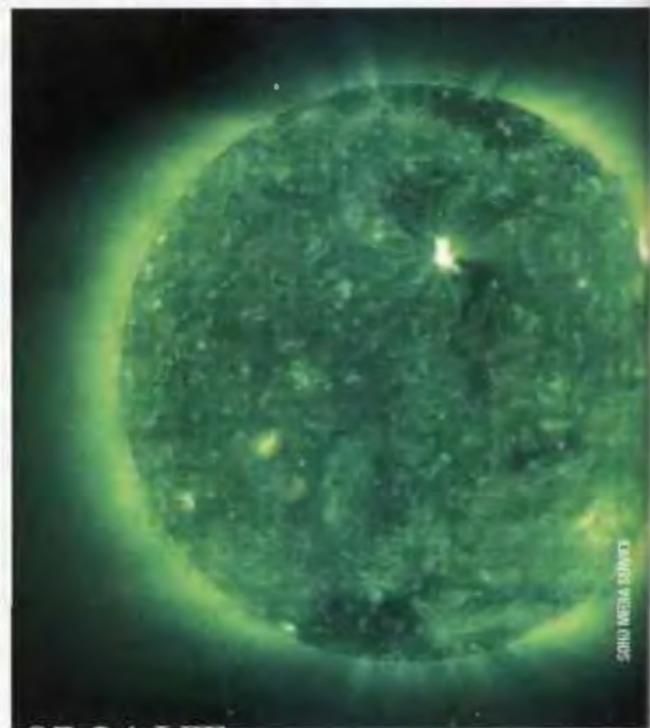
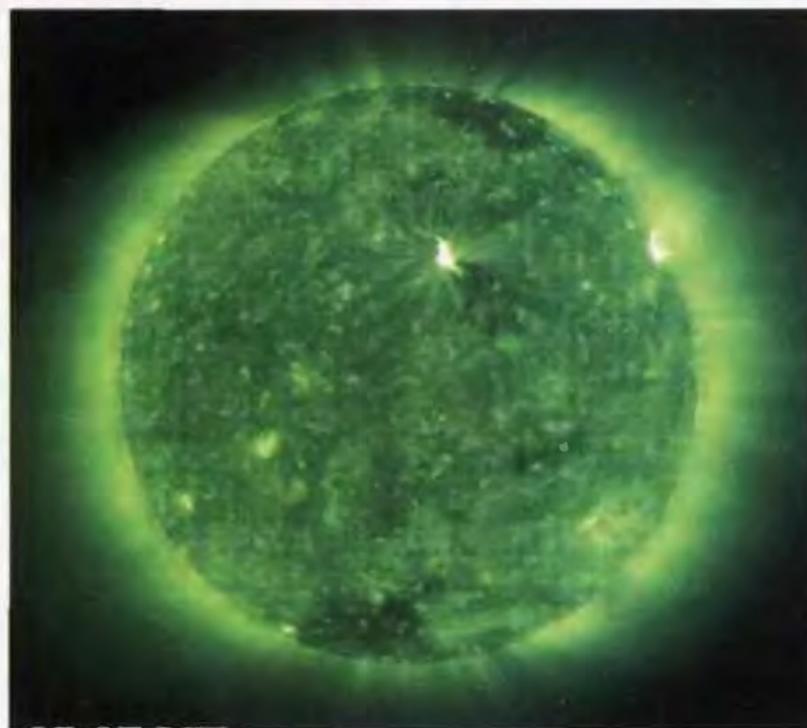
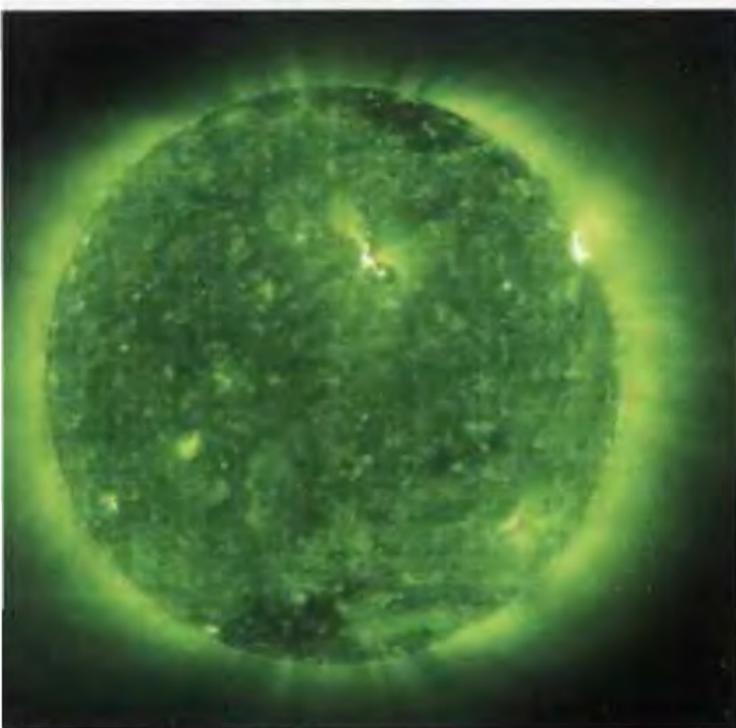
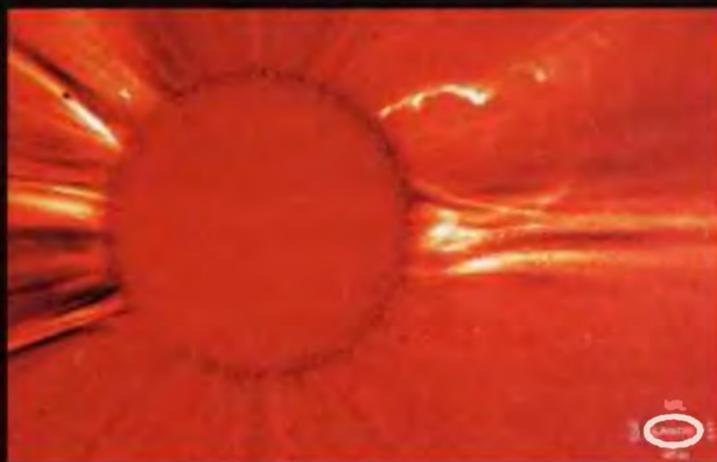




