

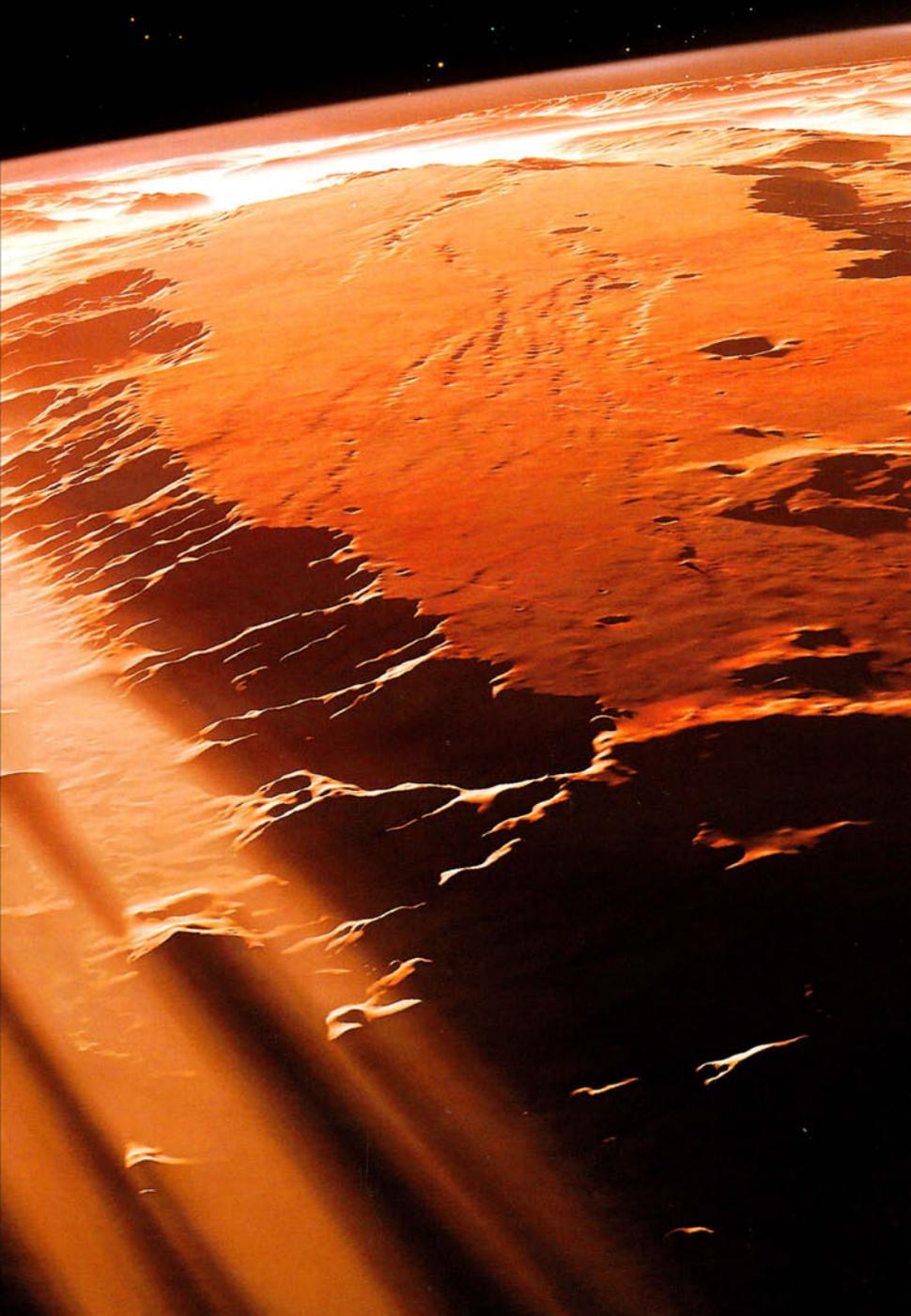
ГЕОРГИЙ БУРБА, кандидат географических наук | ФОТО SPL/EAST NEWS

# Волнения небесной

...Они обычно являются без предупреждения, застигая свои жертвы врасплох, они безжалостны и коварны, их ярость внушает ужас всему живому, их удары сотрясают саму земную твердь, на их счету тысячи человеческих жизней. Землетрясения от самого сотворения мира наводят страх на людей, которые в своем стремлении обуздать или хотя бы предупредить стихию обращались сначала к богам, затем к ученым, но — так и не смогли одержать верх в этой бесконечной борьбе. После десятилетий сейсмических работ на Земле многие исследователи в надежде получить новые сведения о механизме землетрясений устремили свои взоры к небу...



# Тверди



Заходящее Солнце освещает рифтовые долины Маринера на Марсе — огромную систему тектонических каньонов глубиной до 7 км. Их образование было связано с крупными расколами и сотрясениями марсианской коры

**Х**отя в понимании того, что приводит к возникновению землетрясений и по каким законам они развиваются, имеется определенная ясность, точный, надежный прогноз этого стихийного бедствия по-прежнему остается мечтой миллионов людей в самых разных странах мира, находящихся в сейсмоопасных районах. Рождение новой науки — сравнительной планетологии — открыло совершенно новые перспективы для сейсмологии. Быть может, хотя бы часть вопросов, связанных с исследованием землетрясений, удастся решить, изучая другие планеты Солнечной системы, сопоставляя полученные на них данные с тем, что мы наблюдаем на Земле. Наибольшие надежды при этом ученые возлагают на планеты земной группы — Марс, Венеру, Меркурий, а также на земной спутник — Луну.

## ЛУННАЯ ЛИХОРАДКА

Сейсмические исследования Луны начались с курьеза. В самом конце первой экспедиции человека на Луну астронавты Нейл Армстронг и Эдвин Олдрин, удалившись на 20 м к югу от лунного корабля, установили сейсмометр — один из двух научных приборов, которые они оставляли на Луне (вторым был кварцевый отражатель для лазерной локации с Земли). Астронавтам следовало очень тщательно установить этот прибор, сориентировав его по сторонам света и по вертикали, поскольку потом уже никто не смог бы подойти к нему, чтобы исправить возможную неполадку. Наблюдения с помощью этого сейсмометра должны были показать, есть ли на Луне современная тектоническая активность, или же это геологически мертвое небесное тело. Как только сейсмометр был установлен, его сразу же включили по команде из Центра управления полетом на Земле. Присутствовавшие в зале Центра управления в предместье тexasского города Хьюстона с удивлением увидели, что прибор сразу же начал сообщать о лунотрясениях. Они происходили непрерывно, в виде целой серии последовательных толчков. Однако вскоре стало ясно, что это не было результатом беспокойства лунных недр — поверхность нашего спутника сотрясали шаги двух астронавтов, удалявшихся от сейсмометра к своему космическому кораблю. Прибор был настолько чувствительным, что мог зафиксировать падение на лунную поверхность камня размером с горошину на расстоянии в 1 км от места расположения сейсмометра. ▶

Впоследствии этот сейсмометр сообщил о многочисленных сотрясениях внутри Луны, развеяв тем самым представление о том, что геологическая активность на спутнике давно прекратилась. Оказалось, что сейсмические сотрясения происходят на Луне регулярно, однако они сильно отличаются от землетрясений на нашей планете. Впоследствии на лунной поверхности были оставлены еще четыре сейсмометра. Многолетние наблюдения с их помощью позволили зарегистрировать тысячи лунотрясений, большинство из которых многократно повторялись в одних и тех же очагах. За год на Луне происходит от 600 до 3 000 сейсмических событий. Было выявлено четыре вида лунотрясений — приливные, тектонические, метеоритные и термальные. Приливные сотрясения Луны случаются дважды в месяц, каждые две недели, когда Лу-

на оказывается на одной прямой с Землей и Солнцем, то есть во время полнолуний и новолуний. В эти периоды усиливается действие на Луну приливных сил Земли и Солнца. При расположении этих трех небесных тел на одной линии силы их взаимного влияния друг на друга суммируются, что приводит к возникновению на Луне лунотрясений на глубине 800—1 000 км.

