траекторию, афелий которой расположен на расстоянии 1,664 а.е. (249 млн км) от Солнца — немного дальше орбиты Марса. По предварительным оценкам, «межпланетный автомобиль» мог улететь еще дальше — вплоть до внутренних областей Пояса астероидов. Однако более поздние измерения подтвердили, что в итоге Tesla оказался практически на расчетной орбите. На ней он потенциально может находиться миллиарды лет, постепенно разрушаясь под действием космической радиации и микрометеоритов; правда, вычисления показывают, что в ближайшие 4-5 млн



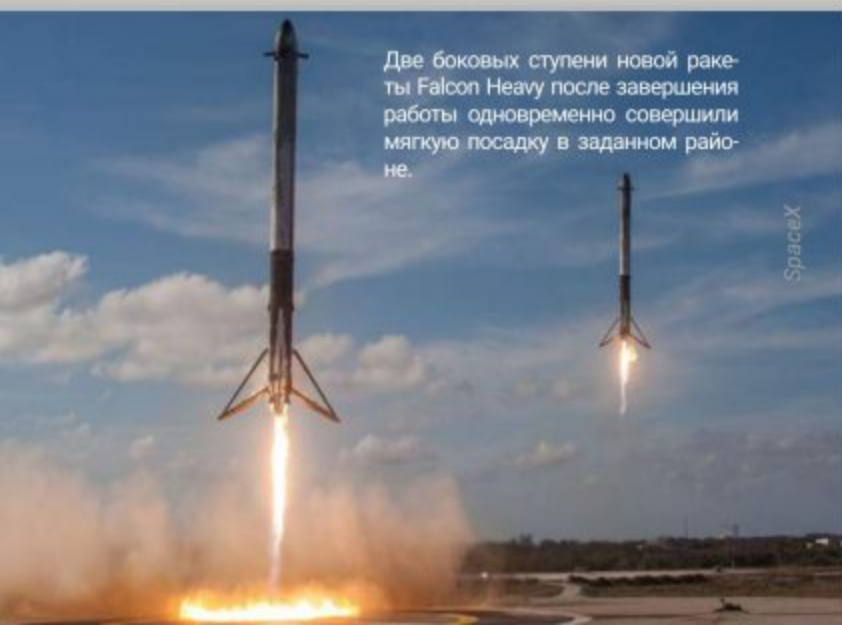
Elon Musk Investigates

лет он почти наверняка столкнется с Землей, Луной или Марсом.

Сам «отец-основатель» новой ракеты верил в ее успешный первый полет, наверное, меньше, чем многие из его «фанатов». В нескольких интервью перед запуском Илон Маск заявил, что будет считать большой удачей, если Falcon Heavy хотя бы просто уйдет со стартового комплекса. Тем не менее, все прошло как нельзя более удачно. Два боковых ускорителя (представляющие собой уже летавшие первые ступени ракеты Falcon 9) после завершения работы их главных двигателей и отделения от носителя синхронно совершили мягкую посадку на специально отведенном участке кос-

модрома на мысе Канаверал. Не удалось «посадить» лишь центральный блок — во время спуска у него работало только один двигатель (вместо трех), и в результате он врезался в воду на скорости около 480 км/ч в сотне метров от автономной платформы Of Course I Still Love You, «поджидавшей» его в Атлантическом океане. Платформа получила незначительные повреждения; попытки спасти ракетную ступень и доставить ее на берег для выяснения причин инцидента оказались безуспешными.

Дальнейшие планы руководителя компании SpaceX выглядят достаточно грандиозно, и нужно признать, что, имея в своем распоряжении рабочую сверхтяже-



Две боковых ступени новой ракеты Falcon Heavy после завершения работы одновременно совершили мягкую посадку в заданном районе.

SpaceX



Камеры, установленные на последней ступени Falcon Heavy, в течение нескольких часов вели съемку автомобиля Tesla Roadster с манекеном Starman в фирменном скафандре SpaceX.

SpaceX Webcast



◀ После третьего включения двигателей последней ступени Tesla Roadster отправился на вытянутую гелиоцентрическую орбиту с афелием за пределами орбиты Марса.

