

# Вселенная

ПРОСТРАНСТВО ★ ВРЕМЯ

Международный научно-популярный журнал  
по астрономии и космонавтике

№8-9 (168-169) 2018

## ЗАБЫТАЯ ПЛАНЕТА

ПОЧЕМУ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ  
СТОИТ ПРОДОЛЖИТЬ  
ИЗУЧЕНИЕ ВЕНЕРЫ

## Вендский рубеж

СТРАНИЦЫ  
КАМЕННОЙ ЛЕТОПИСИ

**БЕСПОРЯДОК на орбите**  
И КАК С НИМ БОРОТЬСЯ



---

XXX ГЕНЕРАЛЬНАЯ  
АССАМБЛЕЯ IAU

---

У ЗВЕЗДЫ БАРНАРДА  
НАШЛИ ПЛАНЕТУ

---

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕНИ  
В СОЗВЕЗДИИ ЗМЕИ



2<sup>E</sup> 19<sup>S</sup>  
HAPPY  
Holidays!



## Уважаемые читатели!

Поздравляем вас с наступающим Новым годом — годом полувекового юбилея первой высадки человека на Луну!

Уходящий год стал юбилейным для нашего журнала: 22 декабря нам исполнилось 15 лет. За это время на наших страницах было опубликовано более 500 авторских статей, тысячи новостей о космических полетах, исследованиях Вселенной и Солнечной системы, достижениях экзобиологии, археологии, об изменении климата и природных катаклизмах...

Среди наших авторов были нобелевские лауреаты, академики, космонавты и астронавты, профессора, ведущие специалисты космической отрасли из десятка стран мира, известные популяризаторы науки, которые старались доступным языком объяснить всем интересующимся самые сложные вопросы мироздания.

В поисках материалов для статей и интервью мы объездили полмира, посетили больше десятка астрономических фестивалей и научных конференций в Австрии, Великобритании, Нидерландах, Норвегии, на Канарских островах и даже на далеких Гавайях. Представители редакции наблюдали солнечные затмения в Турции и штате Вайоминг, знакомились с экспонатами аэрокосмических музеев в Нью-Йорке и на мысе Канаверал, поднимались на обсерваторию Мауна Кеа и заглядывали в гигантскую чашу радиотелескопа Аресибо.

Чтобы еще ближе познакомиться с читателями, мы организовали научно-просветительский клуб «Вселенная, пространство, время». 13 января 2019 г. исполняется 7 лет со дня его первого собрания. С тех пор его гостями стало больше полусотни ученых, космонавтов и астронавтов из Украины, Российской Федерации, Швейцарии и США.

Случались в истории нашего журнала и нелегкие времена: выпустив до конца 2017 г. 160 печатных номеров, мы вынуждены были перейти в электронный формат, но с сентября возобновили издание в бумажном виде, отпечатав уже три номера (№5-6, №7 и №8-9). Рассматривается также возможность печати номеров с 1-го по 4-й за 2018 г. В следующем году мы планируем войти в Каталог подписных изданий Украины (с марта 2019 г.), а в течение года издать 6 номеров объемом 76 страниц. В настоящее время заказы на рассылку изданных журналов можно оформить на сайте по адресу <https://universemagazine.com/order-magazine/> или через нашу страницу в социальной сети Facebook. Следите за нашими объявлениями!

Мы и дальше делаем все возможное, чтобы продолжать знакомить вас с наиболее актуальными новостями науки, результатами космических миссий, держать вас в курсе событий, происходящих в научном сообществе Земли и на безграничных просторах Вселенной. Удачи вам в наступающем 2019-м году!

Редакция



Руководитель проекта, главный редактор:  
Гордиенко С. П.

Выпускающий редактор:  
Манько В. А.

Редактор:  
Размыслович К. Р. (Минск)

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

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

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

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



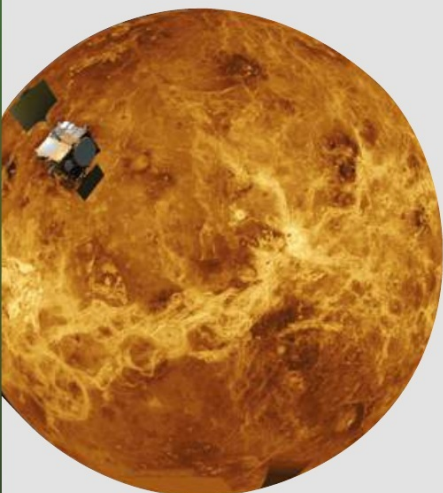
XXX Генеральная ассамблея IAU

4

**БЕСПОРЯДОК НА ОРБИТЕ И КАК С НИМ БОРОТЬСЯ** 48

*Дарья Заремба*

## Солнечная система



**ЗАБЫТАЯ ПЛАНЕТА.**  
Станут ли люди  
небожителями...  
на Венере?

6

*Кирилл Размыслович*

**СЮРПРИЗЫ**  
**МИССИИ «АКАЦУКИ»**

*Хавьер Пералта* 14

### Новости

Dawn перестал выходить на связь	20
OSIRIS-REX достиг цели	22
«Хаябуса-2» ушел на «каникулы»	23
VeriColombo отправился к Меркурию	24
Раскрыта тайна «шрамов» Фобоса	25
Экспедиция на обратную сторону Луны	26
InSight: первый взгляд «внутри» Марса	28
На Луну с частными компаниями	31
Миссию Juno продлили на три года	32
Voyager 2 вышел в межзвездное пространство	34

### Новости

«Союз МС-11»: старт после аварии	44
Dragon 2 готов к полету	47
Начато строительство Dream Chaser	47

## Жизнь на Земле

### Новости

Тающие ледники Гренландии	56
---------------------------	----

### ВЕНДСКИЙ РУБЕЖ.

Страницы каменной летописи	58
----------------------------	----

*Владимир Гриценко, Юрий Шевела*

## Вселенная

### Новости

Галактика, «пожирающая» трех соседей	66
У звезды Барнарда найдена планета	68
Космические тени в созвездии Змеи	69



## Космонавтика

### 2018 И ДАЛЕЕ.

<b>Основные тенденции космонавтики</b>	36
----------------------------------------	----

*Андрей Колесник, Владимир Манько*



## Любительская астрономия

### НЕБО

в январе-феврале 2019 г.	72
--------------------------	----

*Михаил Лашко, Владимир Манько*

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

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

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

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

© ВСЕЛЕННАЯ, пространство, время —  
№ 8-9 (168-169) 2018

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







# XXX Генеральная ассамблея IAU

Комплекс зданий Austria Center Vienna, где проходила XXX Генеральная ассамблея IAU

Генеральную ассамблею Международного астрономического союза (IAU) без преувеличения можно назвать наиболее значимым событием для профессиональных астрономов и представителей сопутствующих специальностей. Эта организация объединяет более 13 тыс. членов из 83 стран мира, а ее руководящие органы уполномочены принимать решения о принципах астрономической номенклатуры, признании заслуг наиболее выдающихся ученых, о том, какие направления астрономии требуют дополнительных усилий и финансирования для своего развития (и о предоставлении такого финансирования из бюджета IAU), а также по многим другим важным вопросам — например, касающимся космических исследований и связей с общественностью. В частности, 12 лет назад на таком же мероприятии в Праге Плутон был лишен статуса планеты, результатом чего стали бурные дискуссии, вышедшие далеко за рамки научного сообщества.