# БЛИЖЕ К СОЛНЦУ

10 октября 1946 года с американского военного полигона Уайт-Сэндз в штате Нью-Мексико была запущена трофейная ракета «Фау-2». Ракета не несла боеголовок, зато была оснащена спектрографом, с помощью которого были впервые сделаны снимки нашего светила в ультрафиолетовой спектральной области 290–230 нм, волны которой поглощаются в нижних слоях атмосферы и не достигают поверхности Земли. Именно эту дату можно считать днем рождения космической солнечной астрономии



К началу космической эры о Солнце было известно немало. Ученые хорошо представляли себе его состав (в основном водород и гелий) и механизм генерации энергии (термоядерные реакции). Были накоплены архивы сведений о солнечных пятнах и вспышках, магнитных полях и радиошумах, температуре внешних слоев (фотосферы, хромосферы и солнечной короны), динамике солнечной и окосолнечной плазмы, истечении коронального газа (солнечном ветре) и его влиянии на земную магнитосферу. Однако многие глубинные связи между этими явлениями были установлены лишь в процессе систематических наблюдений Солнца с помощью аппаратуры, установленной на космических платформах.

## АСТРОНОМИЯ

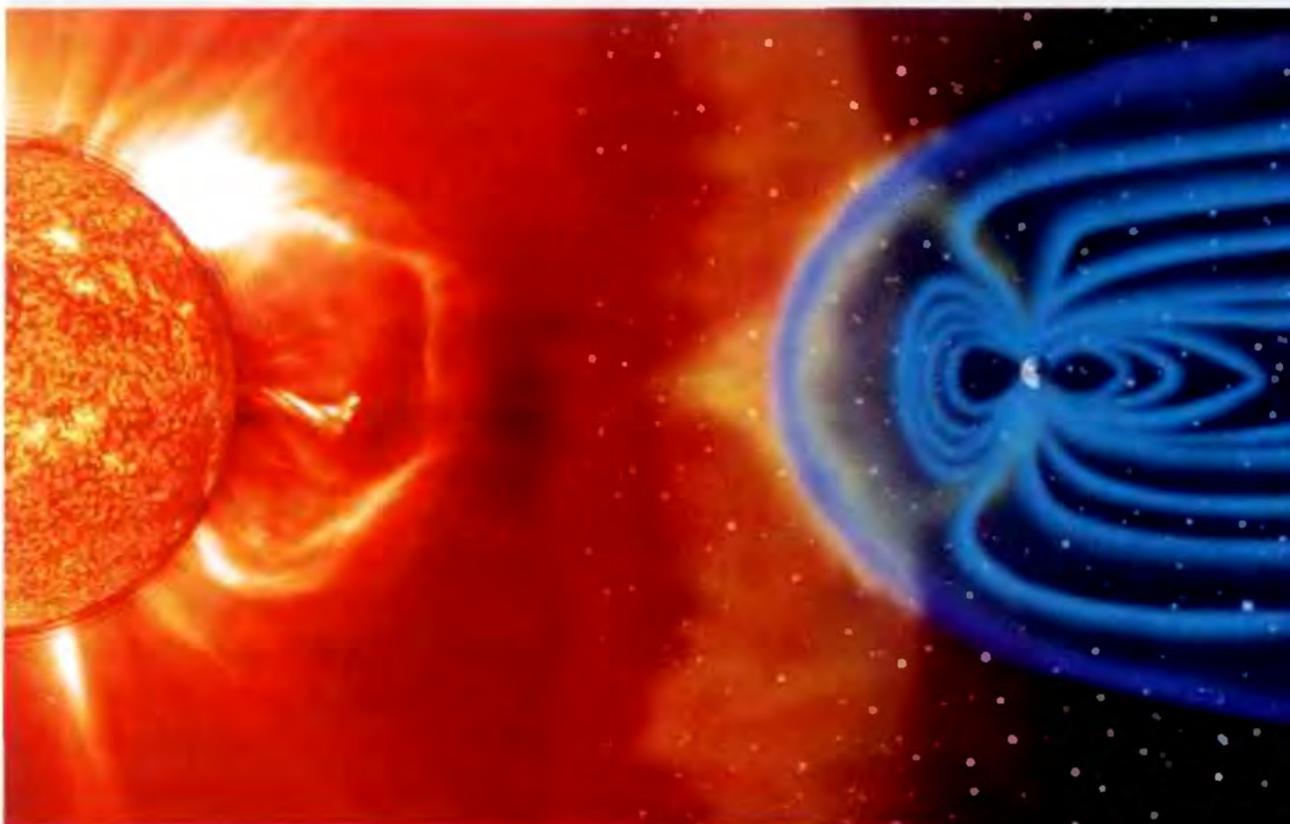
В 1600-х годах Галилео Галилей обнаружил на Солнце темные пятна, которые он считал впадинами на его поверхности. В 1826-1843 годах Генрих Швабе обнаружил одиннадцатилетний цикл появления пятен. В 1896 году Кристиан Биркеланд объяснил северное сияние с помощью теории "солнечного излучения". В 1951 году Людвиг Бирман предположил существование "солнечных частиц", летящих со скоростями в сотни км/с, что объясняет отклонение хвостов комет. В 1958 году Юджин Паркер пришел к выводу, что внешние слои короны улетают от Солнца с очень высокими скоростями. Паркер называет этот поток плазмы "солнечным ветром". В 1973 году космическая станция Skylab использовала рентгеновскую камеру для изучения солнечных вспышек и протуберанцев. Обнаружилось, что источником ветра служат корональные дыры. В 1979 году станция сошла с орбиты, в том числе из-за солнечной активности. В 1995 году SOHO начал постоянные наблюдения Солнца. Открыты частицы ветра с температурой 200 млн. градусов.