Тектонические лунотрясения происходят при подвижках в неглубоких слоях Луны (100—300 км). Они случаются реже, чем приливные, и сила их намного слабее. Источником метеоритных лунотрясений — взрывы, возникающие во время падений на поверхность Луны метеоритов. Большинство лунотрясений этого типа происходит, когда орбиту Луны пересекает какой-либо из метеорных потоков. Но могут быть и падения одиночных метеоритов. Термальные лу-

нотрясения, самые слабые из всех, начинаются с восходом Солнца, когда после продолжительной ночи, длящейся на Луне около 14 земных суток, холодная поверхность начинает резко нагреваться. При этом происходят подвижки грунта на крутых склонах, оползни, осыпи и другие смещения верхнего слоя, приводящие к небольшим содроганиям поверхности Луны.

Наблюдения, проводившиеся с 1969 по 1978 год, показали, что Луна очень «звучащая» — она продолжает вибрировать после лунотрясений целый час, а иногда и дольше. Такие сотрясения резко отличаются от земных, где колебания поверхности длятся лишь несколько минут. Отсутствие на Луне воды — главная причина длительности колебаний. Наличие в горных породах воды служит на Земле сильным амортизатором, гасящим вибрацию.

Астронавт Эдвин Олдрин проверяет точность расположения солнечных батарей первого лунного сейсмометра, только что установленного на равнине Моря Спокойствия в 20 метрах к югу от посадочной кабины корабля «Аполлон-11». Фото сделано 21 июля 1969 года первым человеком, ступившим на Луну, — Нейлом Армстронгом



Колебания Луны при сейсмических событиях — слабые и длительные — напоминают тихий протяжный вой, в отличие от сильных, но недолгих колебаний Земли, похожих на громкий резкий вскрик.

### НЕСИММЕТРИЧНАЯ ЛУНА

В результате проведенных исследований выяснилось, что наш естественный спутник оказался геологически асимметричным — почти все зарегистрированные сейсмометрами за 8 лет наблюдений лунотрясения произошли на видимой стороне Луны. На обратной же известно всего пять эпицентров лунотрясений, тогда как на видимой стороне их несколько десятков. Подобная же асимметрия наблюдается и в распределении по поверхности Луны основных типов рельефа — морей и материков. Практически все темные участки — лунные моря, находятся только на

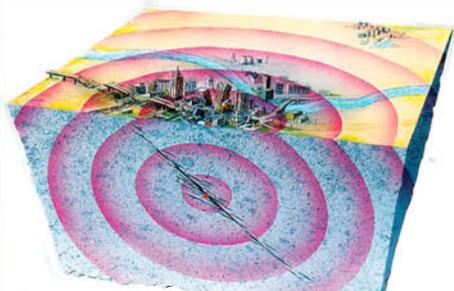
видимой стороне. Это равнины, сложенные темным материалом — базальтовыми лавами, подобными тем, что встречаются у нас на Среднесибирском плоскогорье. Светлые же участки, называемые лунным материком, занимают 2/3 видимой стороны Луны, а моря вкраплены в него отдельными небольшими по площади участками. Лунный материк более древний, чем моря, он сформировался 4,5 млрд. лет назад, а 3 млрд. лет назад наиболее низкие его участки были затоплены базальтами, излившимися из недр Луны. Вулканическая и сейсмическая активность Луны достигала своего пика 3 млрд. лет назад, когда происходили обширные лавовые излияния, создавшие темные базальтовые равнины лунных морей.

Энергия, выделяющаяся за год при лунотрясениях, в несколько миллиардов раз меньше той, которой облада-

### ФОНАРЬ ДЛЯ КАМЕННЫХ ГЛУБИН

Изучением землетрясений и причин, их порождающих, занимается сейсмология — наука, название которой происходит от греческого слова «сеймос», что значит «колебания». Один из основоположников сейсмологии, русский физик академик Б.Б. Голицын, еще в 1912 году образно заметил, что «всякое землетрясение можно уподобить фонарю, который зажигается на короткое время и освещает нам внутренности Земли, позволяя тем самым рассмотреть то, что там происходит». Действительно, почти все современные представления о внутреннем строении нашей планеты основаны на интерпретации сейсмограмм — записей сейсмических волн. Слагающие Землю горные породы обладают определенной эластичностью, но в местах тектонических разломов постепенно накапливаются напряжения, вызываемые действием сил сжатия или растяжения. Когда эти напряжения превышают предел прочности самих пород, происходит резкое смещение слоев в вертикальном или горизонтальном направлении. Обычно оно составляет лишь несколько сантиметров, но при этом выделяется огромная энергия — ведь в движении приходят массы в миллиарды тонн! Мгновенное перемещение масс по разрывам в глубине Земли приводит к возникновению сейсмических волн, вызывающих вибрацию горных пород и образование в них разломов.

От очага землетрясения (гипоцентра) сейсмические волны расходятся во все стороны и вызывают сильные колебания поверхности вблизи эпицентра — точки на поверхности планеты, расположенной прямо над очагом. По мере удаления от эпицентра эти колебания затухают. Однако сейсмические волны могут достигать даже противоположной стороны планеты, пройдя через глубинные оболочки — мантию и ядро. Причем через жидкий, расплавленный материал ядра проходят только волны, называемые продольными, они вызывают сжатие и растяжение среды, через которую проходят. Их движение напоминает перемещение червяка, сжимающегося и растягивающегося вдоль продольной оси. Волны другого вида — поперечные — через расплав не проходят, а затухают на границе земного ядра. В этих волнах происходит колебание частиц горных пород перпендикулярно направлениям распространения волн. Такие колебания можно сравнить с движением змеи, извивающейся по поверхности поперек направления движения.