IAU была основана в 1919 г. и в следующем году отметит свое столетие. Самый представительный астрономический форум проводится каждые три года в одном из мировых научных центров. В текущем году его впервые принимала Вена — столица Австрии, где расположен один из старейших мировых университетов (основан в 1365 г.). Здесь в свое время учились или работали Иоганн Кеплер, Эрвин Шредингер,

астроном Иоганн Пализа, физик Феликс Эренхарт, первооткрыватель космических лучей Виктор Хесс и другие выдающиеся ученые, внесшие значительный вклад в развитие астрономии и космологии. Нынешнюю Генеральную ассамблею — тридцатую по счету — посетило свыше трех тысяч делегатов. В медиа-сопровождении этого мероприятия участвовало более 90 аккредитованных журналистов, среди которых уже второй раз были представители редакции журнала «Вселенная, пространство, время».

Программа Генеральной ассамблеи IAU включала в себя тематические лекции и презентации, посвященные самым актуальным астрономическим проблемам. В частности, отдельные лекционные сессии касались исследований карликовых галактик, двойных звезд, интенсивно излучающих в рентгеновском диапазоне, вопросов звездообразования, его связи с появлением планетных систем и возникновением жизни, роли в эволюции Вселенной асимптотических голубых гигантов (так называемых AGB-звезд), перспектив астрометрии и новых инструментов для наблюдений звездного неба — как наземных, так и космических (в первую очередь телескопа им. Джеймса Уэбба — JWST). Особо были выделены общие направления развития астрономии в XXI веке и планирование мероприятий, посвященных предстоящему 100-летию IAU. Еще

один юбилей в следующем году научное сообщество отметит 26 мая, когда исполнится 100 лет со дня наблюдений Артуром Эддингтоном во время полного солнечного затмения эффекта отклонения света звезд в поле тяготения Солнца, предсказанного Альбертом Эйнштейном.

Оба этих юбилея ученые собираются использовать для популяризации науки и привлечения в свои ряды молодежи. Об этом шла речь на вступительной пресс-конференции: по словам генерального секретаря IAU Пьеро Бенвенути (Piero Benvenuti), в ближайшее время организация должна пополниться более чем тысячей новых членов, причем в основном ими станут молодые научные сотрудники, недавно закончившие профильные учебные заведения. Отдельной особенностью этой «новой волны», как отметила Президент IAU Сильвия Торрес-Пеймберт (Silvia Torres-Peimbert), стало большое количество женщин: если раньше их среди профессиональных астрономов было всего 18%, то теперь в отдельных специальностях они даже численно превосходят мужчин. Таким образом, астрономия сейчас явно следует тем же общественным тенденциям, что и человечество в целом.

На протяжении Генеральной ассамблеи в специализированных рабочих группах происходили доклады и дискуссии на тему форм существования во Вселенной барионной (видимой) материи,





▲ Групповой снимок участников XXX Генеральной ассамблеи IAU. 30 августа 2018 г., главная аудитория Austria Center.

IAU/M. Zamani

вручаемой ежегодно выдающимся молодым ученым. Теперь ее присуждают в трех категориях — космологии, генетике и нейрофизиологии.

Лекция итальянского астрофизика Марики Бранкези (Marica Branchesi), вошедшей в список 100 самых влиятельных женщин мира по версии журнала Time, была посвящена гравитационным волнам — «самому долгожданному открытию в истории астрономии» — и тому, что они могут нам рассказать о Вселенной.

Для участников Генассамблеи было организовано также несколько интересных мероприятий (правда, для посещения некоторых из них нужно было иметь приглашение) — в частности, концерт в честь 100-летия IAU и презентация по случаю 50-летия журнала Astronomy & Astrophysics. За пределами конгресс-центра состоялись, в частности, прием в мэрии Вены, экскурсионный вечер в Музее естественной истории и день открытых дверей в венском Планетарии.

Церемония официального закрытия XXX Генеральной ассамблеи IAU прошла 30 августа 2018 г. На ней были представлены новые Президент и Генеральный секретарь астрономического союза, которые должны исполнять эти обязанности на протяжении следующих трех лет. Ими стали профессор молекулярной астрономии Лейденской обсерватории Эвина фон Дисхук (Ewine van Dishoeck) и профессор астрофизики Университета Порту Мария Тереза Лаго (Maria Teresa Lago). Они огласили результаты финального голосования по поводу места проведения XXXII Генеральной ассамблеи в 2024 г. Впервые этот представительный международный форум состоится на африканском континенте — в Кейптауне (ЮАР).

Также впервые в истории органи-

зация пополнилась девятью почетными членами. Таковыми могут стать непрофессиональные астрономы либо представители других профессий, внесшие весомый вклад в развитие и популяризацию астрономии в своих странах. Почетным членом IAU от Украины, по рекомендации Украинской астрономической ассоциации, стал главный редактор журнала «Вселенная, пространство, время» Сергей Гордиенко.

Под конец церемонии состоялась торжественная передача флага IAU представителям Южной Кореи: в этой стране (в городе Бусан) пройдет следующий, 31-й главный форум астрономов планеты.

На итоговой пресс-конференции, проведенной в последний день августа, представители нового руководства IAU подробнее рассказали о планах мероприятий по случаю 100-летия организации и о некоторых изменениях в ее структуре, призванных способствовать дальнейшей популяризации астрономии и улучшению коммуникации профессиональных ученых с широкой публикой. Также была затронута весьма актуальная тема «светового загрязнения» — к сожалению, по мере увеличения народонаселения Земли на ней остается все меньше мест, где ночное небо достаточно темное для полноценных астрономических наблюдений.

▼ Генеральный секретарь IAU Мария Тереза Лаго (слева), Президент IAU Эвина фон Дисхук (справа) и главный редактор журнала «Вселенная, пространство, время» Сергей Гордиенко.



исследований активных галактических ядер, роли магнитных полей в процессах звездообразования, вращения галактик и концентрации в них тяжелых химических элементов, наблюдений Солнца, космической пыли в Солнечной системе, Млечном Пути и других галактиках. Дополнительно обсуждались проблемы идентификации исторических астрономических наблюдений (вплоть до наскальных рисунков), история открытия и современное состояние исследований астероидных семейств, а также возможная приборная комплектация космических телескопов будущего.

Следует отметить, что в этот раз Генеральную ассамблею посетила достаточно представительная украинская делегация, включавшая в себя полтора десятка специалистов (главным образом в области астрофизики и малых тел Солнечной системы).

В традиционной груберовской лекции лауреаты премии Грубера за 2018 г. Жан-Лу Пюже и Нацца-рено Мандолези (Jean-Loup Puget, Nazzareno Mandolesi) рассказали о своем вкладе в изучение неоднородностей реликтового микроволнового фона и о существенном прогрессе в этом направлении, достигнутом благодаря европейской космической обсерватории Planck. Их выступление предваряла небольшая вступительная речь Патрисии Грубер (Patricia Gruber) — вдовы Питера Грубера, основателя премии,



Кирилл Размыслович

«Вселенная, пространство, время»

# ЗАБЫТАЯ ПЛАНЕТА

*Станут ли люди небожителями...  
на Венере?*



**В** прошлом году NASA объявила результаты очередного отбора по программе Discovery. В ее рамках аэрокосмическая администрация рассматривает концепты специализированных миссий, предназначенных для исследований Солнечной системы. Проекты, проходящие все этапы отбора, получают необходимое для их реализации финансирование.

