



ПЛАНЕТОЛОГИЯ

# «КАССИНИ» У САТУРНА

Историческое исследование окольцованной планеты, беспрецедентное по масштабам и зрелищности, подходит к концу

*Каролин Порко*

## ОБ АВТОРЕ

**Каролин Порко** (Carolyn Porco) — ученый-планетолог Института космических исследований в Боулдере, штат Колорадо, научный руководитель группы, занимающейся получением и обработкой фотоснимков с зонда «Кассини», приглашенный научный сотрудник Калифорнийского университета в Беркли, член экспертного совета журнала *Scientific American*. Часть этой статьи была написана в то время, когда она занималась популяризацией науки при научном и образовательном центре «Библиотека, художественное собрание и ботанические сады им. Хантингтона» в Сан-Марино, штат Калифорния.



Как-нибудь вечером, когда Сатурн расположится высоко на небосклоне, а ночь будет ясная и темная, взгляните на планету с помощью любительского телескопа. Когда вы ощутите благоговейный трепет и увидите красоту планеты, отыщите в интернете фотографии, которые космический зонд NASA «Кассини» передал за 13 лет своего путешествия вокруг этого окольцованного чуда. Возможно, вас сразит наповал то, как далеко мы проникли, насколько искусны стали в качестве исследователей межпланетного пространства и какое удивительное мастерство потребовалось, чтобы так близко подобраться к тайнам такой далекой от нас планеты, как Сатурн.

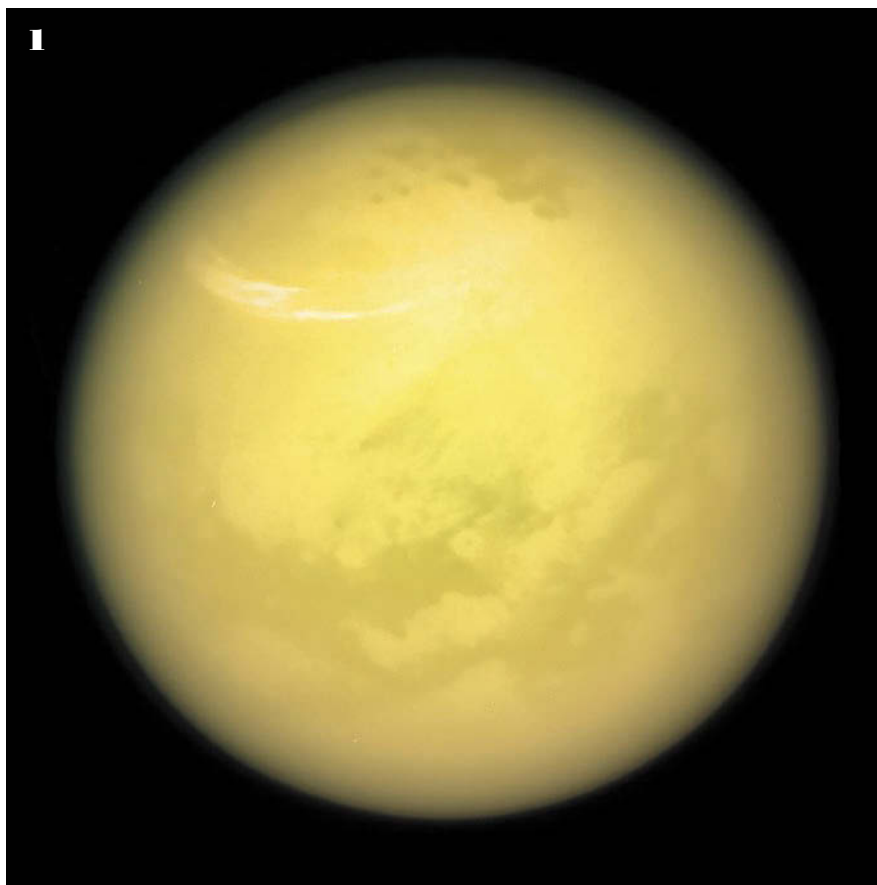
Согласно планам на момент написания этой статьи, в середине сентября зонду «Кассини» предстоит завершить свое путешествие вокруг Сатурна и по команде с Земли нырнуть в атмосферу планеты. Он превратится в огненный шар, чего, скорее всего, никто не увидит, гарантируя тем самым, что никогда случайно не столкнется с каким-нибудь из спутников Сатурна, на которых, возможно, имеются благоприятные для жизни условия, и не занесет туда земные организмы.

Как научный руководитель группы, занимающейся получением и обработкой фотоснимков, я вместе с моими коллегами по обеим сторонам Атлантики начала работу с «Кассини» в конце 1990 г., когда этот проект еще не вышел за рамки идеи, умозрительной концепции. Я следила за развитием проекта на стадии планирования и постройки зонда, воочию наблюдала, как 15 октября 1997 г. космический аппарат был запущен с мыса Канаверал во Флориде, терпеливо следила за его семилетним полетом к Сатурну и находилась в первом ряду в центре управления, когда он наконец прибыл к месту назначения в 2004 г. Именно там и тогда «Кассини» заставил нас кардинально пересмотреть наши представления о Сатурне и обо всем, что его окружает.