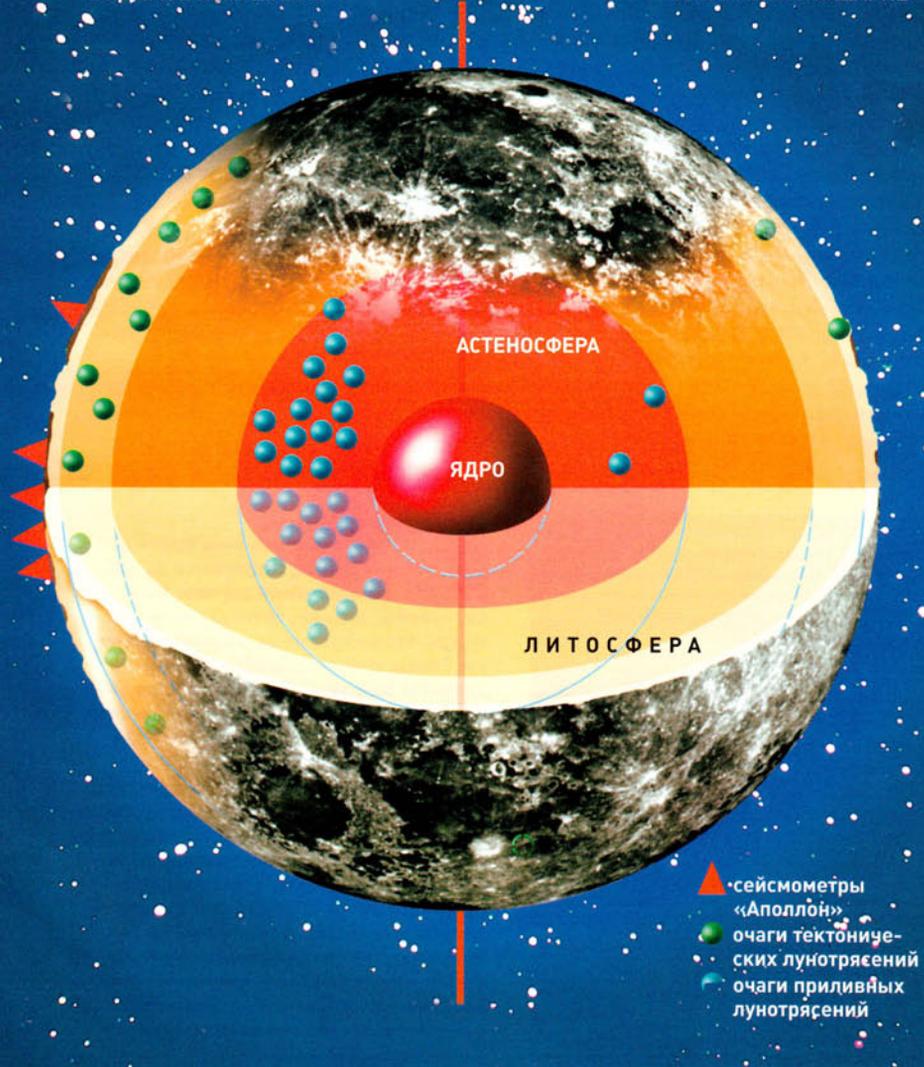


Землетрясение в разрезе. Смещение масс по разрывам в глубине Земли создает сейсмические волны, вызывающие вибрацию горных пород

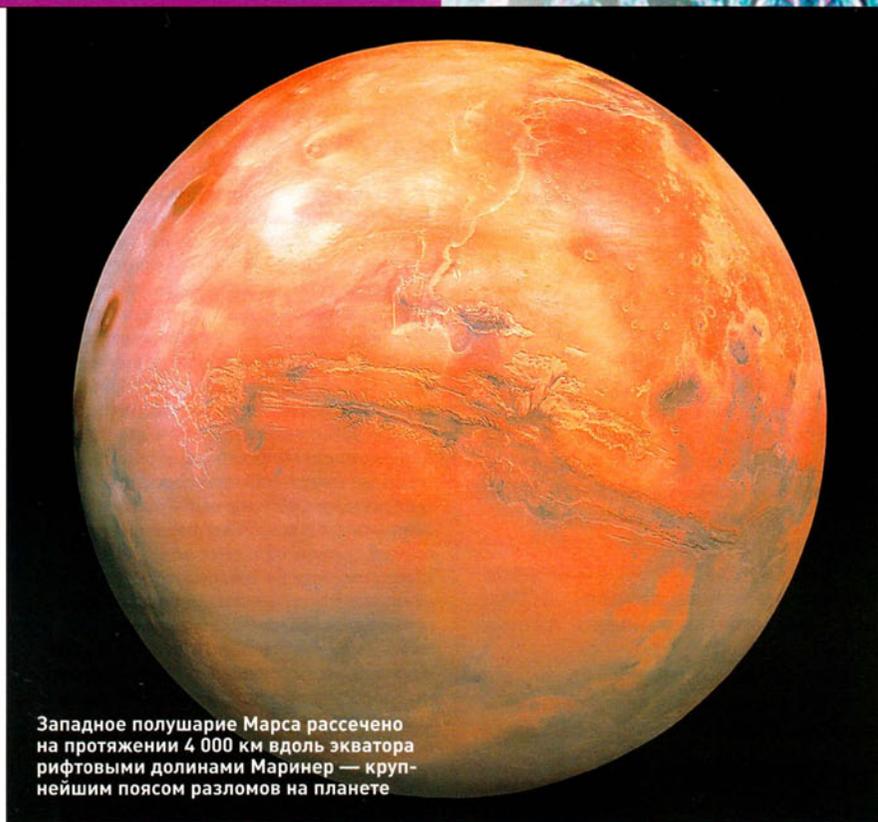
### ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЛУНЫ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

ВИДИМОЕ ПОЛУШАРИЕ

ОБРАТНОЕ ПОЛУШАРИЕ



ГЕОРГИЙ БУРБАКИЛЛЮСТРАЦИЯ ЮРИЯ ЮРОВА



Западное полушарие Марса рассечено на протяжении 4 000 км вдоль экватора рифтовыми долинами Маринер — крупнейшим поясом разломов на планете

Гигантские вулканы на плато Фарсида на Марсе. Их диаметр 300 км, а высота 15 км. Лавы этих вулканов, покрывающие обширную область планеты, разбиты сетью разломов (справа внизу), идущих от долин Маринер

ют землетрясения. Большая часть этой энергии выделяется на глубинах 600—800 км, то есть у подошвы твердой оболочки Луны — литосферы. Глубже этого слоя вещество находится в частично расплавленном состоянии (астеносфера), а в самом центре Луны может иметься полностью расплавленное небольшое ядро из сернистого железа.

Основными причинами сейсмической активности Луны являются приливное воздействие Земли и падения крупных метеоритов. Метеоритные лунотрясения могут приводить к обрушениям склонов лунных кратеров до тех пор, пока те не станут достаточно пологими, чтобы на них не образовывались оползни.

На Луне очень малы потери энергии упругих волн, поэтому сотрясения ощущаются на очень больших удалениях от эпицентра сейсмического события. При этом на Луне амплитуда колебаний намного меньше, чем на Земле. Человек, стоящий на поверхности Луны, даже и не ощутит, что грунт под ним колеблется. А вот вторичные эффекты лунной сейсмической активности могут служить источником опасности для находящихся на Луне людей или приборов. Слабое затухание сейсмических волн может приводить к тому, что на обширных площадях и на больших удалениях от эпицентра возникнут обрушения склонов кратеров или оползни в

горных местностях. Астронавты «Аполлона-17» — последней экспедиции на Луну, состоявшейся в 1972 году, — исследовали оползень, образование которого связывают с метеоритным ударом, создавшим 100 млн. лет назад кратер Тихо, расположенный в 2 000 км от места работы экспедиции.