В этот раз победа досталась «астероидному лобби». NASA согласилась профинансировать миссии Lucy и Psyche, целями которых станут малые тела Солнечной системы. В тени этого «праздника» почти незамеченным осталось разочарование другой группы ученых. Дело в том, что два из пяти проектов-претендентов предполагали отправку исследовательских аппаратов к Венере. Многие планетологи надеялись, что уж в этот раз агентство точно расщедрит на финансирование первой с 1989 г. американской экспедиции к ближайшей планете.

Увы, но их надежды снова оказались напрасны. Руководство NASA и далее предпочитает делать вид, что Венере нет места в космической повестке — несмотря на то, что этот мир по-прежнему скрывает немало тайн, разгадка которых может приблизить нас к пониманию того, какое будущее ожидает нашу планету.

## От планеты-загадки к забытой планете

Венера не всегда находилась на задворках космических исследований. В середине XX века «Утренняя звезда» считалась самой загадочной планетой Солнечной системы. Научное сообщество практически ничего не знало о ней, кроме того, что по своему размеру и массе она напоминает Землю. Догадки по поводу того, что же скрывается под густым облачным покровом, простирались от теории скованного вечными льдами мира до планеты, покрытой глобальным нефтяным океаном. У фантастов той эпохи была собственная Венера: они описывали ее как доисторическую версию Земли. Многочисленные

авторы рисовали поражающие воображение картины жаркого, болотистого мира, населенного всякими экзотическими существами.

К сожалению, уже первые автоматические аппараты не оставили камня на камне от этих картин. Оказалось, что давление у поверхности планеты достигает чудовищного значения в 92 атмосферы, а средняя температура составляет около 460°C — это даже больше, чем на дневной стороне Меркурия. При такой температуре плавятся свинец и цинк. Буквально в одночасье Венера трансформировалась из мира, где многие надеялись найти жизнь, в наиболее негостеприимный уголок Солнечной системы.

Последующие космические миссии существенно расширили наши знания об этом странном небесном теле. Запущенные по программе «Венера» советские станции сумели пробиться сквозь газовую оболочку планеты и передали фотографии ее пустынных ландшафтов. Аппараты «Вега» сбросили в венерианскую атмосферу первые в истории стратостаты, а оснащенные радаром зонды Pioneer Venus, «Венера-15», «Венера-16» и Magellan помогли составить глобальную топографическую карту поверхности.

Однако позже интерес к Венере существенно угас. За последние четверть века к ней было запущено лишь две межпланетных миссии: европейская Venus Express, проработавшая на околовенерианской орбите с 2006 по 2015 г., и японская «Акацуки», в данный момент являющаяся единственным аппаратом, продолжающим изучение планеты.

Что же касается NASA, то эта организация взяла длительную паузу. Согласно популярному мнению, нежелание агентства добиваться финансирования нового венерианского проекта во многом связано со сложностями его «раскрутки». Дело в том, что в эпоху интернета и соцсетей фактор «зрелищности» начал играть важную роль в том, получит ли космическая миссия зеленый свет. Поэтому американцам намного проще попросить денег на новый марсоход, чем на тот же спускаемый аппарат для Венеры. Марсианский ровер прослужит много лет, регулярно передавая новые фотографии, которые можно будет публиковать в качестве наглядной демонстрации

▲ Так в представлении художника выглядит действующий венерианский вулкан.

ESA



космических успехов США. Венерианский же посадочный зонд, скорее всего, проработает лишь несколько часов и вряд ли получит особо впечатляющие изображения.

## Неразгаданные тайны «Утренней звезды»

Несмотря на то, что сейчас мы знаем об «Утренней звезде» намного больше, чем 50 лет назад, она по-прежнему таит множество загадок. Главная из них — почему Венера так разительно отличается от Земли? Если по основным физическим характеристикам обе планеты можно назвать сестрами, то во всем остальном это совершенно разные миры.

Земля совершает один оборот вокруг своей оси за 24 часа. Венере же на это нужно 243 дня, причем она вращается ретроградно, то есть в направлении, противоположном направлению вращения большинства тел Солнечной системы (и обращения больших планет вокруг Солнца). Вдобавок она является одной из двух известных нам планет, не имеющих естественных спутников.

Многие астрономы склонны связывать два этих факта. Существует предположение, что на заре эволюции Солнечной системы Венера пережила мощное столкновение, в буквальном смысле «закрутившее» ее в обратном направлении. Если у нее имелись спутники, то после такого катаклизма они начали постепенно приближаться к планете и, в конце концов, упали на ее поверхность. Подобная катастрофа могла привести к остановке конвекции в венерианском ядре и его постепенному затвердеванию. Из-за этого «Утренняя звезда» лишилась глобального магнитного поля.

Некоторые ученые выдвигают

и более экзотические догадки. Согласно одной из недавно опубликованных гипотез, некогда спутником Венеры мог быть... Марс. По этой версии изначально оба тела являлись двойной планетой. Однако постепенно накапливавшиеся гравитационные возмущения привели к тому, что меньший из ее компонентов отправился в «свободное плавание» по Солнечной системе, в конце концов заняв современную марсианскую орбиту. Более крупный же, наоборот, приблизился к светилу. Вызванные этим переходом эффекты теоретически могли бы объяснить нынешнее аномальное вращение «Утренней звезды». Также эта гипотеза дает ответ на вопрос, каким образом древний Марс мог поддерживать гидросферу в те далекие времена, когда светимость Солнца была на 30% меньше, чем сейчас.

Еще одна загадка второй планеты связана с ее рельефом: она обладает на удивление сглаженной поверхностью с относительно небольшим по земным меркам перепадом высот (на ней имеются достаточно высокие пики, но, в отличие от Земли, их число невелико). Основываясь на количестве кратеров, планетологи оценивают ее возраст примерно в 300-500 млн лет. Считается, что в то время Венера пережила некое катастрофическое событие, в результате которого ее практически полностью покрыла жидкая лава, стерев все следы старого рельефа. По одной из версий, подобным образом планета избавляется от излишков тепла, накапливающегося в ее недрах. Поскольку там отсутствует тектоника плит, характерная для Земли, сброс тепла осуществляется посредством глобальных вулканических извержений. Не исключено, что этот процесс является циклическим.

Пока что это — лишь предположения. На данный момент ученые не имеют непосредственной информации о внутреннем строении Венеры. Чтобы ее получить, необходимо посадить на венерианскую поверхность специальный зонд с сейсмометром, аналогичный аппарату InSight.

Однако самый главный вопрос, ответ на который хотели бы узнать планетологи — какой была Венера в далеком прошлом, вскоре после формирования Солнечной системы, когда Солнце светило слабее, чем сейчас, и климат планеты теоретически мог быть намного благоприятнее. Имела ли она океан, где могла зародиться жизнь? Или же она всегда оставалась мертвым миром?

В 2016 г. ученые из Института космических исследований NASA им. Годдарда (Goddard Institute for Space Studies, New York, USA) опубликовали результаты компьютерного моделирования климата древней Венеры. Они попытались воспроизвести несколько возможных сценариев, в которых планета была покрыта неглубоким океаном с объемом около 10% земного.

В сценарии, в котором Венера обладала нынешней топографией, а период ее вращения равнялся 16 дням, средняя температура планеты 2,9 млрд лет назад составляла 56°C. Хотя это и значительно меньше, чем сейчас, но такие условия все же не назовешь слишком комфортными.