Ни одна из космических экспедиций еще не исследовала планетную систему столь богатую, как у Сатурна, настолько глубоко и столь продолжительное время. На одном из его спутников, Титане, мы обнаружили моря углеводородов, а структура его поверхности по сложности оказалась сравнимой с земной. Мы наблюдали метеорологические процессы в сатурнианской атмосфере и стали свидетелями рождения, эволюции и угасания гигантских бурь. В кольцах Сатурна мы разглядели неизвестные ранее явления, которые рассказали нам о процессах, участвовавших в формировании планетных систем, включая нашу с вами. Как картографы прошлого, мы вычерчивали карты спутников Сатурна для будущих исследователей и открывали «новые земли», включая целый класс малых небесных тел, расположенных внутри самих колец. И, наконец, то, что я считаю самым значительным

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- После 13-летнего пребывания на орбите вокруг Сатурна космический зонд «Кассини» в сентябре 2017 г. закончил свою экспедицию, совершив запланированный прыжок в атмосферу планеты.
- Во время своего странствия «Кассини» в мельчайших деталях обследовал атмосферу, кольца и спутники Сатурна. В 2005 г. модуль «Кассини» — зонд «Гюйгенс» — совершил посадку на поверхность Титана, одного из спутников Сатурна.
- Наряду со множеством других открытий «Кассини» обнаружил на Титане озера жидкого метана и упрятанный глубоко подо льдом другого спутника Сатурна, Энцелада, океан жидкой воды, которая прорывается наружу в виде гейзеров. Ученые не исключают возможности того, что это скрытое море способно поддерживать внеземные формы жизни.
- Кроме того, «Кассини» открыл гористые волны из валунов и мини-спутники в самих кольцах Сатурна, а также эффект, делающий его атмосферу голубой в зимнее время.



Титан, самый большой из спутников Сатурна, сияет на фотографии в условных цветах (1) и неясно прорисовывается вдали (2) позади спутника меньшего размера — Энцелада и колец Сатурна

механизмов, что были ключевыми при формировании Солнечной системы и аналогичных дисков из межзвездного вещества вокруг других звезд на раннем этапе их жизни. Пролет «Вояджера» сквозь внутреннюю систему Сатурна выявил его разнообразные спутники и позволил наблюдать за влиянием их динамических сил. Титан, самый большой спутник Сатурна, чья поверхность оставалась невидимой сквозь плотную сплошную плену тумана, тем не менее разжигал интерес астрономов намеками на возможность существования там океана жидких углеводородов. В общем, система Сатурна, по-видимому, — идеальное место для дальнейшего углубленного исследования и зондирования.

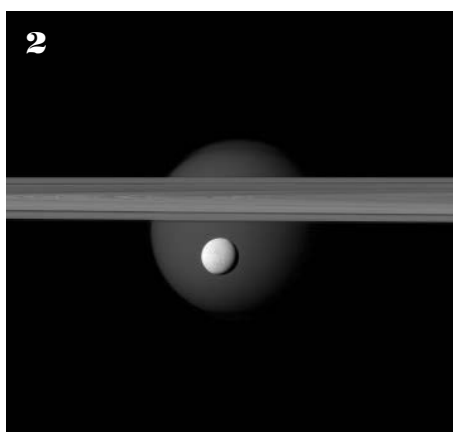
Зонд «Кассини» был международным проектом, проводимым под эгидой NASA и Европейского космического агентства, и во всех отношениях стал значительным прогрессом по сравнению с «Вояджером». Размером со школьный автобус, аппарат был больше, чем «Вояджер» и оснащен самыми совершенными научными приборами из всех когда-либо выведенных во внешнюю область Солнечной системы. «Кассини» также нес на себе модуль «Гюйгенс» — аппарат обтекаемой

открытием «Кассини»: более 100 гейзеров, фонтанирующих из подземного океана на южном полюсе спутника Сатурна, Энцелада, который, вполне возможно, дал приют внеземным организмам. Целых 13 лет моей жизни прошли там, в отдаленных закоулках Солнечной системы. И вот теперь эта плодотворная научная экспедиция подошла к концу.

### Взгляд с близкого расстояния

Необходимость в детальном всестороннем изучении систе-

мы Сатурна стала ясна в начале 1980-х гг., после того как два космических зонда «Вояджер» совершили пролет вблизи планеты. Эти выдающиеся события стали прологом к истории исследований Сатурна человеком. Они придали планете объем и индивидуальные черты, но оставили за скобками вопросы, на которые требовались ответы. «Вояджер» обнаружил, что Сатурн — это планета со сложными внутренней структурой, атмосферой и магнитосферой. В его кольцах — огромном сияющем диске из ледяных глыб — экспедиция зафиксировала признаки тех же самых физических



формы диаметром 4 м с установленными на нем шестью научными приборами, который спустился на поверхность Титана.

Пересекши Солнечную систему, 30 июня 2004 г. «Кассини» без каких-либо происшествий вышел на орбиту вокруг Сатурна. Его траектория была спиралевидна и строго выверена, образовав за 13 лет скитаний вокруг Сатурна фигуру, похожую на раскрывающиеся лепестки розы. Чтобы получить возможность разглядеть во внутренней системе Сатурна как можно больше с близкого расстояния, изменялись размеры, наклонение

## 13 лет у Сатурна

В связи с истощением запаса топлива в середине сентября после 13 лет на орбите Сатурна космический аппарат «Кассини», согласно плану, нырнул в его атмосферу. За время своей экспедиции зонд передал беспрецедентное количество данных об этой тающей множестве секретов планете, а также о ее многочисленных спутниках и кольцах. Он обнаружил миры, где реки метана стекают в огромные озера, где гейзеры ледяных кристалликов из подледного океана извергаются в космическое пространство и где одна-единственная буря может пронестись над всей гигантской планетой. Здесь приведены некоторые наиболее важные результаты.