Однако вероятность крупных сейсмических событий очень мала. Такие лунотрясения случаются лишь при падениях крупных метеоритов, что происходит чрезвычайно редко.

## МОЛЧАНИЕ МАРСИАНСКИХ НЕДР

Марс стал вторым после Луны небесным телом, на котором были устано-



Следы сильнейшего сотрясения на Фобосе, спутнике Марса, — узкие длинные борозды-каньоны, расходящиеся радиально от кратера Стикни

## ТРАГЕДИЯ ФОБОСА

Если Луна, довольно-таки крупный спутник Земли, сотрясается до сих пор, то крошечный спутник Марса — Фобос, похоже, потрянуло один раз, но так, что он чуть не развалился на куски. Следы этой катастрофы — узкие длинные борозды-каньоны, расходящиеся во все стороны по радиусам от кратера Стикни и сходящиеся на противоположной стороне Фобоса, в области, антиподальной этому кратеру. Это выглядит как глобус, на котором вычертили сетку меридианов, но забыли добавить к ним сетку параллелей. Такие протяженные трещины возникли, когда с Фобосом столкнулся огромный метеорит, при взрыве которого и образовался кратер Стикни диаметром 10 км. Диаметр самого Фобоса всего лишь 23 км, поэтому при столкновении произошло сильнейшее сотрясение всего Фобоса, от которого он едва не раскололся на части.

NASA



влены сейсмометры. Произошло это в 1976 году, когда на Красную планету опустились две автоматические станции «Викинг». То, что на Марсе, который примерно вдвое больше Луны, должны происходить землетрясения, у планетологов не вызывало сомнений. Ведь за несколько лет до этого было обнаружено, что сотрясения регулярно подвержена Луна, которую ранее считали геологически неактивной. Не подвергалось сомнению и то, что сотрясения коры Марса смогут зафиксировать сейсмометры двух «Викингов», — ведь приборы, установленные на них, являлись весьма чувствительными и должны были работать на Марсе продолжи-

тельное время. Однако радужным надеждам планетологов не суждено было сбыться.

Началось с того, что сейсмометр на «Викинге-1» вообще не стал работать. Его подвижный датчик, который должен реагировать на колебания грунта, перед полетом был механически зафиксирован для защиты от повреждений при ударе о поверхность Марса. После посадки станции на Марс устройство, которое должно было высвободить датчик, не сработало, и инструмент навсегда остался «запертым в клетке». Из-за этого, несмотря на полную исправность сейсмометра на второй станции — «Викинге-2», которая совершила по-

садку в другом районе планеты, была потеряна возможность определять места расположения точек, откуда исходили сейсмические сигналы. Для этого нужно было «засечь» источник сейсмических волн с двух направлений и получить точку пересечения, в которой и располагается эпицентр.

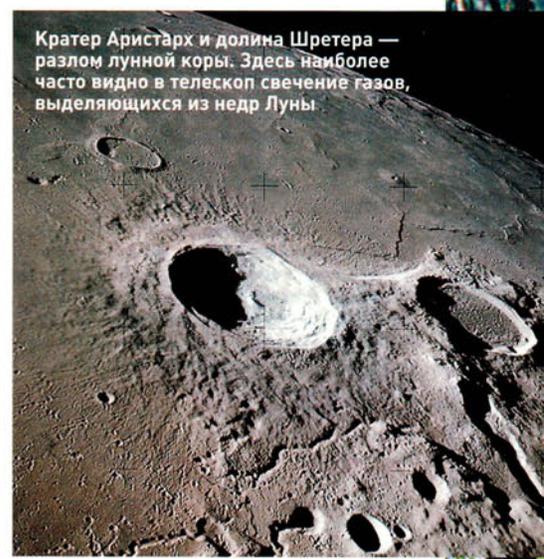
Тем не менее сейсмические наблюдения велись, хотя лишь с одной станции — «Викинг-2», расположенной в северном полушарии Марса на равнине Утопии. Вначале сейсмологи опасались, что сильные марсианские ветры будут создавать помехи высокочувствительному сейсмометру «Викинга». Но в течение ночи — с 6 часов вечера по местному марсианскому времени и до следующего утра — ветры утихали почти до нуля и практически не создавали фоновых шумов. В этот период сейсмометр мог работать с очень высокой эффективностью. Можно было регистрировать марсотрясения от 3 баллов и выше, происходящие на расстоянии до 200 км от станции. Суммарное время наблюдений (исключая периоды, когда посадочный аппарат вибрировал под действием ветра) составило три земных месяца. Путем сравнения марсотрясения со сходным по параметрам землетрясением специалисты надеялись получить сведения о толщине коры Марса. Сделать это удалось лишь один раз, поскольку было зафиксировано только одно событие, которое можно считать сейсмическим. Оказалось, что в месте посадки «Викинга-2» толщина коры Марса составляет около 15 км. Это примерно вдвое меньше, чем мощность коры под материками Земли, и на 50% больше, чем толщина земной коры под океанами. ▶

## РАКЕТНЫЕ УДАРЫ ПО ЛУНЕ

Сами астронавты, чтобы вызвать «просвечивание» лунных недр, умышленно создавали лунотрясения различными способами. Например, астронавты «Аполлона-12» после возвращения на орбитальный корабль сбросили свой лунный отсек с орбиты на поверхность Луны. Астронавты «Аполлона-14» Шепард и Митчелл провели сейсмический эксперимент, в ходе которого взорвали 13 небольших зарядов, расположенных на лунной поверхности. Взрывы таких зарядов, установленных на конце шеста, которым астронавт упирался в лунный грунт, создавали маленькие лунотрясения. Сейсмические волны от них фиксировались установленным неподалеку прибором. Таким образом были получены сведения о строении лунных недр на глубине в несколько десятков метров. Покидая Луну, несколько экспедиций оставили на ее поверхности гранатометы, которые впоследствии приводились в действие по командам с Земли. Взрывы этих

гранат позволили получить представление о строении верхних слоев лунной коры на более значительной глубине, чем взрывы, произведенные самими астронавтами с помощью ручных устройств.

Падения на Луну четырех лунных модулей кораблей «Аполлон» и пяти последних ступеней лунной ракеты-носителя «Сатурн-V» показали, что мощная материковая кора охватывает всю Луну, не разделяясь, как на Земле, на отдельные континенты, и лишь в некоторых местах она утончается и перекрывается базальтовыми покровами. Под корой до глубины 800 км лежит мантия, в которой, начиная с глубины примерно 100 км, появляются признаки слабой современной активности, проявляющиеся лунотрясениями. Глубже 800 км, по-видимому, появляется существенное количество расплава, который не пропускает поперечные сейсмические волны. Эпицентры лунотрясений складываются в два широких размытых пояса, не совпадающих с поясами темных морей.