Подставив в модель современное значение периода вращения планеты, ученые получили еще более интригующие результаты. При условии наличия неглубокого океана и нынешнего рельефа 2,9 млрд лет назад ее средняя температура равнялась бы 11°C. Для сравнения: средняя температура Земли в наши дни составляет 15°C. Моделирование показало, что из-за медленного



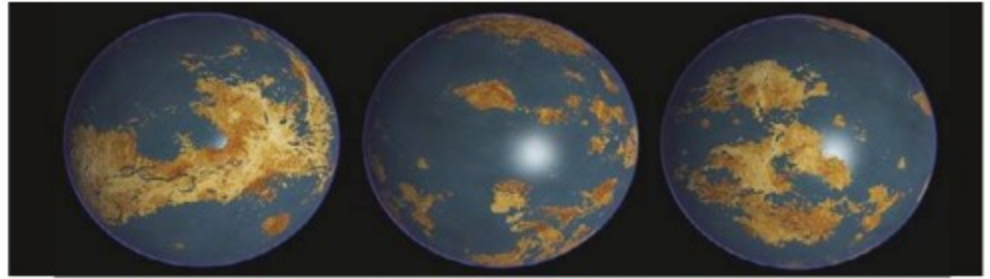


вращения нагрев гипотетического океана Венеры на дневной стороне должен был приводить к образованию плотного слоя облаков, подобно зонтику, защищавшего ее от избытка солнечного излучения.

По мере увеличения светимости Солнца Венера должна была постепенно разогреваться. Даже в этом случае еще 715 млн лет назад она могла оставаться пригодной для жизни, но в какой-то момент все же прошла «точку невозврата». Усиливающийся парниковый эффект запустил процесс выделения углекислого газа из горных пород, что привело к радикальному росту температуры и давления. В результате венерианский океан полностью испарился. Под действием ультрафиолетового излучения нашего светила молекулы воды начали распадаться на кислород и водород, а поскольку магнитное поле планеты к тому времени полностью исчезло (если оно вообще когда-то существовало), солнечный ветер начал активно «выдувать» атомы этих газов из атмосферы в космос. Аппарат Venus Express нашел косвенное подтверждение этой теории, обнаружив у Венеры протяженный «водородный хвост».

Подобные климатические модели являются во многом умозрительными. Но они несут нам больше информации, чем кажется: заглядывая в прошлое «Утренней звезды», мы можем увидеть путь, который суждено пройти нашей планете. В далеком будущем Земля, по всей вероятности, станет аналогом нынешней Венеры. Увеличение интенсивности солнечного излучения настолько поднимет температуру ее поверхности, что это сделает невозможным дальнейшее существование жизни в нынешнем виде. Некоторые ученые и вовсе высказывают опасения, что спровоцированное человеком глобальное потепление может привести к схожим катастрофическим последствиям уже в самое ближайшее время.

Конечно, все это лишь теоретические рассуждения. Пока нам не хватает данных, чтобы сделать определенные выводы о том, каким в действительности был климат древней Венеры. Но если допустить, что в далеком прошлом условия на ее поверхности были схожи с земными, то возникает еще один



вопрос: если на планете успела появиться жизнь — может ли она существовать там и сейчас?

На первый взгляд предположение о возможности жизни на современной Венере кажется лишенным смысла. Ни одно известное науке живое существо не способно продержаться на ее поверхности и нескольких секунд. Но не стоит забывать, что процесс разогрева Венеры не был одномоментным. Скорее всего, он растянулся на многие миллионы лет, что дало бы местным организмам достаточно времени для адаптации к происходившим изменениям.

Несколько лет назад значительный резонанс в СМИ вызвало заявление главного научного сотрудника Института космических исследований РАН Леонида Ксанфомалити о том, что советские посадочные аппараты серии «Венера» сфотографировали на поверхности планеты некие объекты, напоминающие «живых существ». Большинство ученых отнеслось к публикации скептически. Скорее всего, «существа» на самом деле представляют собой комбинацию из артефактов изображений и, возможно, сброшенных крышек от камер самих «Венер».

Более перспективной кажется гипотеза, согласно которой микробная жизнь могла перебраться в более комфортные верхние слои атмосферы. Межпланетные зонды нашли в газовой оболочке Венеры следы сероводорода  $H_2S$ , сернистого газа  $SO_2$ , карбонилсульфида  $COS$  и хлора. При определенных обстоятельствах эти вещества могут рассматриваться в качестве потенциальных биомаркеров.

Также ученые давно обратили внимание на необычные темные пятна и узоры, наблюдаемые на ультрафиолетовых снимках венерианского облачного покрова. Их происхождение все еще остается предметом дискуссий. Возможно, они объясняются присутствием в облаках Венеры соединений серы

▲ К сожалению, пока мы можем судить об очертаниях древних венерианских континентов весьма приблизительно, исследуя их остатки в виде обширных гранитных массивов. Примерно полмиллиарда лет назад рельеф планеты был полностью «стерт» мощными глобальными извержениями.

и железа. Но есть и другая версия. Ее сторонники считают, что это — огромные колонии бактерий, использующих ультрафиолетовое излучение Солнца в качестве источника энергии. Согласно результатам одного исследования, облака соседней планеты потенциально смогли бы поддержать существование биомассы объемом свыше миллиарда тонн.

## Проекты будущих миссий

Раскрыть многочисленные тайны Венеры смогут лишь новые автоматические разведчики. К сожалению, список официально утвержденных миссий ко второй планете Солнечной системы пока невелик. В ближайшие годы ряд ее пролетов выполнят зонды Parker Solar Probe, BepiColombo и Solar Orbiter. Но эти аппараты не предназначены для ее изучения — они просто воспользуются гравитацией «Утренней звезды» для изменения своих орбит.

Что же касается специализированных миссий, то тут все намного сложнее. За последние годы американские планетологи разработали целый ряд проектов новых венерианских зондов. Одним из наиболее проработанных концептов являлся космический аппарат VISE (Venus In Situ Explorer), состоящий из спускаемого модуля и аэростата для изучения атмосферы планеты. Этот проект участвовал в отборе по программе New Frontiers, но так и не смог получить необходимую поддержку, а потому не был выбран для реализации.

В рамках уже упомянутой программы Discovery ученые предложили NASA проекты двух других ве-



нерианских миссий: DAVINCI (Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble gases, Chemistry, and Imaging) и VERITAS (Venus Emissivity, Radio science, InSAR, Topography, and Spectroscopy). Первая из них предполагала высадку на Венеру зонда, предназначенного для изучения атмосферы. Второй проект предусматривал вывод на орбиту вокруг планеты спутника для картографирования поверхности и регистрации вулканической активности. Эти проекты также не получили необходимого финансирования.

«В запасе» у NASA имеется еще немало интересных концептов венерианских миссий. Например, VAMP (Venus Atmospheric Maneuverable Platform) — под этим обозначением скрывается проект разработанного компанией Northrop Grumman самолета на солнечных батареях, предназначенного для исследований верхних слоев атмосферы Венеры.