## Ветреное светило

В 1960-х едва ли не главным направлением космической солнечной астрономии стало изучение солнечного ветра. Этот феномен на качественном

## СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

Сейчас известно, что частицы короны начинают свое движение от Солнца со скоростями порядка сотен метров в секунду. На дистанции нескольких солнечных радиусов они достигают звуковой скорости (100–150 км/с), а у орбиты Земли – от 300–400 км/с (типичные значения) до 800 км/с. Центрами испускания солнечного ветра служат так называемые корональные дыры, своего рода полости внутри короны, откуда во внешнее пространство выходят магнитные силовые линии. Эти структуры были открыты еще в 1957 году, но их связь с солнечным ветром удалось прояснить лишь в 1970-е годы.



**1600** **1611 ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ** наблюдает пятна, проходящие по поверхности Солнца

**1700**

**1800** **1826–1843 ГЕНРИХ ШВАБЕ** открывает одиннадцатилетний цикл появления пятен

**1896** **КРИСТИАН БИРКЕЛАНД** объясняет Северное сияние с помощью теории "солнечного излучения"

**1900**

**1951** **ЛЮДВИГ БИРМАН** предполагает существование "солнечных частиц", летящих со скоростями в сотни км/с, что объясняет отклонение хвостов комет

**1958** **ЮДЖИН ПАРКЕР** приходит к выводу, что внешние слои короны улетают от Солнца с очень высокими скоростями. Паркер называет этот поток плазмы "солнечным ветром"

**1973 SKYLAB** Ученые на борту космической станции используют рентгеновскую камеру для изучения солнечных вспышек и протуберанцев. Обнаруживается, что источником ветра служат корональные дыры. В 1979 году станция сошла с орбиты, в том числе из-за солнечной активности

**1995 SOHO** Более-менее постоянный аванпост наблюдения Солнца. Открыты частицы ветра с температурой 200 млн. градусов

С древних времен до наших дней ученые пытались разгадать тайны нашего Солнца

уровне был предсказан еще в 1916 году норвежским геофизиком (семикратным Нобелевским номинантом) Кристианом Биркеландом (а три года спустя к такому же заключению пришел оксфордский профессор физики Фредерик Линдемман, впоследствии главный научный советник военного кабинета Черчилля). В 1951 году немецкий астроном Людвиг Бирман разработал динамическую модель солнечной короны, из которой вытекало существование радиального потока заряженных частиц. Семью годами позже американец Юджин Паркер опубликовал более полную теорию этого потока, который именно он и назвал "солнечным ветром". Паркер показал, что солнечная корона служит источником радиальных струй частиц, преимущественно протонов и электронов, которые по мере удаления от Солнца не тормозятся, а ускоряются! Это объясняется тем, что при уменьшении силы тяготения плазма из дозвукового режима движения переходит в сверхзвуковой, подобно тому, как это происходит в сопле Лаваля. Выводы Паркера выглядели настолько парадоксальными, что его рукопись отвергли двое рецензентов, и ее напечатали лишь по решению редактора *Astrophysical Journal*, знаменитого Чандрасекара.