Кратер Аристарх и долина Шретера — разлом лунной коры. Здесь наиболее часто видно в телескоп свечение газов, выделяющихся из недр Луны

## ЛЬДЫ РВУТСЯ НАРУЖУ

**К**рупнейший из спутников Юпитера — Ганимед, планетное тело практически такого же размера, как Меркурий, но расположен он гораздо дальше от Солнца, во внешней части планетной системы, где поистине царство холода. Так вот на Ганимеди по мере его остывания происходил совершенно противоположный процесс, чем на Меркурии. Охлаждаясь, Ганимед не сжимался, а расширялся. И все потому, что у него не было массивного железного ядра, а внутренности состояли главным образом из воды.

Преобразование в лед и привело к расширению Ганимеда, поскольку вода при охлаждении ведет себя совсем не так, как другие вещества, — переходя в твердое состояние, в лед, вода не сжимается, а расширяется. Следы этого расширения остались на поверхности Ганимеда в виде светлых поясов, состоящих из продольных борозд. Эти пояса напоминают вспаханное поле. Древняя кора Ганимеда — темные участки с множеством метеоритных кратеров, — разбита ледяными поясами на отдельные области. Процесс этот, конечно, сопровождался движениями коры и ее сотрясениями. И в качестве движущей силы здесь действовала застывающая в лед вода, игравшая роль своего рода холодной магмы.

Если на крупном Ганимеди процесс этот происходил постепенно, то на небольшом спутнике Урана Миранде, похоже, все произошло гораздо быстрее и драматичнее. На космических снимках Миранды сразу же бросается в глаза громадный каньон глубиной до 5 км, прорезающий ее поверхность. Диаметр Миранды всего лишь 480 км — это в 7 раз меньше, чем у нашей Луны. Примерно 3/4 массы Миранды составляет лед. Образование гигантского каньона скорее всего было связано с движением коры по разломам на ранней стадии геологической истории этого спутника, когда он остывал и вода превращалась в лед, объем которого превышает объем исходной воды. Это должно было привести к расширению Миранды и появлению на ее поверхности трещин и разломов, сопровождаемому сейсмическими явлениями.

Подобные каньоны, но меньшей глубины, обнаружены и на других спутниках Урана и Сатурна — Ариэле, Обероне, Титании, Энцеладе и Тетии. И все эти спутники состоят преимущественно из льдов (водных, аммиачных и метановых) с примесью обычных каменных горных пород. Так что и они должны были пережить эпоху сотрясений в своей геологической истории. А вот на первых космических снимках одного из спутников Юпитера — Европы были обнаружены бесконечно длинные, узкие полосы, напоминающие трещины на поверхности ледяного панциря Северного Ледовитого океана на Земле. Позднее выяснилось, что поверхность Европы — это действительно сравнительно тонкая ледяная оболочка, под которой скрыт океан, окутывающий каменное ядро Европы. Гравитационное воздействие Юпитера вызывало, а может быть, и до сих пор вызывает, растрескивание ледяного панциря Европы. При этом ледяные поля смещались относительно друг друга и происходили «ледотрясения», следы которых запечатлены в современном рельефе этого спутника.

## БУРНАЯ ЮНОСТЬ МАРСА

На Марсе в прошлом почти наверняка происходили землетрясения (или марсотрясения). Все свидетельства об этом косвенные, но очень убедительные. Многие детали рельефа Марса имеют явно тектоническое происхождение, то есть образовались в результате подвижек верхнего слоя планетной коры. Марсотрясения при этом были неизбежны. Но происходят ли они в настоящее время? Это неизвестно. Сейчас на Марсе не имеется сейсмометров — приборов, с помощью которых регистрируются сотрясения поверхности планеты. Многие ученые считают целесообразным установку на Марсе целой сети сейсмических датчиков. Это позволило бы получить достоверное представление о силе марсотрясений, их частоте и о районах, где они происходят, — таким образом могла бы проясниться современная картина геологической активности недр Марса.

То, что Марс был некогда тектонически активным и, возможно, до сих

пор его ежедневно сотрясают марсотрясения, было установлено после анализа изображений поверхности планеты, полученных с помощью космических станций. Детали рельефа тектонического происхождения обнаружены на Марсе главным образом вокруг области Фарсида — крупного вулканического плато, занимающего почти все западное полушарие планеты. Большинство тектонических событий в этом районе происходило в течение двух периодов — первый из них был 4 млрд. лет назад, в наиболее древнюю эпоху геологической истории планеты, а второй период приходится на более молодой геологический этап, который завершился менее 1 млрд. лет назад. Детали поверхности Марса, сформировавшиеся во время первого периода сейсмической активности, включают много узких каньонов-желобов с разломами вдоль их краев (рифтов). В этот период образовались и глубокие рифтовые долины крупнейших на Марсе каньонов, которые называют-



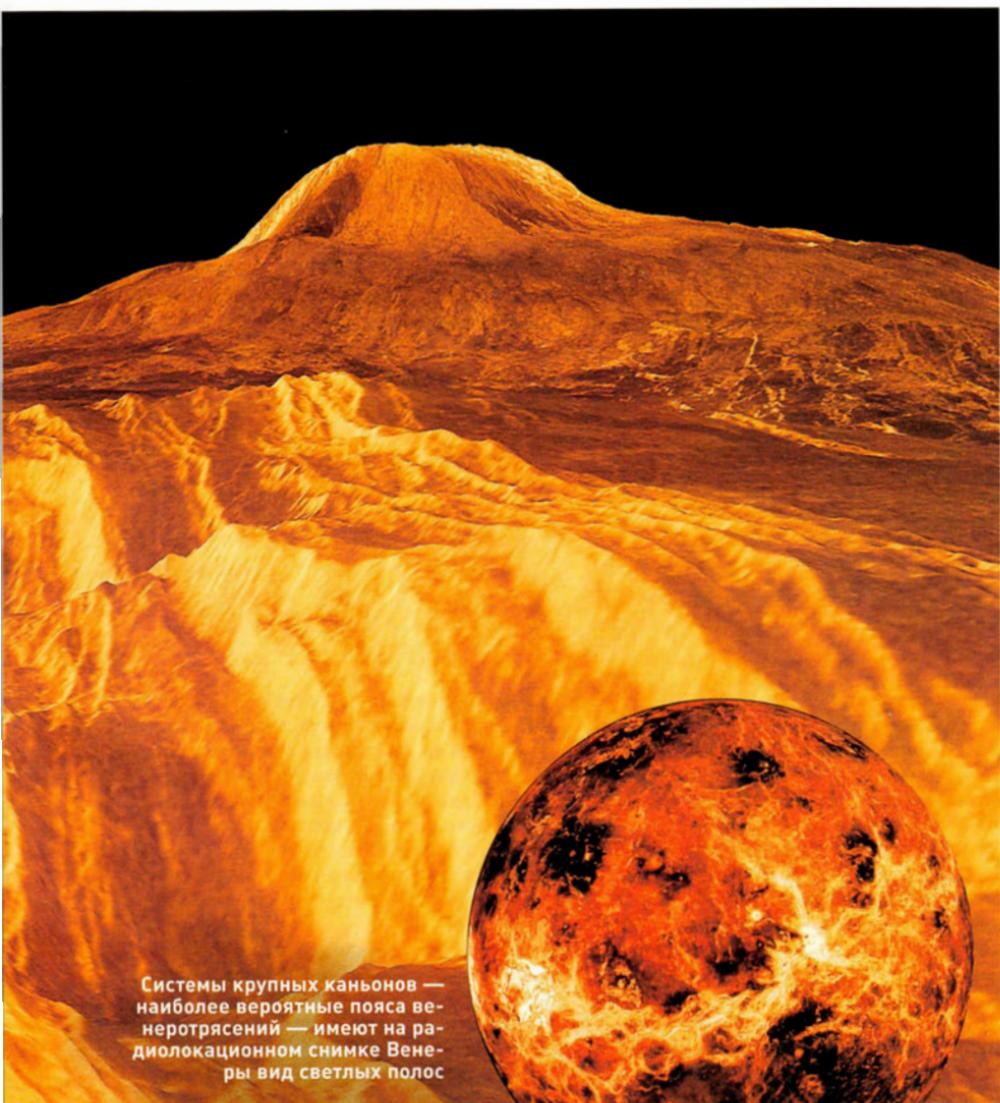
Наиболее молодые структуры поверхности Венеры — тектонические разломы, образующие глубокое ущелье в области Эйстлы. Геологическая и сейсмическая активность этой планеты, возможно, не прекратилась и по сей день. На это же указывают и свежие потоки лавы на склонах крупного вулкана Тула (справа). Слева на горизонте виден еще один вулкан — гора Сив