Куда более экзотическую концепцию разработали сотрудники Лаборатории реактивного движения (JPL NASA). Они предложили высадить на планету механический венероход AREE (Automation Rover for Extreme Environment), в конструкции которого не используются электронные компоненты. По замыслу инженеров, ровер должен получать энергию с помощью воздушной турбины, приводящей в движение гусеницы. Для обхода препятствий предлагается использовать систему, состоящую из бампера, шестеренок с переключениями передач и эксцентрика. Мобильную лабораторию оснастят простейшими инструментами, способными измерять скорость ветра, температуру и давление. Трансляцию собранных данных собираются осуществлять с помощью механического радарного отражателя, имеющего возможность передавать сигналы в формате азбуки Морзе.

Пока что все эти проекты так и остаются на бумаге по причине отсутствия необходимого финансирования. Поэтому американской аэрокосмической администрации приходится рассматривать варианты сотрудничества с космическими ведомствами других стран. В настоящее время специалисты NASA изучают возможность участия в российском проекте «Венера-Д». Он



▲ Еще один проект летательного аппарата для исследований Венеры, разрабатываемый в рамках концепции *Lifting entry/atmospheric flight (LEAF)*. Мини-самолет, построенный по схеме «летающее крыло», сможет парить над облаками планеты на протяжении земного года.

*Northrop Grumman*

предполагает посадку на планету долгоживущего спускаемого аппарата (отсюда буква «Д» в обозначении), который сможет осуществить программу комплексных исследований ее поверхности.

Очевидно, что в нынешней ситуации «Роскосмос» не способен реализовать такой проект самостоятельно. Поэтому организация совместной миссии с разделением расходов может оказаться удачным выходом как для него, так и для NASA. Но даже если стороны договорятся о сотрудничестве и в дело не вмешается политика, запуска зонда все равно не стоит ожидать раньше 2025 г.

Определенные планы по изучению Венеры имеются и у азиатских держав. На протяжении последних нескольких лет Индийская организация космических исследований (ISRO) занималась разработкой венерианской миссии. В ее рамках планируется отправить к «Утренней звезде» орбитальный аппарат, на котором будет размещено 12 научных инструментов общим весом в 100 кг, в том числе радар, ультрафиолетовый спектрометр, инфракрасная камера, фотометр, масс-спектрометр, приборы для изучения ионосферы и параметров солнечного ветра. Также рассматривается возможность включить в состав миссии стратостат для исследования верхних слоев атмосферы планеты.

Запуск индийской миссии к Венере запланирован на середину 2023 г. ISRO обратилась с предложением о сотрудничестве ко всем заинтересованным космическим агентствам. На него уже откликнулся Национальный центр космических исследований Франции (CNES). Недавно оба ведомства заключили соответствующее со-

глашение о кооперации.

В этом контексте, конечно, нельзя не упомянуть и Китай, который в 2016 г. представил публике макет орбитального аппарата, предназначенного для изучения венерианской атмосферы. Однако ввиду большого количества космических проектов, реализуемых КНР в настоящее время, китайская миссия к Венере, по всей видимости, состоится еще не скоро. Ориентировочно ее запуск станет возможным не раньше середины следующего десятилетия.

## «Летающие города» Венеры

Как бы долго ни продолжался спад интереса к Венере, со временем к ней все же отправятся новые исследовательские зонды. Возможно, им удастся обнаружить доказательства того, что в прошлом «Утренняя звезда» была водным миром, или даже найти следы жизни. В связи с этим возникает вопрос — возможна ли пилотируемая экспедиция на ближайшую планету?

На нынешнем уровне развития венерианская поверхность для людей недостижима. Человечество пока не располагает технологиями, которые бы позволили создать космический корабль, способный сесть на Венеру, выдержать экстремальные условия на ее поверхности, а затем успешно взлететь.

Но, хоть люди и не могут высадиться на саму Венеру, они в состоянии покорить ее небо. Как ни парадоксально, но именно в атмосфере планеты можно найти участок (а точнее говоря — слой), где условия весьма напоминают земные. Он находится на высоте примерно 50-60 км от поверхности. Атмосферное давление на этой отметке близко к его значениям на уровне моря на Земле, а температура лежит в достаточно комфортном диапазоне от 0°C до 75°C. Можно вспомнить и про гравитацию, которая лишь на 10% меньше земной.

Кроме того, на Венере смесь азота и кислорода — то есть земной воздух — имеет «положительную плавучесть»: наполненная ими оболочка будет дрейфовать в атмосфере планеты, подобно гелиевому аэростату на Земле. Это открывает возможность создания летающих городов,



которые смогли бы парить над раскаленной венерианской поверхностью, никогда не приближаясь к ней.

У подобных сооружений есть определенные преимущества по сравнению, скажем, с гипотетическим марсианским поселением. Во-первых, конструкторам «летающего города» не придется биться над решением проблемы его обогрева. Во-вторых, он сможет всегда дрейфовать над освещенной стороной планеты, что позволит использовать для получения энергии солнечные батареи. В-третьих, отпадает необходимость тщательной герметизации и дополнительного усиления конструкции модулей с целью противостояния их разрыву в условиях низкого внешнего давления, а в случае необходимости выйти наружу (например, для проведения ремонтных работ) экипажу не понадобятся громоздкие скафандры — достаточно и герметичных костюмов с кислородными масками. Главное — обеспечить их антикоррозионным покрытием для предохранения от воздействия капелек серной кислоты. Наконец, в-четвертых, плотная венерианская атмосфера сыграет роль щита, задерживающего большую часть опасного космического излучения.

Но было бы ошибкой утверждать, что летающее поселение станет идеальной площадкой для людей. У него имеется и ряд слабых мест. Такая колония в принципе не прощает ошибок. Ее обитателям придется жить с осознанием того, что любое серьезное повреждение оболочки комплекса, приводящее к его снижению, почти наверняка повлечет их гибель. То же самое касается и кораблей, которые будут доставлять на станцию новые экипажи.

Ввиду своей специфики «летающий город» будет отрезан от ресурсов поверхности планеты (и очевидно, что любой предмет, оказавшийся за бортом летающей колонии, будет навсегда потерян). Все, что нельзя извлечь из газовой оболочки Венеры, придется завозить с помощью кораблей снабжения. То же марсианское поселение может организовать добычу водяного льда, чтобы использовать его в качестве источника воды и ракетного топлива — водорода и кислорода. Венерианское атмосферное поселение лишено этой роскоши, а это значит, что оно в принципе никогда не сможет стать полностью самодостаточным. А плотная атмосфера и большая гравитация хоть и хороши с точки зрения условий жизни людей, но серьезно усложняют задачу сообщения со станцией. Чтобы взлететь с нее и достичь орбиты, придется истратить существенно больше топлива, чем при старте с поверхности Марса.

И все же идея создания летающего города на Венере выглядит слишком интригующей, чтобы инженеры забыли о ней. В 2015 г. сотрудники Научно-исследовательского центра Лэнгли (Langley Research Center, Hampton, Virginia, USA) опубликовали дорожную карту, цель которой — проложить путь к организации постоянного чело-

веческого присутствия на «Утренней звезде». Она состоит из пяти фаз.

На первом этапе в атмосферу планеты доставят автоматический дирижабль, предназначенный для отработки технологий, которые будут использованы во время последующих пилотируемых экспедиций. На втором этапе на орбиту вокруг Венеры выйдет космический корабль с экипажем. Третий этап предполагает спуск в атмосферу дирижабля с двумя астронавтами. В течение 30 дней они будут изучать «Утреннюю звезду», после чего улетят оттуда при помощи небольшой ракеты, состыкуются с оставшимся на орбите кораблем и вернутся на Землю. Четвертый этап предполагает доставку в венерианскую атмосферу более крупного дирижабля, способного продолжать полет в течение года. Пятый этап — создание постоянного летающего поселения.