люю ракету, он как никогда близок к их осуществлению. Согласно этим планам, первый старт Falcon Heavy к Марсу (пока в беспилотном режиме) должен состояться в 2022 г. с целью доставки туда грузов, необходимых для возвращения на

Землю участников пилотируемой марсианской экспедиции. Она, в свою очередь, начнется в 2024 г., и если этот срок удастся выдержать — уже в 2025 г. первый человек ступит на поверхность другой планеты. ■

Сверхтяжелые носители



Заявленная полезная нагрузка

126 / 27,5* 45 64 90 100 130 140** 250 -

*- общий вес, выводимый на орбиту / полезная нагрузка в грузовом отсеке шаттла

**- реально выводимая нагрузка по программе Apollo

Транспортная система **Space Shuttle** могла эксплуатироваться только с многоразовыми космическими кораблями, состоявшими (вместе с топливом для бортовых двигателей челнока) порядка 80% массы, которая выводилась на орбиту, т.е. из 123-126 тонн реальная полезная нагрузка не превышала 27,5 тонн. С 1981 по 2011 г. было произведено 135 пусков шаттлов, из них один закончился аварией с гибелью всех членов экипажа; еще один «челнок» потерпел катастрофу при посадке. Стоимость одиночного запуска иногда превышала миллиард долларов.

New Glenn — носитель, разрабатываемый частной компанией Blue Origin. Пока известны только размеры ракеты: высота в двухступенчатом варианте — 82 м (на обеих ступенях должны использоваться новые двигатели, работающие на жидком метане и жидком кислороде), в трехступенчатом — 95 м, диаметр — 7 м. Заявленная полезная нагрузка — 45 тонн. В сентябре 2017 г. были заключены контракты с компаниями Eutelsat и таиланд-

ской корпорацией Mu Space на выведение спутников связи на геостационарную орбиту после 2021 г. с помощью двухступенчатой версии носителя.

Falcon Heavy — самый мощный носитель из существующих в настоящее время. При стартовой массе 1420 тонн способен вывести на низкую околоземную орбиту до 64 тонн груза. Первая тяжелая ракета, созданная частной компанией. Стоимость одного запуска — 90-130 млн долларов (самая низкая цена доставки в космос единицы массы груза).

H-1 — советский сверхтяжелый носитель для доставки космонавтов на Луну. Его разработка началась под руководством Сергея Королева. С февраля 1969 г. по ноябрь 1972 г. (после смерти Генерального конструктора) состоялось 4 пуска ракеты, все аварийные. Стартовая масса — 2735 тонн, проектная полезная нагрузка, доставляемая на низкую орбиту — 90 тонн.

В СССР для запуска многоразовых кораблей была разра-

ботана многоцелевая тяжелая ракета-носитель **«Энергия»** со стартовой массой 2400 тонн. В 1987-88 гг. состоялось два успешных ее запуска: с 80-тонным экспериментальным аппаратом «Полюс» (не вышедшим на орбиту из-за отказа бортовых систем) и космоланом «Буран», который совершил два витка вокруг Земли в беспилотном режиме и приземлился на космодроме Байконур. Заявленная полезная нагрузка должна была достигать 100 тонн.

Тяжелая ракета **SLS** (Space Launch System) разрабатывается NASA с 2011 г. На рисунке показана грузовая версия Block 1B. Максимальная полезная нагрузка на низкую орбиту — 130 тонн при стартовой массе свыше 2200 тонн. Первый полет с новым кораблем Orion в беспилотном режиме запланирован на конец 2019 г.

Saturn V — наиболее мощная ракета-носитель из созданных к настоящему времени (доставляла на низкую околоземную орбиту полезную нагрузку массой до 140 тонн). Макси-

мальная стартовая масса 2940 тонн. Использовалась в американской пилотируемой лунной программе и для запуска орбитальной станции Skylab. Из 13 пусков этого носителя все были успешными.

BFR (Big Falcon Rocket) — еще один носитель, разрабатываемый компанией SpaceX для пилотируемых межпланетных перелетов. Проектная полезная нагрузка — 250 тонн (это будет первая ракета, которая по данному показателю превзойдет Saturn V). Конструирование первого экземпляра BFR началось в феврале 2018 г., после успешного полета Falcon Heavy. Испытания новых метаново-кислородных двигателей Raptor для нее ведутся с 2016 г. Тестовый полет запланирован на 2022 г.

Параллельно в SpaceX ведутся работы над **ITS** (Interplanetary Transport System) для доставки колонистов на Марс. С ее помощью туда смогут одновременно перелететь до сотни человек. Высота носителя предположительно составит 122 м, стартовая масса — 13 тыс. тонн.

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