Существование солнечного ветра было впервые подтверждено экспериментально в 1959–1961 годах при прямом измерении параметров межпланетной плазмы, выполненном советскими автоматическими станциями "Луна-1", "Луна-2" и "Венера-1" (руководил экспериментами главный конструктор радиопередатчика первого спутника Константин Грингауз, в те времена заведовавший отделом космических исследований в Радиотехническом институте АН СССР). Предсказанное Паркером ускорение частиц солнечного ветра было убедительно зарегистрировано плазменным спектрометром американского венерианского зонда *Mariner-1*, запущенного в августе 1962 года. Позднее новые обширные данные о солнечном ветре были получены бортовой аппаратурой американских спутников серии *Explorer* и космических зондов *Pioneer*.

## Первые шаги

С 1960 года США начали запускать многочисленные специализированные научные спутники для наблюдения Солнца. Первым из них был 19-килограммовый *SOLRAD-1*, предназначенный для регистрации солнечной радиации. В общей сложности в околоземное пространство отправили 10 таких аппаратов, все в рамках проектов ВМФ. В марте 1962 года NASA вывело на орбиту 200-килограммовый спутник *Orbiting Solar Observatory-1 (OSO-1)*, за ним последовали более тяжелые аппараты серии (последний, *OSO-8*, – в 1975-м). Эти обсерватории оснащались УФ- и рентгеновскими телескопами и счетчиками гамма-излучения. Показания приборов позволили выяснить, что солнечные вспышки не только светят в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах, но также служат источником заряженных частиц, радиоволн и рентгеновских лучей, а порой даже гамма-излучения.

Самые поздние модификации станций серии *OSO* имели серьезный вес: *OSO-7* – 635 кг, *OSO-8* – 1066 кг. Но и по сравнению с ними солнечная обсерватория NASA, выведенная на орбиту в феврале 1980-го, казалась исполнимой – предполетная масса 2,4 т! Она предназначалась для мониторинга Солнца в период максимальной активности, отсюда и название *Solar Maximum Mission (SMM, или Solar Max)*.

Этой станции выпала не слишком легкая доля. Меньше чем через год после запуска отказал один из четырех гироскопов и наведение аппаратуры стало невозможным. Устранить неполадки NASA удалось нескоро: лишь в апреле 1984 года экипаж корабля *Challenger* вернул станцию к активной жизни. К сожалению, уникальнейший из ее приборов, первый в мире телескоп, предназначенный для наблюдения Солнца в рентгеновских лучах высоких энергий, исправить не удалось.

Наиболее важным итогом работы *SMM* стало определение солнечной постоянной с ранее недоступной точностью. Ее значение зависит от активности Солнца, однако его колебания составляют десятые доли процента. Анализ долговременных показаний бортово-

го радиометра станции *SMM* показал, что солнечная постоянная возрастает в пике солнечной активности, когда число солнечных пятен особенно велико. Это удивило специалистов, поскольку температура пятен на 1,5–2 тысячи градусов ниже средней температуры солнечной поверхности. Однако пятна окружены более светлыми (следовательно, горячими) волокнистыми структурами – фотосферными факелами. Если пятна снижают суммарную мощность солнечного излучения, то факелы ее увеличивают, причем в несколько большей степени, поэтому баланс оказывается положительным. Это было окончательно доказано к концу 1980-х, и полученные с *SMM* результаты перестали выглядеть парадоксом.

## Плоды миниатюризации

Через год после запуска *SMM* японские ученые отправили в околоземное пространство небольшую (195 кг) солнечную обсерваторию *Astro A* (другое имя – *Hinotori*, "птица Феникс"), которая протянула до июля 1991 года. Через полтора месяца после ее кончины с того же космодрома Кагوشيما ушла в космос более совершенная станция *Yonkoh* ("Солнечный луч"). При массе в шестеро меньше, чем у *Solar Max*, ее возможности были примерно такими же благодаря ультрасовременной начинке. Один из двух телескопов *Yonkoh* работал в диапазоне жесткого рентгена, второй был настроен на мягкий рентген и голубые фотоны с длиной волны 460–480 нм. Станция несла также пару рентгеновских спектрометров, один из которых регистрировал и гамма-излучение. После 10 лет успешной работы 14 декабря 2001 года во время затмения *Yonkoh* потеряла ориентацию на Солнце, ее батареи разрядились и она вышла из строя. Вскоре ей на смену придет новая японская орбитальная обсерватория *Solar-B*.

## Космическая одиссея "Улисса"

Орбиты всех искусственных спутников Земли, как и орбита нашей планеты, лежат в плоскости эклиптики. Чтобы выйти за ее пределы, Людвиг Бирман еще в 1965 году начал пробивать за-



### ТОЧКИ ЛАГРАНЖА

Точками Лагранжа (или точками либрации) называют точки в плоскости взаимного обращения двух массивных тел, при попадании в которые третье тело малой массы не изменяет своего положения относительно этой пары. Таких точек всего пять, причем первые три из них нестабильны (корабль, выведенный в окрестности любой из них, сможет оставаться там, лишь подправляя свою траекторию бортовыми двигателями).