ся долинами Маринер. Они протянулись более чем на 4 000 км с востока на запад в экваториальной области планеты. Глубина каньонов достигает 7 км, а ширина — до 200 км. Образование рифов было связано с крупными расколами и сотрясениями марсианской коры. После формирования этих впадин на их крутых склонах неоднократно происходили обширные оползни и обвалы, сопровождавшиеся марсотрясениями. Во время второго периода тектонические подвижки создали гигантскую сеть радиальных разломов, которые протягиваются на сотни километров от центра плато Фарсида и рифтовой зоны долин Маринер. Интенсивность тектонической и сейсмической активности постепенно уменьшалась.

### БЕСПОКОЙНАЯ ВЕНЕРА

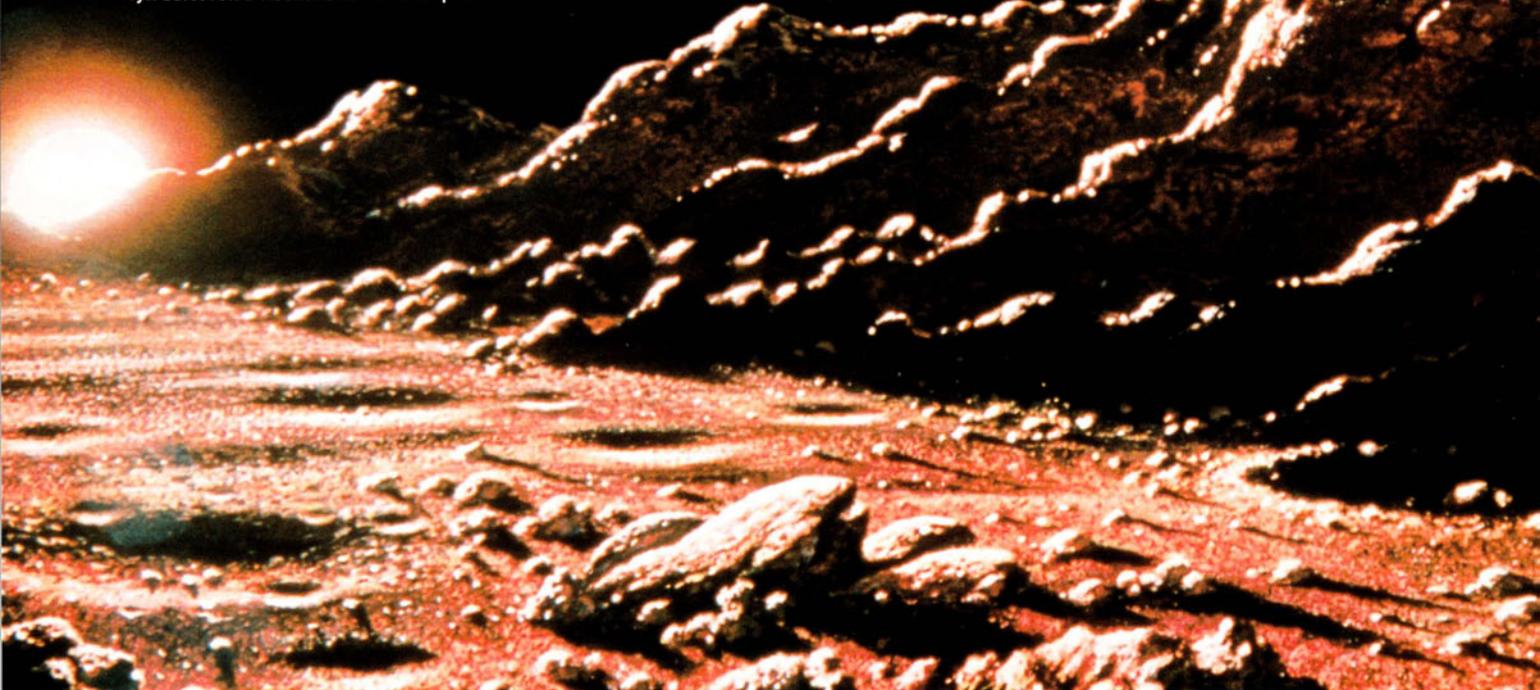
Из всех планет Солнечной системы Венера — самая похожая на нашу Землю. Она выглядит как близнец Земли, по крайней мере по размеру — ее радиус равен 6 051 км, что составля-

ет 0,95 радиуса Земли. Но на Венере нет ни океанов, ни морей, и ее поверхность представляет собой огромный единый материк — бесконечную сушу, простирающуюся по всей планете. По этой поверхности разбросано несколько сотен венцов — округлых возвышенностей диаметром от 100 до 600 км, состоящих из кольца горных гряд с межгорным плато в центре. Считается, что эти структуры образовались над потоками нагретой магмы, которая поднимается к поверхности из частично расплавленной глубинной оболочки (мантии), расположенной под твердой корой планеты. Вокруг многих из венцов отчетливо видны застывшие лавовые потоки. Венцы служили основными источниками, поставившими на поверхность планеты расплавленный базальт из недр. Эти лавы 600 млн. лет назад сформировали обширные равнины, занимающие около 80% территории Венеры. Процессы развития венцов, судя по всему, не обошлись без тектонических ▶



Системы крупных каньонов — наиболее вероятные пояса венеротрясений — имеют на радиолокационном снимке Венеры вид светлых полос

Такой должна предстать взору наблюдателя, оказавшегося на поверхности Меркурия, одна из «каменных волн» — след коробления внешней оболочки планеты, при котором один слой пород надвинулся (справа налево) по наклонному разлому коры на другой, нижележащий слой, образовав гигантский уступ высотой в несколько километров



движений и их неизбежных спутников — землетрясений.