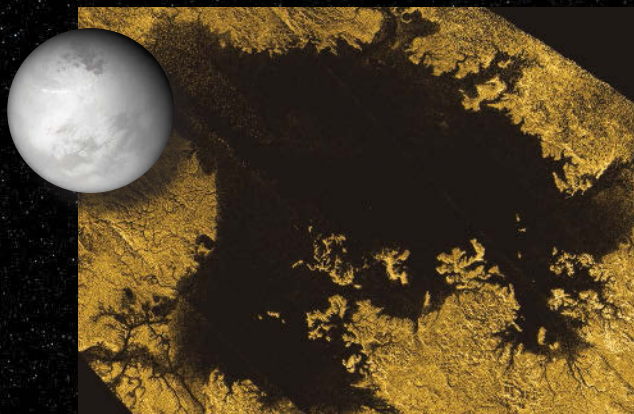
Эдвард Белл (Edward Bell)

### СПУТНИКИ



#### ЭНЦЕЛАД

На этом спутнике «Кассини» обнаружил гигантские гейзеры, извергающиеся в южной приполярной области. Так их изобразил художник. Имеющиеся данные дают основания предполагать, что их источник — находящийся под поверхностью глобальный водный океан, который содержит органические соединения и, возможно, способен поддерживать жизнь.



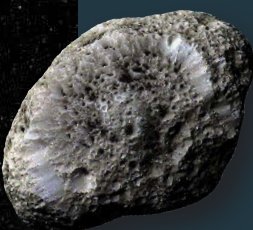
#### ТИТАН

Этот самый большой спутник Сатурна — единственное место в нашей Солнечной системе кроме Земли, на поверхности которого разведаны резервуары стабильной жидкости. На Титане происходит множество геологических и атмосферных процессов, аналогичных тем, что идут на нашей планете, в том числе дожди из метана, которые вызывают образование речных русел, а также озер и морей, заполненных жидким метаном и этаном. Одно из таких морей показано здесь на изображении в условных цветах, полученном с помощью радара зонда «Кассини».