Конечно, все это — лишь видение на дальнюю перспективу. Чтобы реализовать подобные проекты, необходимы очень серьезные средства. А еще у человечества должен возродиться подлинный интерес к удивительному миру, который расположен не так уж далеко от нашей планеты и когда-то, возможно, был очень похож на нее, а сейчас стал ее полной противоположностью.



Возможный вид автономного ровера для экстремальной среды (Automation Rover for Extreme Environments — AREE), создаваемого для исследований Венеры по образцу механических компьютеров.

NASA/JPL-Caltech

▲ Проект HAVOC (High Altitude Venus Operational Concept), предусматривавший отправку 30-дневной пилотируемой экспедиции на летающую базу в атмосфере Венеры, разрабатывался инженерами NASA, но в настоящее время приостановлен. Одной из главных трудностей, которую так и не удалось преодолеть, стала посадка спускаемого аппарата на парящую платформу в условиях сильного ветра. Также пока не удалось удовлетворительно решить вопрос защиты экипажа и техники от коррозионного воздействия серной кислоты, входящей в состав венерианских облаков. Возможно, к этому проекту удастся вернуться на новом уровне развития технологий...

NASA



# ВЕНЕРА: внутренняя структура и атмосфера

Несмотря на то, что Венера образовалась в той же зоне протопланетного диска, что и Земля, условия на поверхностях двух планет кардинальным образом отличаются. Тем не менее, ученые склонны считать, что их внутреннее строение в основном похоже.

По размеру и плотности Венера не сильно отличается от Земли. Вероятнее всего, ее химический состав и внутренняя структура тоже аналогичны. В центре планеты должно присутствовать металлическое ядро с твердой «сердцевинкой» и расплавленной оболочкой. Между ним и твердой корой, демонстрирующей явные признаки вулканической активности, расположена горячая жидкая мантия — скорее всего, базальтовая. Отсутствие у Венеры магнитного поля (считается, что на Земле оно генерируется благодаря кольцевым токам в железном ядре) ученые объясняют ее крайне медленным вращением.

Еще одна особенность Венеры — наиболее плотная и тяжелая атмосфера среди планет земной группы, почти на 96,5% состоящая из углекислого газа и содержащая в заметных количествах другие вещества: азот (3,5%), сернистый газ  $\text{SO}_2$ , серный ангидрид  $\text{SO}_3$  и серную кислоту, густые облака из капель которой постоянно окутывают планету плотным слоем, не позволяющим наблюдать ее поверхность в видимом свете.

## «Внутренности» Венеры

Считается, что венерианское ядро, как и земное, состоит в основном из железа и никеля, однако немного более низкая плотность ближайшей планеты позволяет утверждать, что в нем также содержатся заметные примеси легких элементов — в частности, серы. Как и на Земле, в недрах Венеры происходит радиоактивный распад нестабильных изотопов, нагревающий ее мантию и поддерживающий ее в расплавленном состоянии, благодаря чему в ней возникают конвективные потоки и — как следствие — вулканизм. На приведенной трехмерной модели диаметр ядра, толщина отдельных слоев и размеры неровностей рельефа показаны не в масштабе.

## Ядро

В центре Венеры имеется ядро, состоящее главным образом из твердого железо-никелевого сплава со следами серы и окруженное полужидким «внешним ядром» из расплавленного сернистого железа. О соотношении между внутренней (твердой) и внешней компонентой ученые пока не могут судить даже приблизительно.





**Мантия**

Мантия состоит из горячих расплавленных скалистых минералов, содержащих в основном оксиды железа, кремния, кальция и магния. Ближе к поверхности она заметно остывает и имеет более высокую вязкость. За счет разницы температур вещество мантии постоянно перемешивается медленными конвективными потоками.

**Кора**

Сравнительно тонкий твердый поверхностный слой, укрывающий мантию, состоит из базальтов и других силикатных пород (обогащенных оксидом кремния). Местами венерианская кора «вспухает» под действием мощных вулканических сил, связанных с конвекцией в верхней мантии.

**Атмосфера**

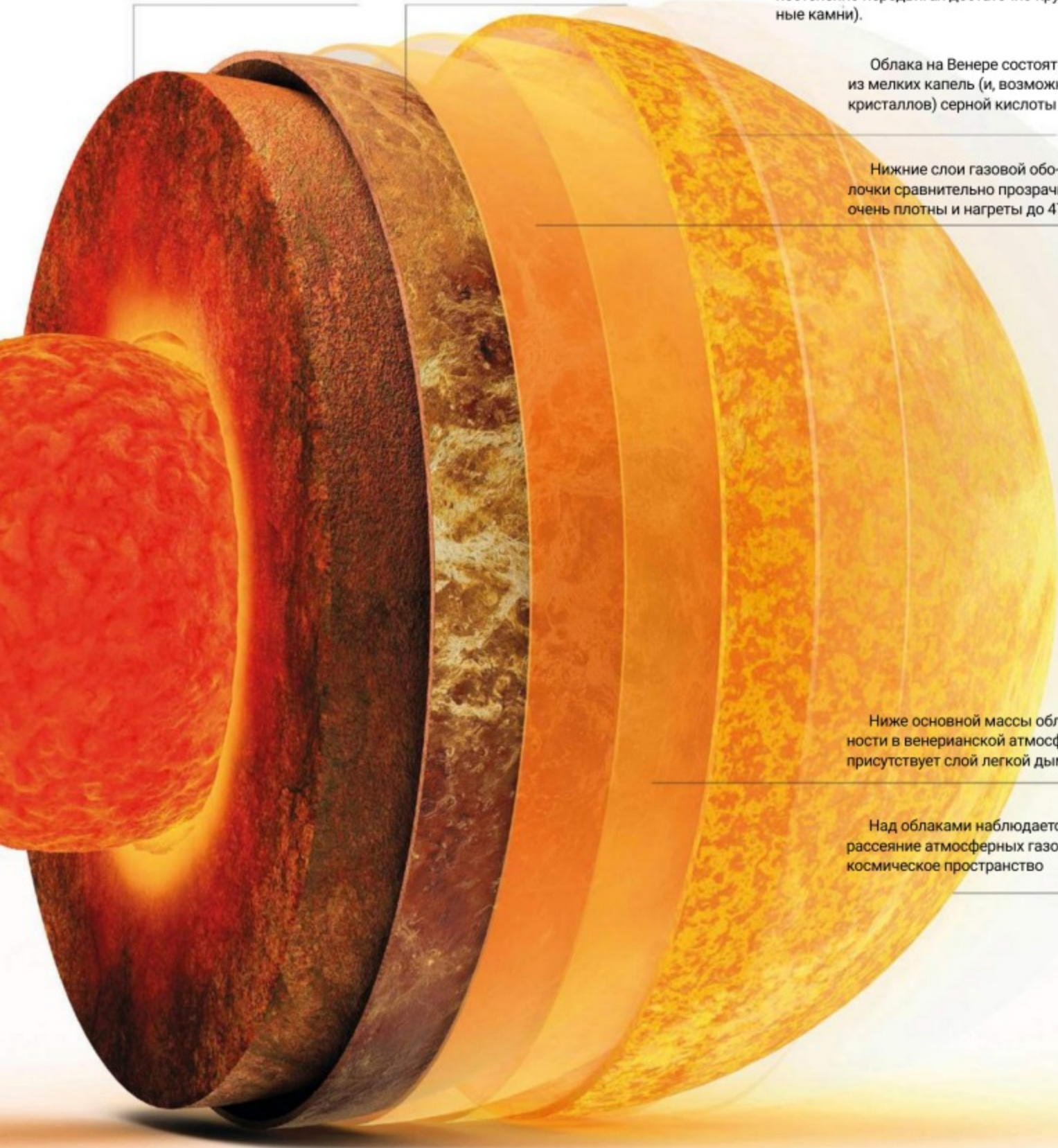
Беспросветные венерианские облака встречаются на высотах от 32 до 90 км. Приповерхностный слой атмосферы практически прозрачен; по-видимому, там не бывает сильных ветров из-за большой вязкости углекислого газа при высоких давлениях (более того: там он иногда ведет себя как жидкость, «стекая» со склонов и постепенно передвигая достаточно крупные камни).