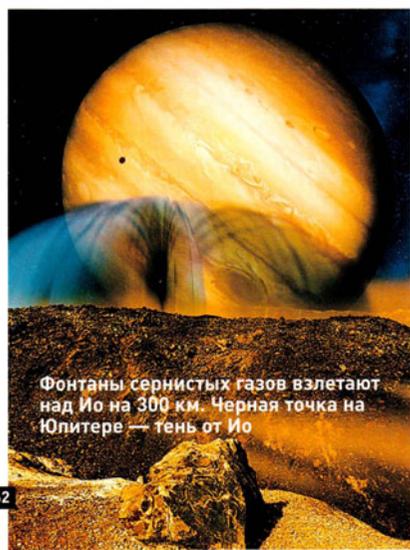
Непосредственными наблюдениями сотрясений Венеры пока не обнаружено. В условиях раскаленной до +480°C атмосферы этой планеты космические станции пока могли проработать лишь около двух часов, затем они перегревались и выходили из строя, а для того чтобы дожидаться землетрясения, требуется гораздо больше времени. Но следы сотрясений зафиксированы в рельефе Венеры и отчетливо видны на радиолокационных снимках ее поверхности, сделанных с искусственных спутников. Одни из наиболее молодых структур поверхности Венеры —

тектонические разломы, образующие узкие глубокие каньоны, рифты, в различных областях планеты. Они свидетельствуют, что геологическая и сейсмическая активность на Венере продолжалась до недавнего времени, а возможно, не прекратилась и по сей день. На это же указывают и свежие потоки лавы на склонах крупнейших вулканических гор, многие из которых расположены как раз у краев этих каньонов, то есть в местах, где кора планеты разбита разломами, облегчающими выход лав на поверхность. Если активность недр на Венере сохранилась до сих пор, то наиболее вероятными местами ее проявления должны быть как раз

рифтовые пояса, глубоко рассекающие кору планеты.

## ШАГРЕНЕВАЯ КОРА МЕРКУРИЯ

У ближайшей к Солнцу планеты — Меркурия большое железное ядро, масса которого составляет 0,6—0,7 массы самой планеты. Радиус такого ядра равен 1 800 км, то есть 3/4 радиуса Меркурия. Таким образом, получается, что внутри Меркурия — гигантский железный шар величиной с Луну. На долю двух внешних каменных оболочек — мантии и коры — приходится лишь около 800 км. На ранней стадии своего развития Меркурий, как и другие планеты, остывал. Объем планеты уменьшался, и

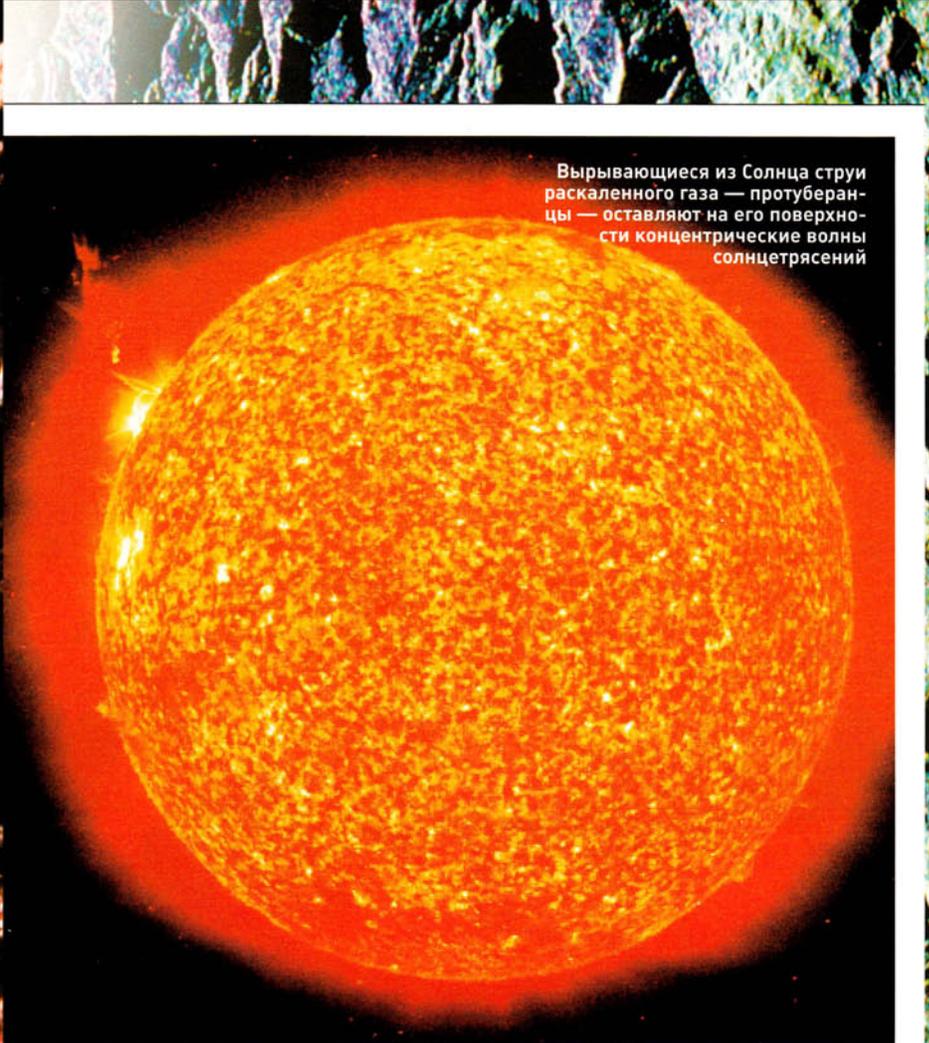
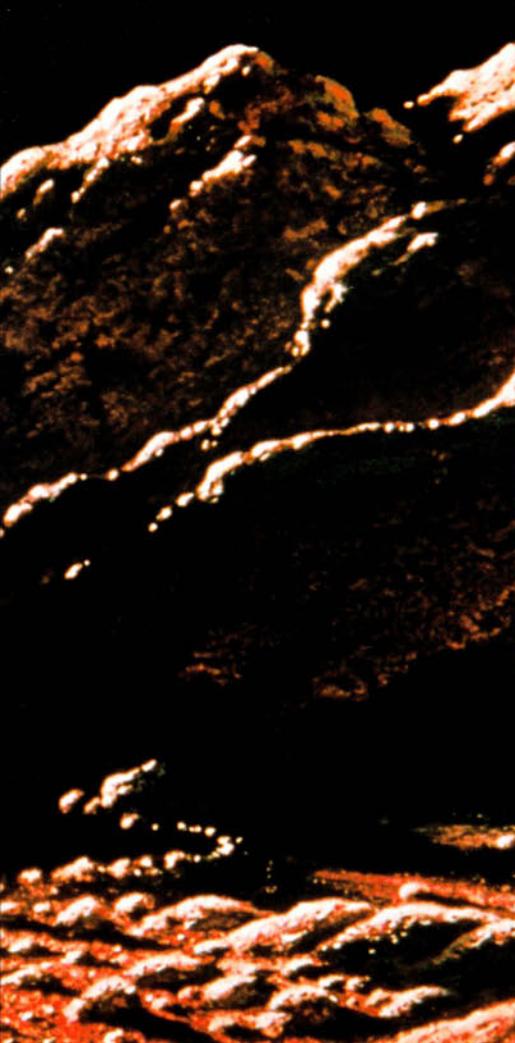