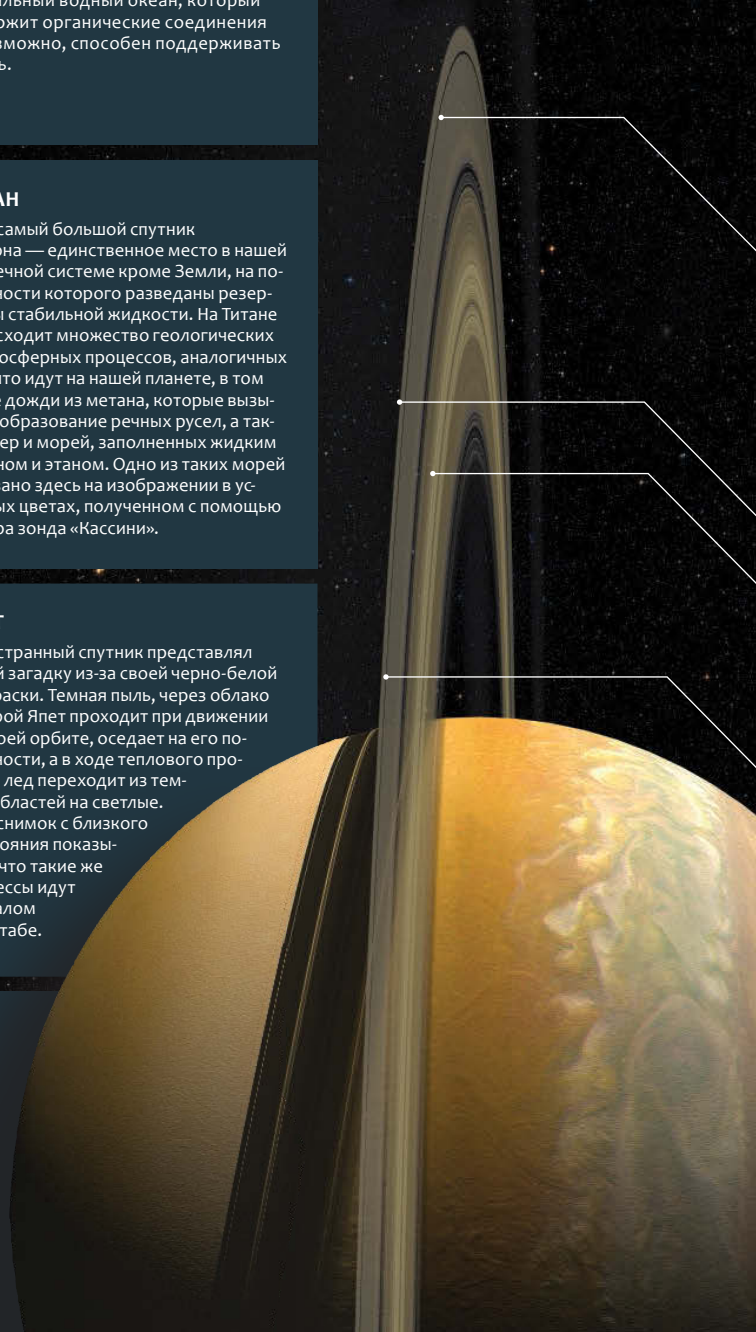
#### ЯПЕТ

Этот странный спутник представлял собой загадку из-за своей черно-белой раскраски. Темная пыль, через облако которой Япет проходит при движении по своей орбите, оседает на его поверхности, а в ходе теплового процесса лед переходит из темных областей на светлые. Этот снимок с близкого расстояния показывает, что такие же процессы идут и в малом масштабе.



#### ГИПЕРИОН

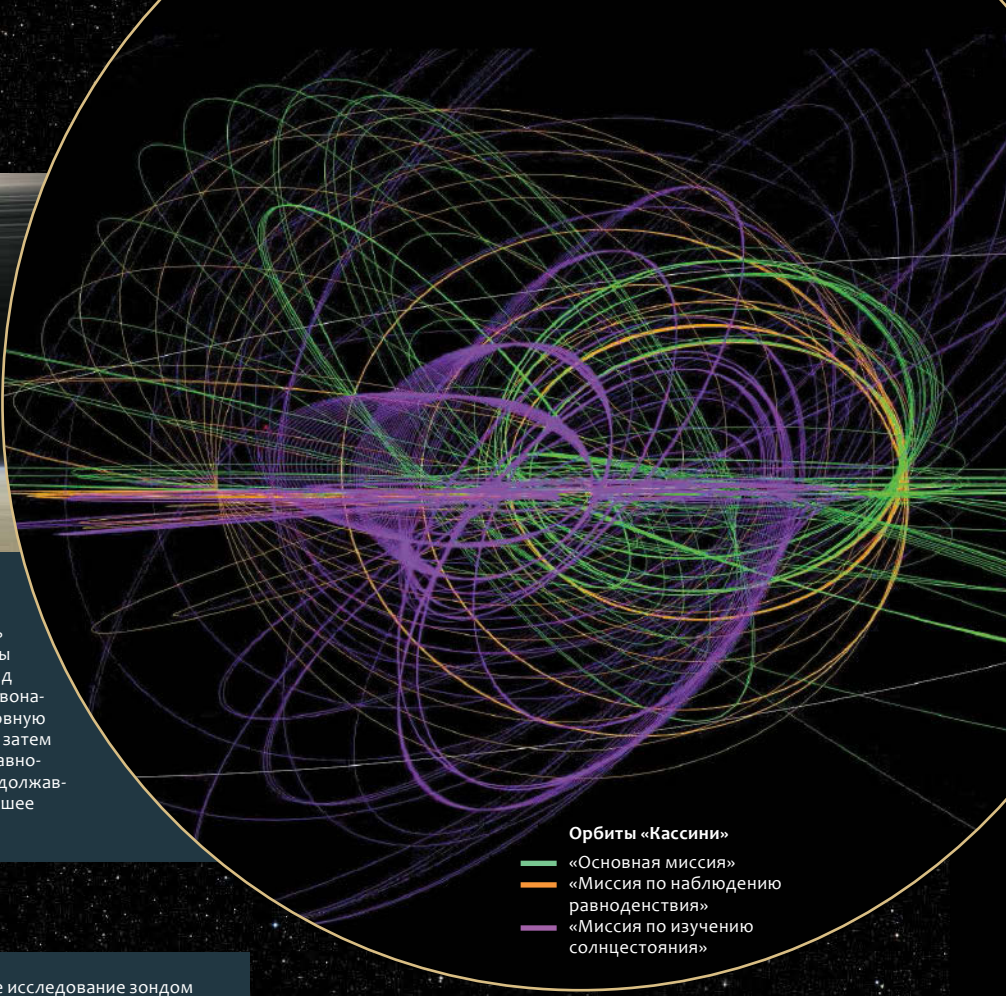
Как выяснил «Кассини», этот по форме напоминающий гамбургер спутник испещрен «оспинами», словно губка. Ученые полагают, что необычайно низкая плотность его вещества приводит к тому, что при столкновении космическое тело проделывает в нем вмятину, а не выбрасывает вещество наружу.



## КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ



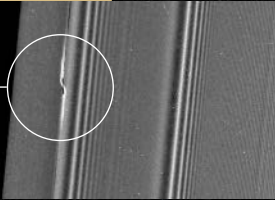
С тех пор как 30 июня 2004 г. «Кассини» обогнул в окрестностях Сатурна, его 293 оборота вокруг кольцевой планеты изменялись по размеру, ориентации и углу наклона, чтобы обеспечить как панорамный, так и близкий взгляд на многие объекты в системе Сатурна. Свою первоначально запланированную четырехлетнюю «Основную миссию» космический зонд завершил в 2004 г., а затем началась двухлетняя «Миссия по наблюдению равноденствия», за которой последовало второе, продолжавшееся семь лет, продление экспедиции, получившее название «Миссия по изучению солнцестояния».