Облака на Венере состоят из мелких капель (и, возможно, кристаллов) серной кислоты

Нижние слои газовой оболочки сравнительно прозрачны, очень плотны и нагреты до 470°C

Ниже основной массы облачности в венерианской атмосфере присутствует слой легкой дымки

Над облаками наблюдается рассеяние атмосферных газов в космическое пространство



Использована иллюстрация к книге «The Planets: the Definitive Visual Guide to our Solar System» (издательство DK, 2014 г.), размещенная на сайте <https://www.amazon.com/Planets-Robert-Dinwiddie/dp/1465424644>





# СЮРПРИЗЫ МИССИИ «АКАЦУКИ»

**Хавьер Пералта**

Японское агентство космических исследований (Javier Peralta, JAXA ITYF)

Доклад прочитан на XXX Генеральной ассамблее Международного астрономического союза 24 августа 2018 г.

Перевод: Владимир Манько  
Редактура: Сергей Гордиенко

Редакция несет ответственность за корректность перевода, научно-популярную интерпретацию некоторых фрагментов доклада при полном сохранении смысла изложенного лектором, а также подбор иллюстраций (на основе презентации докладчика) и подписей к ним.

*Изображение Венеры, составленное по результатам радарной съемки американского зонда Magellan (недостающие данные предоставил аппарат Pioneer Venus 1, работавший на орбите вокруг планеты с декабря 1978 г. по октябрь 1992 г.).*

NASA/JPL





## Хавьер Пералта

Испанский планетолог, специализирующийся на исследованиях Венеры. В 2003 г. окончил Университет Ла Лагуна (остров Тенерифе, Испания) по специальности «Астрофизика и прикладная физика», в 2005–2009 гг. учился в аспирантуре в Университете страны Басков (Бильбао, Испания), позже работал в Центре астрономии и астрофизики Лиссабонского университета (Португалия), с февраля 2013 г. по декабрь 2015 г. — сотрудник Университета Андалусии (Гранада, Испания). С 2016 г. участвует в сопровождении миссии «Акацуки». Основные научные работы касаются распределения ветров и температур в различных слоях венерианской атмосферы.

Еще одна существенная разница между планетами — масса и состав газовых оболочек: венерианская состоит в основном из углекислого газа, что является причиной сильнейшего парникового эффекта. Также Венера постоянно укутана плотными облаками. Их главный компонент — мелкие капли серной кислоты. Большая часть их находится на высотах от 45 до 70 км. В среднем плотность этих облаков невелика, но в определенных спектральных диапазонах они демонстрируют высококонтрастные детали, появляющиеся благодаря присутствию неизвестного компонента, распределенного достаточно неравномерно и интенсивно поглощающего ультрафиолет. Ученые пока не имеют даже идей о возможной природе этого вещества — известно только, что оно поглощает до 50% УФ-излучения и присутствует, по-видимому, главным образом в верхних облачных слоях.

Понятно, что знание природы такого активного поглотителя необходимо для понимания механизмов венерианского парникового эффекта (самого сильного в Солнечной системе) и вообще динамики атмосферы этой планеты.

Из-за намного более медленного вращения Венеры и небольшого наклона ее экватора к плоскости орбиты уравнения, описывающие динамическое равновесие ее газовой оболочки, существенно отличаются от тех, которые используются для описания атмосферы Земли. На нашей планете скорость уменьшения атмосферного давления по мере подъема от поверхно-

сти практически обратно пропорциональна высоте — такая модель называется геострофической. Также на направление воздушных потоков здесь сильно влияет вращение планеты (самое быстрое среди планет земной группы), в результате чего большинство ветров дует параллельно экватору. На Венере этот фактор незначителен; тем не менее, в ее атмосфере также доминируют широтные ветра, движущиеся в 60 раз быстрее линейной скорости вращения ее твердой поверхности. Этот эффект планетологи назвали «суперротацией».

Для изучения Венеры используется методика наблюдений в разных участках спектра. В основном мы «видим» тепловое излучение различных облачных слоев, но некоторые приборы позволяют непосредственно наблюдать ее поверхность. Также мы имеем возможность регистрировать кислород до высоты 100 км. В своих исследованиях суперротации мы сосредоточились на ультрафиолетовом, инфракрасном и видимом излучении облаков на дневной стороне. Наблюдения ночной стороны в более далеком ИК-диапазоне позволяют изучать глубокие атмосферные слои (как уже было сказано, практически вплоть до поверхности).

В свое время европейский зонд Venus Express исследовал распределение скоростей ветров в венерианской атмосфере в зависимости от высоты и широты путем наблюдений за облаками в спектральной линии 380 нм (на границе видимого и ультрафиолетового

Главная цель миссии «Акацуки» — исследование Венеры, ближайшей к нам планеты. Если сравнить ее с Землей, она является самой похожей по размеру, массе, плотности и составу. На первый взгляд отличаются только их расстояния до Солнца. Но если мы возьмем другие физические параметры — например, вращение вокруг оси — то Венера оказывается наиболее медленно вращающейся планетой Солнечной системы: на один оборот у нее уходит 243 земных дня. Это не может не сказываться на динамике венерианской атмосферы.



диапазона), а также в ближнем инфракрасном диапазоне — на длинах волн 900 и 1700 нм. В целом было подтверждено, что эффекты суперротации усиливаются по мере подъема от поверхности.

Кроме суперротации, происходящей в широтном направлении, в атмосфере Венеры существует также меридиональная циркуляция, переносящая вещество (вместе с моментом импульса) от экваториальных областей к полюсам и обратно. В задачи миссии «Акацуки», в частности, входил поиск ответа на вопрос, насколько эффективен этот процесс.

Первая японская миссия к Венере посвящена главным образом исследованиям суперротации. Научная нагрузка космического аппарата состоит практически исключительно из фотокамер. Также на нем установлен радар для измерения вертикального профиля температур, плотности капелек серной кислоты и концентрации электронов в ионосфере. Все камеры снабжены разнообразными фильтрами, позволяющими им наблюдать различные слои атмосферы.

Изначально предполагалось, что орбита «Акацуки» будет лежать вблизи экваториальной плоскости планеты, благодаря чему его наблюдения дополняли бы данные, полученные зондом Venus Express на протяжении девяти лет его работы.