Фонтаны сернистых газов взлетают над Ио на 300 км. Черная точка на Юпитере — тень от Ио

## ТЕРЗАНИЯ ИО

Как Земля воздействует своим гравитационным полем на Луну, вызывая лунотрясения, так и Юпитер воздействует на свои спутники. Поскольку масса Юпитера превышает массу его крупных спутников в 20 тысяч раз, то и воздействие его многократно сильнее. Особенно «достаётся» ближайшему к Юпитеру из его четырех крупных спутников — Ио. Приливное воздействие Юпитера приводит к разогреву и частичному плавлению вещества в недрах Ио. Вот почему на поверхности спутника никогда не утихает вулканическая активность. Недра Ио, разогретые приливным воздействием гигантского Юпитера, находятся в расплавленном состоянии. Из них на высоту до 300 км над поверхностью почти постоянно

выбрасываются фонтаны сернистых газов. Диаметры таких «газовых зонтиков» достигают 1 000 км. Из кратеров изливается жидкая сера темно-коричневого, почти черного цвета. Охлаждаясь, она застывает в виде желтых и оранжевых потоков, поэтому на снимках, сделанных с космических станций, Ио имеет вид оранжевого шара, напоминающего апельсин. Это второе после Земли небесное тело, на котором обнаружена современная вулканическая активность. Выбросы газовых гейзеров и излияния лав из вулканических кратеров приводят к образованию под поверхностью Ио пустот, куда проседает поверхность. Такие обрушения должны сопровождаться сейсмическими явлениями. Зафиксировать их пока не удалось, ведь сейсмометров на поверхности Ио еще нет.



Вырывающиеся из Солнца струи раскаленного газа — протуберанцы — оставляют на его поверхности концентрические волны солнцетрясений

ее каменная оболочка, остывшая и затвердевшая раньше, чем недра, вынуждена была сжиматься. При этом надо было куда-то «девать» материал, который уже не мог лежать ровным слоем на поверхности планеты, поскольку площадь самой этой поверхности уменьшалась. Это приводило к растрескиванию внешней каменной оболочки Меркурия и напозанию одного края трещин на другой с образованием своего рода чешуи, в которой один слой пород надвинут на другой. Следы таких движений до сих пор отчетливо видны на поверхности Меркурия в виде уступов высотой в несколько километров, имеющих извилистую в пла-

не форму и протяженность в сотни километров. На других планетах подобных форм рельефа нет. Верхний слой, надвинувшийся на более низкий, имеет выпуклый профиль, напоминающая застывшую каменную волну. Такое коробление коры планеты безусловно сопровождалось сильными сотрясениями ее недр и поверхности. Так что обстановка на греющемся в солнечных лучах Меркурии была совсем не спокойной. Выяснить, происходят ли землетрясения на Меркурии до сих пор, должен посадочный аппарат, снабженный сейсмометром. Его планируется доставить на поверхность планеты в 2012 году с помощью автоматической

станции «БепиКоломбо» — совместного проекта Европейского космического агентства (ESA) и Японского агентства аэрокосмических исследований (JAXA).

Пройдет несколько десятилетий, и колонизация планет Солнечной системы из фантазии превратится в реальность. Уже сейчас многие страны рассматривают перспективные планы строительства лунных баз, вне всякого сомнения, не за горами тот день, когда люди ступят на поверхность Марса. И тогда сейсмические данные, накопленные поколениями предыдущих исследователей, окажутся востребованы теми, кому предстоит осваивать новые миры. ●

### СОЛНЕЧНАЯ ДРОЖЬ

**Н**е так давно выяснилось, что сотрясаются не только «твердые» планеты, но и наша звезда — Солнце. Солнцетрясения были обнаружены с помощью космической солнечной обсерватории SOHO (SOHO) в конце 1990-х годов. Оказалось, что при каждой солнечной вспышке по поверхности светила пробегает волна, похожая на круги от брошенного в воду камня. Солнечная вспышка представляет собой гигантский протуберанец — взрывной выброс раскаленного водорода и гелия высоко над поверхностью Солнца. Вполне рядовая, умеренная по солнечным меркам вспышка порождает на Солнце сотрясение, энергия которого в 40 тысяч

раз больше, чем у знаменитого катастрофического землетрясения 1906 года в Калифорнии (США), полностью разрушившего Сан-Франциско. На серии снимков, сделанных космической солнечной обсерваторией SOHO в 1998 году, был зафиксирован вид солнцетрясения сверху, анфас. Во все стороны от места яркой солнечной вспышки чрезвычайно быстро расходится узкая темная волна, порожденная сотрясением солнечной поверхности. Удалось определить и скорость этой волны, оказалось, что она достигает 300 км/с. Такие наблюдения за солнцетрясениями помогают получить новые сведения о процессах, происходящих не только на поверхности, но даже и в недрах Солнца.



Взгляд на солнцетрясение сверху — от газовой вспышки (светлое пятно) по Солнцу расходится круговая волна

# Плазменные катаклизмы



Вид солнцетрясения сбоку, в профиль. Волны (темные дугообразные линии) бегут во все стороны от подножья громадного протуберанца

**С**ейсмическая активность любого космического объекта является верным признаком того, что этот объект еще не вошел в состояние теплового равновесия с окружающей средой, и в нем происходят разнообразные процессы, приводящие к подвижкам твердых и жидких составляющих. Взрывные явления не редкость в космосе — то две звезды столкнутся, то сверхновая вспыхнет, а то на нейтронной звезде рванет накопившееся ядерное топливо...

Все эти взрывы заметны не только благодаря видимому излучению, но и по распространяющимся в окружающем газе ударным волнам. Известно, что Солнце — это раскаленный газовый шар, в центре которого «работает» термоядерный реактор, синтезирующий гелий из водорода. Именно благодаря этой термоядерной реакции мы можем греться на солнышке и выращивать пшеницу. На вид Солнце светит и греет вполне спо-

койно, но ученым хорошо известно, что спокойствие это кажущееся, на самом деле внутри этой звезды все кипит и бурлит. Солнечные вспышки, отзывающиеся на Земле магнитными бурями и мощным полярным сиянием, весьма ощутимо сотрясают и само Светило. Ни свет, ни радиоволны не в состоянии проникнуть в глубь твердой оболочки космического тела, и только акустические колебания, легко проходя через любые горные

породы и расплавленную магму, достигают твердых и жидких ядер планет. Устанавливая сейсмометры на Луне и на других планетах Солнечной системы, ученые пытаются заглянуть внутрь этих тел и понять, как они устроены. Изучая межзвездный газ и акустические колебания в нем, они надеются обнаружить не только следы недавних катастроф, но и эхо Большого взрыва, породившего нашу Вселенную много миллиардов лет назад. ●

SPL/EAST NEWS