### Орбиты «Кассини»

- «Основная миссия»
- «Миссия по наблюдению равноденствия»
- «Миссия по изучению солнцестояния»

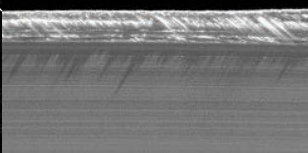
## КОЛЬЦА



Тщательное исследование зондом «Кассини» колец Сатурна выявило, что структуры в форме пропеллера напоминающие показанной — это дислокации, образованные гравитационным полем спутников слишком маленьких, чтобы полностью очистить область.



Крошечный спутник Дафнис, видимый как небольшая точка в щели Килера кольца А, при своем прохождении вызывает волны на краях кольца.



Огромная стена из обломков кольца возвышается вертикально на высоту в 3,5 км от кольца В Сатурна и простирается по крайней мере на 20 тыс. км вдоль.

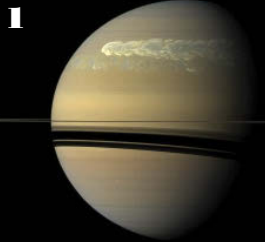


Пан, спутник диаметром всего 28 км в щели Энке, получил свою мультяшную форму за счет падающего на него вещества кольца.

## АТМОСФЕРА

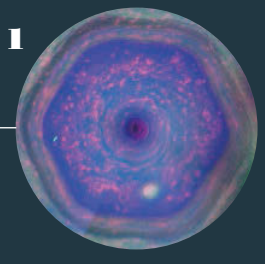
### ГИГАНТСКИЙ УРАГАН

В 2010 г. атмосфера Сатурна изверглась колоссальным ураганом, который начал распространяться по всей планете (1). За несколько месяцев этот ураган разросся настолько, что охватил всю планету и в конце концов соединился сам с собой. «Кассини» в условных цветах запечатлел детали различных слоев грозового облака (2).



### ПОЛЯРНЫЙ ВИХРЬ

Воронка облаков у северного полюса образует загадочный шестиугольник (1) с неистовствующим ураганом в его центре (2). Измеренный «Кассини» диаметр вихря в его центре составляет умопомрачительные 2 тыс. км.



RON MILLER ( Enceladus surface illustration );  
NASA, JPL-CALTECH, ASI AND CORNELL ( Titan surface );  
COURTESY OF NASA, JPL-CALTECH AND SPACE SCIENCE INSTITUTE  
(all other photographs); EDWARD BELL ( Saturn vertical composite )

и ориентация его орбиты. Мы могли позволить себе роскошь так корректировать орбиту, чтобы, нырнув еще раз (а в некоторых случаях и несколько), снова взглянуть на то, что мы только что открыли.

Длительное время нахождения «Кассини» у Сатурна также было критически важным для успеха нашей работы. Продолжительное наблюдение — единственный способ запечатлеть непредсказуемые явления, такие как столкновения метеорных тел с кольцами Сатурна. Более того, медленная постоянная миграция орбит сатурнианских спутников вместе с изменениями атмосферы, возникающими из-за больших сезонных изменений в освещенности Солнцем, требовали от нас получения данных наблюдений за как можно больший промежуток времени. Запланированный срок экспедиции «Кассини» должен был составить четыре года, и ее завершение намечалось на 30 июня 2008 г. Однако ставший явным к тому времени ее оглушительный триумф, а также естественное желание сохранить работоспособность столь эффективного аппарата помогли нам отстоять свою точку зрения о необходимости продолжить экспедицию «Кассини». Наши аргументы оказались убедительными, мы получили согласие и ряд дополнительных гарантий, что, в частности, позволило нам в августе 2009 г. стать свидетелями редких условий освещенности в период сатурнианского равноденствия, когда солнечные лучи, падая на кольца Сатурна под малым углом, выявляют вертикальные структуры, выступающие над плоскостью кольца и отбрасывающие длинные легко различимые тени.

В итоге работа «Кассини» на орбите с момента ее начала продолжалась почти половину сатурнианского года (или 13 земных лет и два с половиной месяца). Мы прибыли чуть позже пика лета в южном полушарии планеты, а закончится экспедиция на пике ее лета в северном. Такие временные рамки дали нам возможность провести наблюдения в течение почти полного годового цикла: мы наблюдали переход от лета к зиме в южных полушариях Сатурна и Титана и от зимы к лету в их северных полушариях. Это было чем-то вроде мошенничества в космических масштабах, тем не менее оно сработало.

### Спутники

До начала космического века ученые считали, что спутники планет внешней области Солнечной системы — не что иное, как ничем не примечательные, мертвые в геологическом отношении глыбы льда. «Вояджер» показал, что такое предположение в корне ошибочно; задачей «Кассини» было провести тщательное исследование армии спутников Сатурна и дать нам представление об их истории. В ряде случаев история эта оказалась весьма примечательной.