пуск беспилотного аппарата, способного посмотреть на Солнце "с других сторон". Позднее эту идею поддержали Европейская организация космических исследований и NASA. В 1979 году был даже подписан меморандум о запуске американской и европейской солнечных обсерваторий, которые должны были пройти над солнечными полюсами и провести детектирование корональных частиц, испускаемых более или менее перпендикулярно эклиптике. Спустя два года из-за бюджетных ограничений NASA отказалось от участия в этом проекте, что привело к серьезным осложнениям в его отношениях с европейскими партнерами. Тем не менее ЕКА все же решило завершить строительство своей станции Ulysses ("Улисс"), и в 1984 году она была полностью готова.

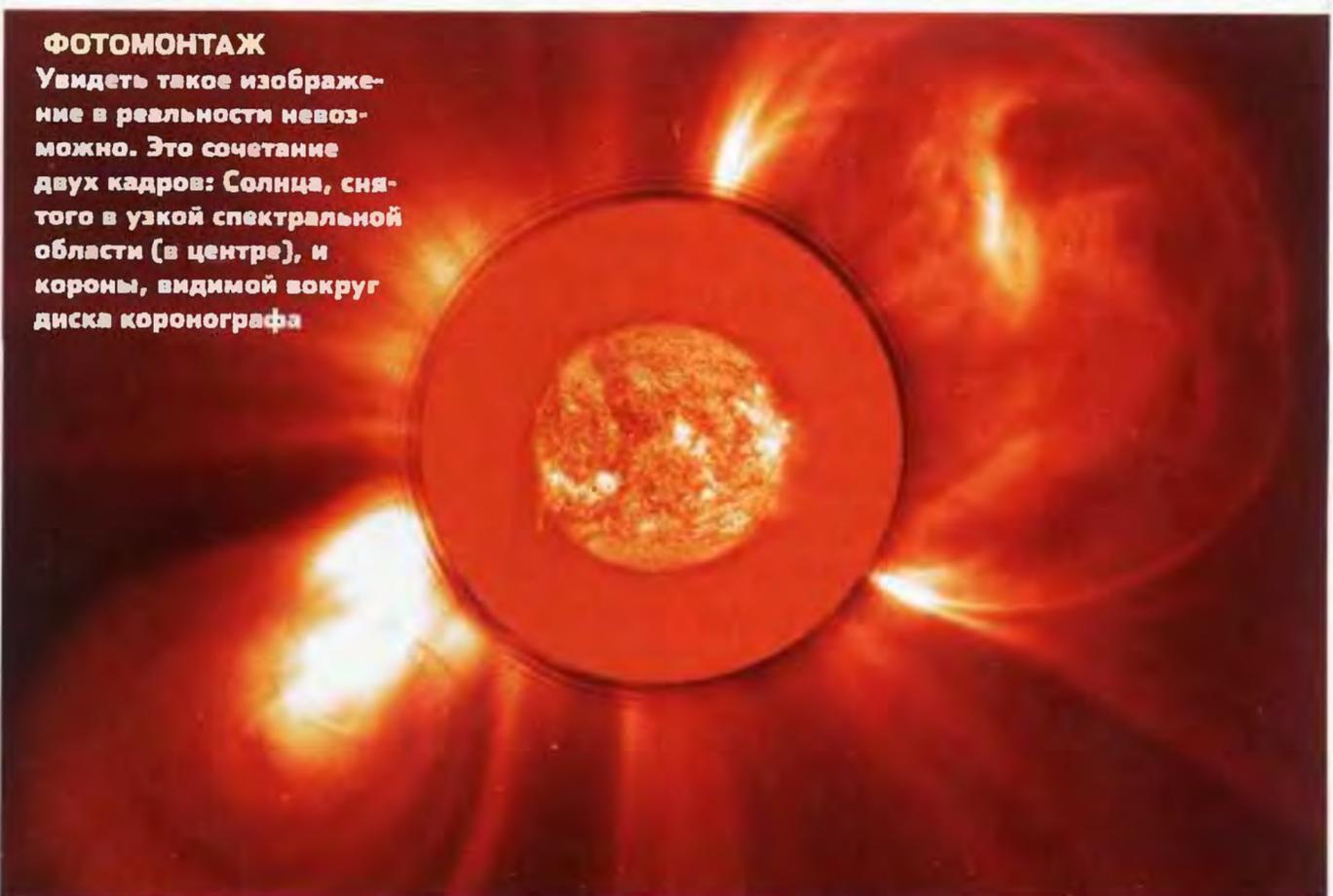
Аппарату пришлось ждать шесть лет, пока NASA не отправило его на околоземную орбиту на шаттле Discovery. Затем 367-килограммовый зонд включил маршевые двигатели и в феврале 1992 года достиг окрестностей Юпитера. Разогнавшись в гравитационном поле планеты-гиганта, Ulysses почти вертикально выскочил из плос-



**МАГНИТОСФЕРА**  
Солнечный ветер распространяется вдоль линий магнитного поля, создаваемого Солнцем (красные). Собственное магнитное поле Земли (голубые линии) отклоняет заряженные частицы. На картинке также показаны три спутника для изучения солнечного ветра — Ulysses, SOHO и ER5