**Кольца Сатурна** состоят из бесчисленного множества ледяных частиц, некоторые величиной с дом и прорежены узкими щелями, возникшими из-за гравитационного притяжения спутников

Взять, например, Япет. Причина его двухцветной раскраски — одно полушарие белое как снег, а другое черное как сажа — долгое время оставалась загадкой. Из фотографий с высоким разрешением, сделанных «Кассини», мы узнали, что даже в небольших масштабах этот спутник — пестрая мозаика из темных и светлых участков. Фото- и тепловизионные камеры «Кассини» совместно показали нам, почему это так. И различия в цвете полушарий, и локальные пестрые участки образованы быстро разрастающимся тепловым процессом, обнаруженным только на медленно вращающемся Япете. Области, которые изначально были темными, нагреваются до такой степени, что происходит сублимация льда, и таким образом они становятся все темнее и горячее, области же, которые изначально были светлыми, — холоднее, и на них конденсируются пары, образовавшиеся в результате сублимации. С течением времени весь лед из темной области испаряется и аккумулируется вновь в светлых областях. Но почему в этом процессе участвует все полушарие? Двигаясь по своей орбите вокруг Сатурна, Япет стремительно пронесется сквозь облако темного мелкодисперсного вещества, занесенного сюда с Фебы, одного из удаленных нерегулярных спутников (*Феба обращается в противоположном направлении по сильно вытянутой наклонной орбите.* — Примеч. пер.). Это облако окрашивает в черный цвет все расположенное впереди по ходу движения полушарие, делая его более теплым и свободным ото льда. Загадка разгадана.

Другой замечательный спутник — Титан. Камеры «Кассини», снимающие в видимом свете и ближнем инфракрасном диапазоне, а также его радар смогли пробиться сквозь дымку Титана. И, конечно же, это сделал зонд «Гюйгенс», сев в начале 2005 г. на поверхность Титана, когда в течение двух с половиной часов он проводил панорамное фотографирование и измерения состава атмосферы, ее прозрачности, силы ветра и температуры, прежде чем прекратил работу на поверхности сатурнианского спутника. В целом «Кассини» обнаружил на Титане самый настоящий мир из научно-фантастических фильмов, где детали пейзажа — формы рельефа и облака — легко узнаваемы, но состоят из непривычного вещества, где внешний облик местности знаком, но ощущения совсем иные.

Мы обнаружили, что на Титане есть озера и моря, но не воды, а жидкого метана. На южном полюсе этого спутника камера высокого разрешения зонда «Кассини» разглядела такого рода резервуар размером с озеро Онтарио (посему получившее латинское название *Ontario Lacus* — «озеро Онтарио») в области, где много аналогичных «водоемов» меньших размеров. Другой измерительный прибор зонда «Кассини» подтвердил затем, что *Ontario Lacus* действительно заполнено жидким метаном. С тех пор мы обнаружили множество вместилищ жидкого метана различного размера. По ряду причин расположены они главным образом в высоких северных широтах. Наблюдения с помощью радара выявили крутые скалистые береговые линии, которые напоминают побережья залива Мэн. В отличие от этого экваториальные равнины там, где совершил посадку зонд «Гюйгенс», сухие и покрыты дюнами, простирающимися на большие пространства, перемежаемые то тут, то там возвышенностями по всему периметру Титана.

Открытие морей и озер жидкой органики на поверхности Титана, естественно, породило предположения о возможности существования там жизни. Но температура поверхности на Титане чрезвычайно низкая:  $-180^{\circ}\text{C}$ . При таких низких температурах было бы странно обнаружить там химические реакции, аналогичные тем, что, как мы полагаем, необходимы для биохимических реакций, в основе которых — водные растворы. Но обнаружив мы действительно инопланетные биохимические процессы, успешно развивающиеся в среде метана, это было бы грандиозным открытием.

Хотя, с моей точки зрения, величайшее открытие, сделанное «Кассини», — это, безо всякого сомнения, Энцелад, покрытый льдом спутник размером в десять раз меньше Титана. «Вояджер» обнаружил там огромные, удивительно ровные пространства, которые говорят о прошлом,

характеризующемся значительной внутренней активностью, а возможно даже о наличии там слоя жидкой воды, похороненного под его ледяной скорлупой, — и то и другое на спутнике, кажущемся слишком маленьким для существования на нем подобного рода физических явлений.

Первый намек на существование какой-либо активности на Энцеладе был получен в самом начале экспедиции, в январе 2005 г., когда мы обнаружили шлейф ледяных частиц, вырывающийся в районе южного полюса. Наши фотографии были незамедлительно представлены общественности, и все, кто наблюдал за экспедицией «Кассини» в интернете, затрепетали от восторга. Вскоре после этого другие приборы «Кассини» подтвердили, что шлейф действительно существует. Операторы, управляющие зондом «Кассини», быстро среагировали, изменив траекторию, чтобы взглянуть на Энцелад с более близкого расстояния. Нас поразило уже то, что мы узнали об Энцеладе в течение той первой части экспедиции, но только после 2008 г., когда мы получили благословение NASA на продолжение работы, мы смогли уделить значительное время и ресурсы на исследование этого интереснейшего объекта.

Энцелад, как мы теперь знаем, — это спутник, который сплюсчивается и растягивается гравитационными приливными силами Сатурна. Эта приливная энергия генерирует более чем достаточно внутреннего тепла, чтобы образовать глобальный океан из воды глубиной, возможно, в 50 км, похороненный под внешней оболочкой изо льда толщиной в несколько километров. Более 100 гейзеров бьют струями из четырех больших трещин в районе южного полюса, образуя шлейф из крошечных частиц льда и пара, который поднимается на несколько сотен километров над поверхностью. Большая часть твердых частиц этого шлейфа падает назад, на поверхность, но некоторое их количество улетает прочь и образует размытое, но большое кольцо *E*.

«Кассини» сумел пролететь через этот шлейф десятки раз и провести анализ его материала. Мы выяснили, что частицы, которые мы видим на наших снимках и которые еще за несколько часов до того были капельками океана, несут в себе следы больших органических молекул и соединений, что указывает на гидротермальную активность, схожую с той, что наблюдается в глубоководных гейзерах на дне земных океанов. Они обнаруживают также сравнимую с земной минерализацию воды. Пар, которые сопровождает эти частицы, — большей частью просто вода, но он содержит и следы простых органических соединений, а также двуокись углерода и аммиак — все ингредиенты, важные для поддержания и даже зарождения жизни.

Результаты экспедиции «Кассини» ясно свидетельствуют о существовании под поверхностью Энцелада среды, которая могла бы поддерживать

биологическую активность. И теперь мы должны дать четкий ответ на пробирающий до мурашек на коже вопрос: а не стала ли эта малая ледяная планета вторым очагом рождения жизни в нашей Солнечной системе? Не могут ли в ее шлейфе быть признаки существования жизни? Может быть, микробы как снег падают на ее поверхность? Ни одно из других небесных тел так наглядно не демонстрирует все характеристики, которые, согласно нашим представлениям, необходимы для существования жизни. В настоящее время это самое многообещающее, самое доступное место в Солнечной системе для поиска жизни. И некоторые из нас настолько увлечены такой возможностью, что мы замысливаем возвращаемую экспедицию на Энцелад, чтобы выяснить это.

### Кольца

Безусловно, именно кольца делают Сатурн таким изумительно зрелищным, и выяснение сложного механизма их функционирования было основной целью проекта «Кассини». Они представляют собой естественное конечное состояние коллапса вращающегося облака обломков, и как таковые дают самый близкий аналог диска из космических валунов, который обеспечил строительный материал для нашей Солнечной системы. Они также служат моделью дозвездных дисков, из которых рождались новые солнечные системы и даже миллиарды похожих на детские вертушки скоплений пыли и газа, которые мы называем спиральными галактиками. Из всего, что можно было изучать возле Сатурна, кольца представляли самый большой научный интерес.

Благодаря выполненным «Кассини» измерениям мы пришли к пониманию происхождения большей части структур в кольцах Сатурна. В определенных местах мы обнаружили, что влияние гравитации некоторых спутников на удаленных орбитах нарушает орбиты частиц кольца, создавая острые края или волновые возмущения, которые распространяются спиралеобразно. В других случаях, там, где спутники встроены в кольца, гравитация собрала частицы в красивейшие структуры. Например, Пан, спутник диаметром примерно 30 км, расположенный внутри деления (или, как еще говорят, щели) Энке внешнего кольца А, сотворил именно это с частицами в своей окрестности; в свою очередь падающее на планету вещество кольца изменило форму Пана, в результате этот спутник выглядит так, как будто одет в балетную пачку.

В областях колец там, где плотность частиц особенно высока, мы обнаружили распространяющиеся в диске самовозбуждающиеся волны с длиной волны от 100 м до сотен километров. Эти волны могут отражаться от резких неоднородностей в частицах и интерферировать сами с собой и друг

с другом, формируя хаотически выглядящий рельеф. И наши представления о структуре колец теперь включают приятное подтверждение гипотезы, которую Марк Марли (Mark Marley), в настоящее время работающий в Исследовательском центре им. Эймса NASA, и я выдвинули в 1983 г.: что акустические колебания внутри тела Сатурна, возможно, также формируют и рельеф колец. Таким образом, кольца Сатурна ведут себя как сейсмограф.

Самые потрясающие сюрпризы кольца «Кассини» обнаружил незадолго до, во время и сразу же после равноденствия в августе 2009 г. По резкому краю внешнего и самого массивного кольца В мы обнаружили невероятную непрерывную нитку остроконечных теней длиной 20 тыс. км, выдающую наличие «кольцевых гор» — вереницы обломков, выступающих на 3 км над плоскостью кольца. Вероятно, эти образования возникли в результате очень сильного сжатия вещества кольца при прохождении около небольших мини-спутников, которые вошли в резонанс на краю кольца наподобие того, как нахлынувшая волна разбивается, налетая на поверхность отвесной скалы у береговой линии.

Еще одно открытие: мы увидели очень слабую слегка закрученную в спираль структуру, простирающуюся без разрывов на 19 тыс. км поперек внутренних колец С и D. В результате тщательного исследования, проведенного Мэттом Хедманом (Matt Hedman), в настоящее время работающим в Университете Айдахо, с коллегами, было обнаружено, что столкновение остатков кометы с внутренними кольцами, произошедшее в 1983 г., вытолкнуло все частицы кольца в районе столкновения на наклонные орбиты; эти орбиты испытывают прецессию, как волчок, причем внутренние прецессируют быстрее, чем внешние. С тех пор это возмущение закрутилось еще плотнее, образовав в кольцах структуру в виде спиральной складки высотой в 3 м. Во время пролета «Вояджеров» этой структуры еще не было. Солнечная система, как мы видим, — это удивительный динамический феномен, и в своих несметных и изменчивых формах кольца Сатурна демонстрируют наглядный урок универсальности, масштабируемости и бесконечной сложности гравитации. Ни один художник не смог бы нарисовать ничего подобного.