### ФОТОМОНТАЖ

Увидеть такое изображение в реальности невозможно. Это сочетание двух кадров: Солнца, снятого в узкой спектральной области (в центре), и короны, видимой вокруг диска коронографа



кости эклиптики и в августе 1994 года прошел на расстоянии 330 млн. км над южным полюсом Солнца. Затем вновь пересек плоскость эклиптики и в июле 1995-го пролетел над северным солнечным полюсом. При этом "Улисс" функционировал столь безупречно, что ему позволили пойти на второй круг и еще раз пролететь над солнечными полюсами (в 2000 и 2001 годах). Если не случится неожиданностей, в феврале 2007 года он вновь взглянет на Солнце с юга, а в январе 2008 года – с севера.

Задачи "Улисса" не ограничиваются отслеживанием солнечного ветра, дующего вне плоскости эклиптики. Его аппаратура определяет параметры космических магнитных полей и плотность межпланетной и межзвездной пыли, ведет мониторинг рентгеновского излучения Солнца и космических гамма-всплесков и даже пытается зарегистрировать гравитационные волны.

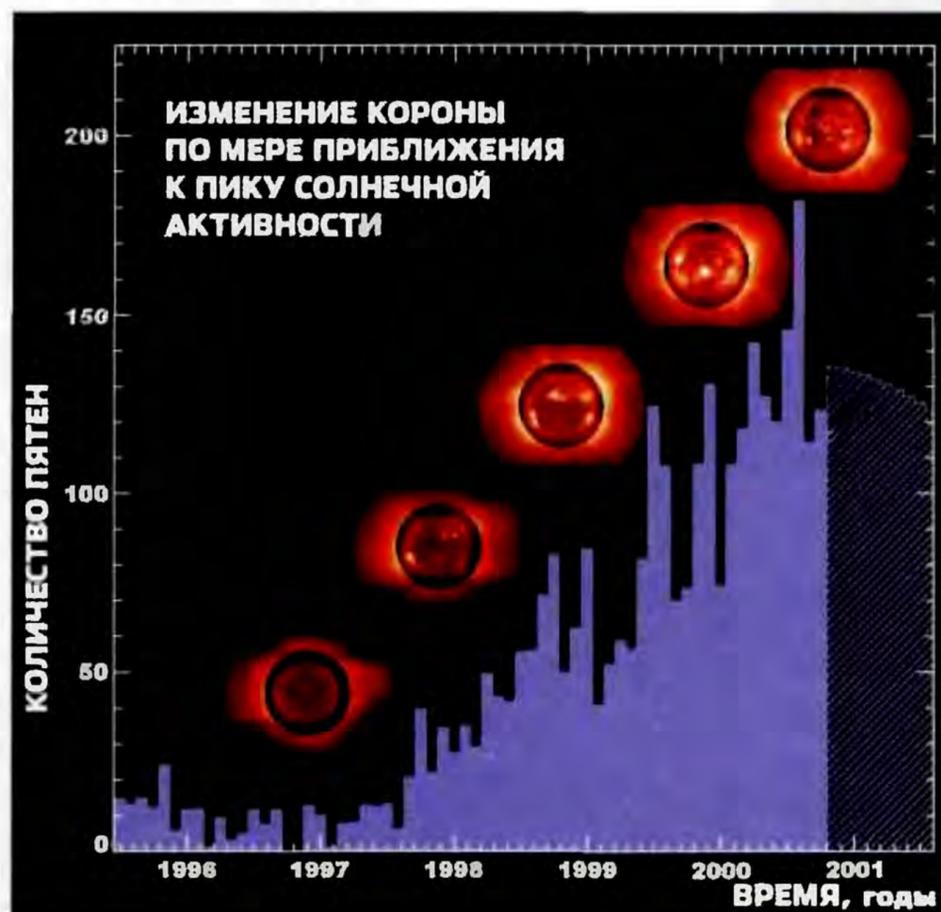
## Космическое Сохо

Слово "Сохо" вызывает у астрономов ассоциацию вовсе не с одним из лондонских районов, а с аббревиатурой SOHO, SOLar and Heliospheric Observatory. В разработке научного оборудования этой станции ЕКА принимали участие США, Россия и Япония. 2 декабря 1995 года американская ракета Atlas II-AS доставила ее в околоземное пространство, откуда 1850-килограммовая станция начала самостоятельное путешествие. 14 февраля, за шесть недель до расчетного срока, она вышла на расчетную орбиту вокруг точки Лагранжа L1, которая находится в 1,5 млн. км от нашей планеты на линии, соединяющей Землю и Солнце.

В феврале 1999 года в бортовые компьютеры SOHO закатали новые программы, давшие возможность нацеливать ее приборы посредством ориентации по звездам. Сейчас обсерватория полностью функционирует, хотя все три ее гироскопа давно вышли из строя, – это первый случай прецизионной стабилизации космического аппарата без помощи гироскопов. Вполне возможно, что она прослужит еще немалый срок, ведь горючего ей хватит лет на десять, а то и больше.

SOHO никогда не попадает в тень нашей планеты и потому может непрерывно наблюдать за Солнцем. Вокруг точки Лагранжа она вращается по эллипсу с длиной большой полуоси порядка 300 000 км. Так что через солнечный диск она не проходит, что облегчает прием ее сигналов на фоне солнечного радиошума.

Научное оборудование SOHO состоит из 12 приборов общей массой 610 кг. Четыре установки следят за солнечным ветром, пять ведут мониторинг солнечной атмосферы и короны, три изучают сейсмику нашего светила – структуру и строение его недр. "Я думаю, главные достижения SOHO лежат в области гелиосейсмологии, изучении звуковых волн, которые рождаются в глубине Солнца и достигают его поверхности. Эти волны несут великое множество информации о структуре и динамике солнечных недр. Я думаю, что, когда на помощь SOHO придет новый аппарат для изучения внутренностей Солнца – Solar Dynamics Observatory (SDO), мы сможем продвинуться еще дальше". Так оценивает работу обсерватории научный координатор американской части программы Уильям Вагнер. "Кстати, помимо наблюдений за Солнцем SOHO зарекомендовала себя чрезвычайно результативным помощником охотников за кометами. В августе прошлого года общее количество таких кометных открытий достигло тысячи и продолжает расти".



## Солнечная пляжда

"В конце июля или в начале августа NASA планирует запустить два солнечных спутника STEREO, Solar TERrestrial RELations Observatory, – добавляет Вагнер. – Они будут двигаться по той же орбите, что и Земля, один позади нашей планеты, а другой – впереди. Эти аппараты будут производить мониторинг процессов формирования солнечного ветра, в особенности выбросов мощных потоков вещества из солнечной короны. В разработке приборов для них принимали участие Великобритания, Франция, ФРГ, Швейцария и Венгрия. В начале мая обе обсерватории были доставлены на мыс Канаверал для окончательной отладки и установки на верхнюю ступень ракеты-носителя "Дельта-2".

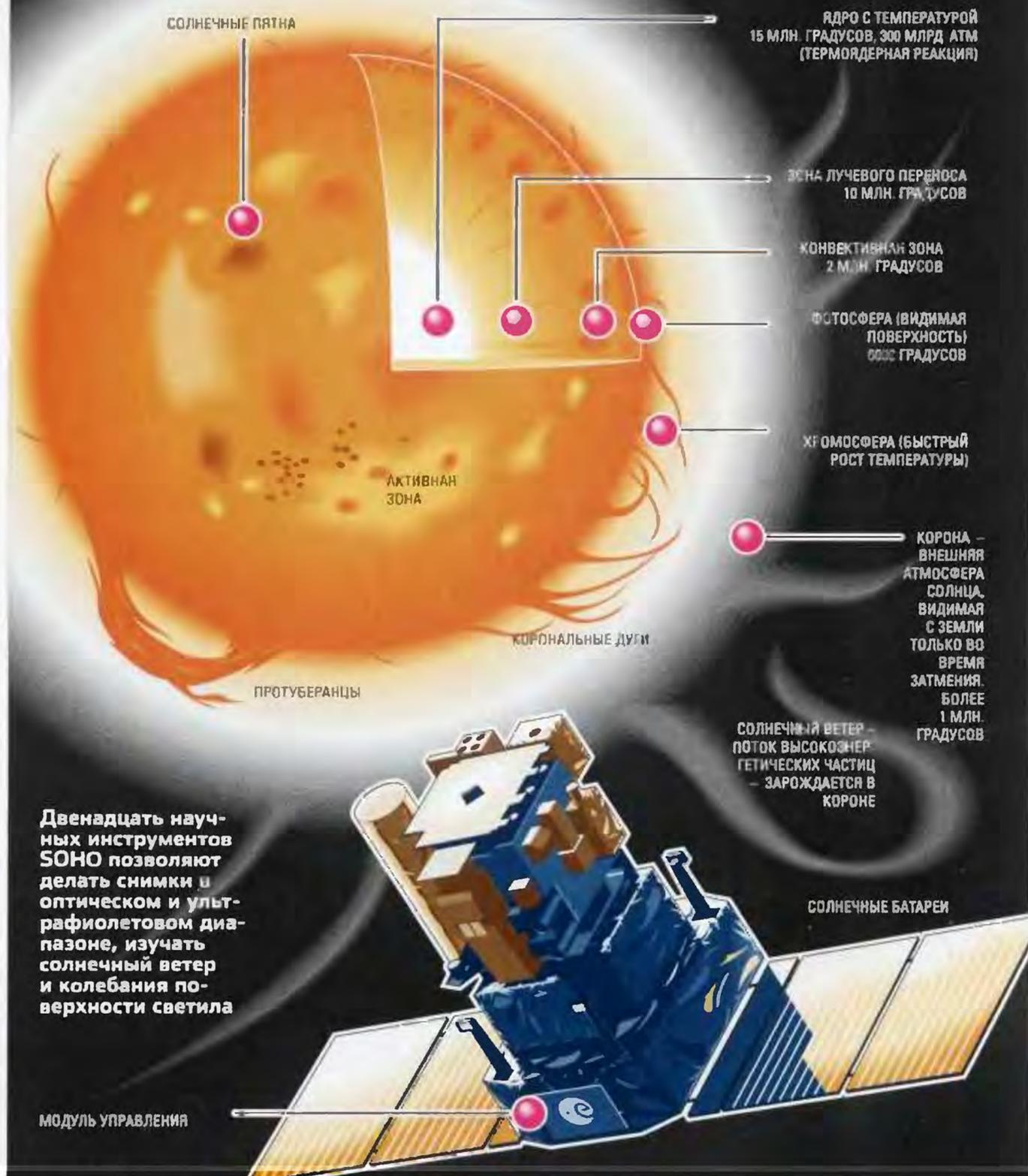
## СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ

Этим термином астрономы обозначают поток солнечного излучения, который проходит за единицу времени через перпендикулярную лучам площадку единичной площади, расположенную в открытом космосе на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца (то есть на уровне орбиты Земли). Солнечную постоянную можно измерить и на земной поверхности, но в этом случае необходимо внести поправки на поглощение лучей в атмосфере, которое служит источником серьезных ошибок. От величины солнечной постоянной зависит общее количество лучистой энергии, которое наша планета получает от Солнца, так что этот показатель интересует не только астрономов, но и геофизиков, экологов, метеорологов и, конечно, климатологов. Кстати, на климатических моделях видно, что возрастание солнечной постоянной всего на один процент повышает среднюю годовую температуру земной поверхности на один-два градуса.

Этим термином астрономы обозначают поток солнечного излучения, который проходит за единицу времени через перпендикулярную лучам площадку единичной площади, расположенную в открытом космосе на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца (то есть на уровне орбиты Земли). Солнечную постоянную можно измерить и на земной поверхности, но в этом случае необходимо внести поправки на поглощение лучей в атмосфере, которое служит источником серьезных ошибок. От величины солнечной постоянной зависит общее количество лучистой энергии, которое наша планета получает от Солнца, так что этот показатель интересует не только астрономов, но и геофизиков, экологов, метеорологов и, конечно, климатологов. Кстати, на климатических моделях видно, что возрастание солнечной постоянной всего на один процент повышает среднюю годовую температуру земной поверхности на один-два градуса.

## С ВИДОМ НА СОЛНЦЕ

В полутора миллионах километров от Земли солнечная обсерватория SOHO имеет превосходную точку наблюдения, с никогда не заслоняемым видом на Солнце – ившу заезду диаметром 1,4 млн. км, состоящую на 70% из водорода и на 30% из гелия.



Двенадцать научных инструментов SOHO позволяют делать снимки в оптическом и ультрафиолетовом диапазоне, изучать солнечный ветер и колебания поверхности светила

МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

скопов, предназначенных для изучения Солнца в нескольких фрагментах ультрафиолетового диапазона”.

Россия тоже не остается в стороне. Прожившая семь лет обсерватория “КОРОНАС-И” (Комплексные Орбитальные Околоземные Наблюдения Активности Солнца) стартовала из Плесецка 2 марта 1994 года в год спокойного Солнца. Ее сменщица “КОРОНАС-Ф” ушла на орбиту 31 июля 2001 года и 6 декабря 2005 года разрушилась в нижних слоях атмосферы. “Полет обсерватории “КОРОНАС-И” был не вполне удачным, а вот “КОРОНАС-Ф” дала много ценнейшей информации, – прокомментировал результаты этих экспериментов директор Института земного магнетизма, ионосферы и

распространения радиоволн РАН Владимир Кузнецов. – Ее приборы следили за Солнцем в фазе спада его активности. Осенью 2003 года она зарегистрировала мощнейшие солнечные вспышки, равных которым не наблюдалось три десятилетия. Обсерватория также передала важную информацию о проникновении высокоэнергетических частиц солнечного ветра в земную магнитосферу”. Сейчас уже почти готов третий спутник этой серии “КОРОНАС-Фотон”, который предполагается запустить в 2007 или 2008 году. Он в основном будет отслеживать самое коротковолновое солнечное излучение – рентген и гамма-лучи. Штурм солнечных тайн продолжается. **ПМ**

Алексей Левин



**ВЕРХОМ НА КЕНТАВРЕ** Обсерватория SOHO была выведена на орбиту двухступенчатой ракетой Atlas-IIAS (Atlas/Centaur). Внизу: сборка обсерватории



В августе 2008 года к компании солнечных обсерваторий присоединится еще одна – SDO, Solar Dynamics Observatory. “Это будет весьма тяжелый спутник с массой около 3100 кг, выведенный ракетой Atlas на геостационарную орбиту, – рассказал “ПМ” координатор проекта Алексей Певцов из директората гелиофизики NASA. – Один из трех его приборов будет измерять суммарный поток самого коротковолнового солнечного ультрафиолета, другому предстоит отслеживать звуковые волны в фотосфере Солнца и измерять компоненты фотосферного магнитного поля с очень высоким разрешением и в проекции на все три пространственные оси. SDO станет также платформой для четырех теле-