### Атмосфера

«Кассини» в мельчайших подробностях исследовал также состав и динамику атмосферы Сатурна, открыв в идущих в ней процессах ряд неожиданных черт. Его научные приборы смогли исследовать атмосферу Сатурна в широком диапазоне высот, выявив картину ее глобальной циркуляции, состав и вертикальную структуру. Атмосфера разделена на широкие полосы, как и у Юпитера, хотя полосы

эти у Сатурна менее заметны снаружи из-за толстого слоя дымки, лежащего над верхней кромкой настилы из аммиачных облаков. Когда «Кассини» проводил зондирование ниже дымки и в тропосфере, он обнаружил, что ширина полос на Сатурне меняется в зависимости от широты: более узкие — темнее и сопутствуют быстрым струйным течениям, а более широкие, как правило, более светлые и связаны со струями, которые более медленны, а возможно и неподвижны относительно общего вращения планеты. В целом атмосфера Сатурна, по-видимому, довольно статична. Как показал «Кассини», даже удивительное струйное течение в форме шестиугольника над северным полюсом мало изменилось с тех пор, как его впервые заметил «Вояджер». Мы начинаем понимать, что стабильность — общая черта крупноразмерных атмосферных систем на гигантских планетах: если нет твердой поверхности, расположенной под газовой оболочкой, нет и трения, вызывающего ослабление атмосферных потоков. Начавшись, они не затухают долгое время.

Однако мы были очень рады обнаружить, что атмосфера Сатурна все же подвержена сезонным изменениям. Когда «Кассини» только-только прибыл к месту назначения, зимой в северном полушарии над облаками планета устроила совершенно неожиданное представление: она была голубой! Поскольку пролет обоих «Вояджеров» происходил в период, близкий к равноденствию, и они не прислали фотографий с зимними пейзажами, такая экстремальная раскраска оказалась большой неожиданностью. Наиболее правдоподобное объяснение состоит в том, что более слабый поток ультрафиолетового излучения в течение зимнего периода, а также эффект блокирования Солнца кольцами зимнего полушария замедляет образование слоя дымки. Прозрачная атмосфера создает более благоприятные условия для рэлеевского рассеяния, явления, которое делает голубой нашу собственную атмосферу, а метан в атмосфере сильнее поглощает красное излучение Солнца. Великолепная полоска лазури, которая окрашивает северное полушарие на наших фотографиях Сатурна, на самом деле — полоска атмосферы Нептуна, спроецированная на атмосферу Сатурна. Кто бы мог подумать?

Одно из характерных свойств Сатурна, которое было известно уже 100 лет, — то, что раз в несколько десятилетий там случаются вспышки колоссальных бурь. Поэтому мы были безумно рады, когда в конце 2010 г. увидели зарождение одной из таких бурь. На протяжении примерно 270 дней мы наблюдали, как это громахающее, извергающее молнии чудовище возникло сначала в виде небольшого возмущения в атмосфере северного полушария, а затем увеличивалось в размерах, разрасталось на всю планету, пока его хвост

не столкнулся с головой, и в конце концов постепенно затухло. Это было еще одно явление, свидетелем которого до того не был ни один космический аппарат. Мы подозреваем, что вода, компонент самого глубокого облачного яруса, может сдерживать конвекцию в более легкой атмосфере водорода на протяжении десятилетий до тех пор, пока выталкивающая сила в конце концов не победит, и в результате происходит большой конвекционный всплеск.

### Топограф планет

Со времени своего возникновения в 1990 г. до эффектного завершения в сентябре этого года проект «Кассини» был одним из основных компонентов — и необычайно успешным — проводящихся человечеством на протяжении шести десятилетий исследований того, что находится вне нашей родной планеты. Его историческая экспедиция к Сатурну показала нам замысловатые детали функционирования необычайно притягательной и удивительно чуждой нам планетной системы. Он расширил наши представления о силах, сотворивших в том виде, в котором они существуют в настоящее время, Сатурн и его окружение, нашу Солнечную систему и, беря еще шире, разбросанные по всему космосу другие звездные и планетные системы.

Маловероятно, что мы уже вскоре увидим, как экспедиция столь же масштабная, как «Кассини», вернется к Сатурну. Чтобы стать частью этого потрясающего воображение приключения, нужно было прожить требующую значительных усилий, но приносящую внутреннее удовлетворение жизнь исследователя нашего времени, топографа далеких планет. На этом я заканчиваю свой рассказ, с удовлетворением осознавая, что история «Кассини» — одна из тех вех, что будет вдохновлять человечество в течение еще очень долгого времени. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Порко К. Беспокойный Энцелад // ВМН, № 3, 2009.
- Saturn's Curiously Corrugated C Ring. M.M. Hedman et al. in Science, Vol. 332, pages 708–711; May 6, 2011.
- Enceladus's Measured Physical Libration Requires a Global Subsurface Ocean. P.C. Thomas et al. in Icarus, Vol. 264, pages 37–47; January 15, 2016.
- Could It Be Snowing Microbes on Enceladus? Assessing Conditions in Its Plume and Implications for Future Missions. Carolyn C. Porco et al. in Astrobiology. Опубликовано онлайн 11.08.2017.