«Акацуки» вышел на орбиту вокруг Венеры в декабре 2015 г. с пятилетней задержкой, причем

► Космический аппарат «Акацуки» оборудован пятью приборами для получения изображений, каждый из которых предназначен для исследования различных аспектов венерианской атмосферы. Сверху вниз: камера LAC (Lightning and Airglow Camera) для регистрации молний на ночной стороне Венеры в видимом диапазоне; камера дальнего инфракрасного диапазона LIR (Longwave Infrared camera) для измерения температуры верхних облачных слоев по их излучению на длине волны 10 мкм; ультрафиолетовая камера UVI (Ultraviolet Imager), способная измерять концентрации диоксида серы и других соединений в венерианских облаках на дневной стороне планеты; камеры ближнего инфракрасного диапазона IR1 и IR2 наблюдают соответственно тепловое излучение поверхности на длине волны 1 мкм и нижних слоев атмосферы в линии 2 мкм.

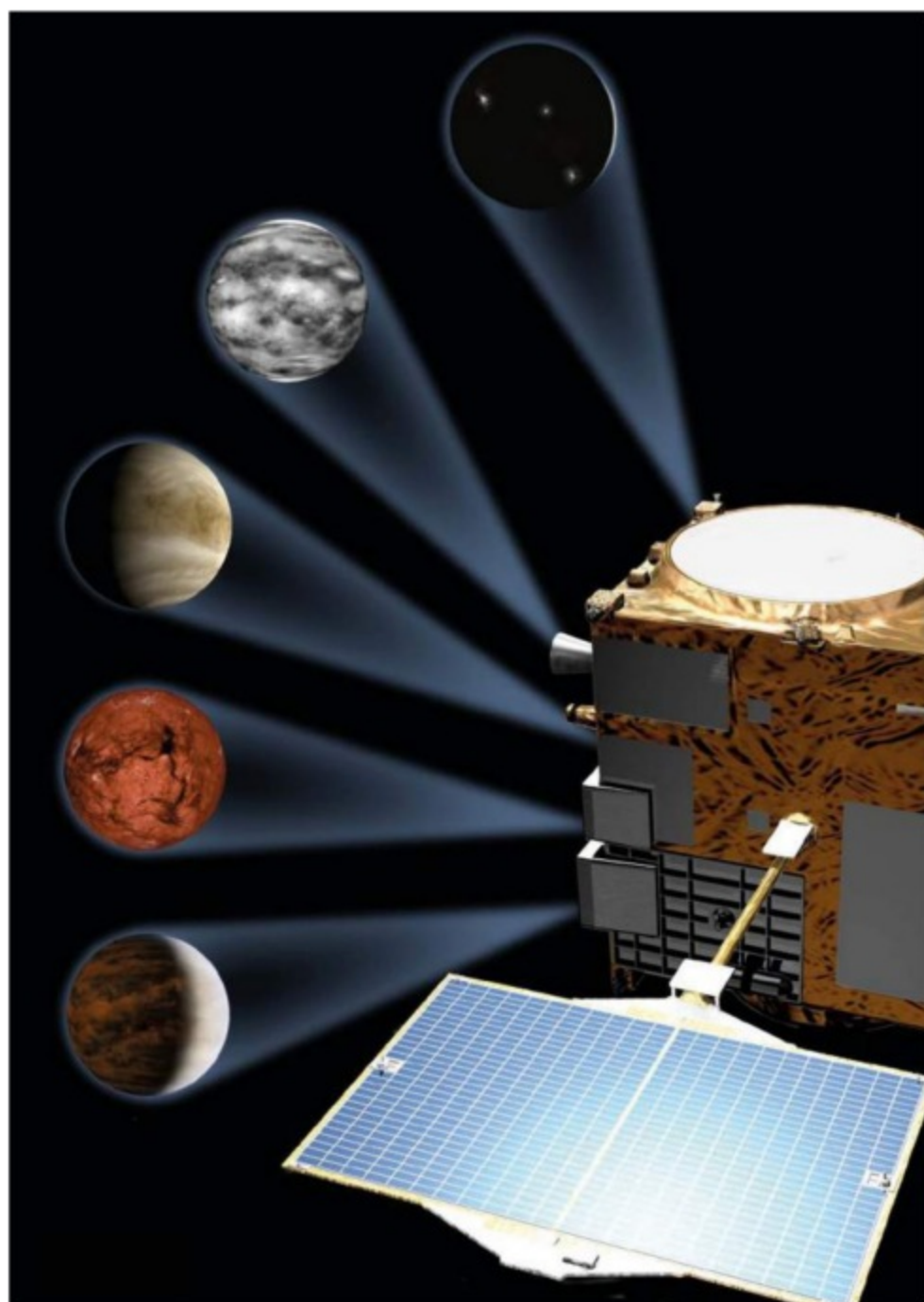
его финальная траектория заметно отличалась от расчетной — за лишних 5 лет космических странствий главный двигатель аппарата полностью вышел из строя, а вспомогательные двигатели не могли обеспечить нужный тормозной импульс. Японские инженеры разработали несколько стратегий достижения целевой орбиты, и в итоге им почти удалось это сделать.

Камера UVI ведет фотографирование на длинах волн 283 нм и 365 нм (последняя непосредственно примыкает к фиолетовому концу видимого спектра). В первой из этих линий, как мы уже знаем, очень хорошо проявляются детали, связанные с избыточной абсорбцией ультрафиолета венерианской атмосферой, поэтому, объединяя результаты съемки через оба филь-

тра, можно выделить следы поглощения уже упомянутым неизвестным компонентом.

Следующая камера — IR2 — в основном ведет регистрацию инфракрасного излучения более глубоких облачных слоев на длинах волн 1,74, 2,02, 2,26 и 2,32 мкм (на волне 1,65 мкм производится съемка небесной сферы для изучения распределения яркости зодиакального света — солнечного излучения, рассеянного частицами межзвездной пыли). Она позволяет измерить концентрацию монооксида углерода CO на разных высотах. Также по результатам съемки дневной стороны планеты можно рассчитать атмосферное давление и оценить плотность облаков.

Камера IR1 используется для зондирования среднего слоя обла-





ков на дневной стороне и съемки теплового излучения поверхности (на длинах волн 1,01 мкм и 900 нм). Наконец, на космическом аппарате установлен инфракрасный болометр LIR, ведущий съемку в диапазоне около 10 мкм. Именно на полученных им изображениях и были обнаружены гигантские атмосферные волны. С них и следовало бы начать перечень наиболее значимых открытий, которые сделал «Акацуки» к настоящему времени.

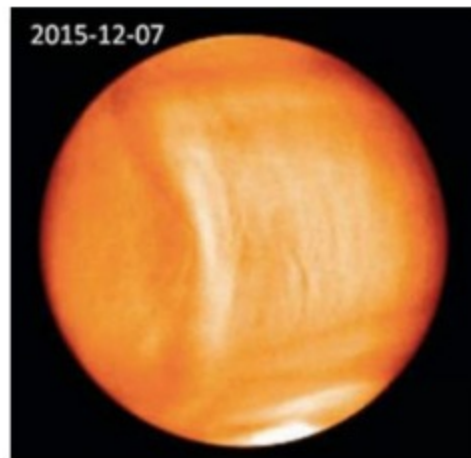
Необычная вытянутая структура, простирающаяся почти от северного до южного полюса Венеры, была замечена уже на первых изображениях, полученных прибором LIR. Впоследствии оказалось, что она практически не участвует в общем вращении газовой оболочки и выглядит жестко «привязанной» к определенному участку поверхности. После тщательного сопоставления полученных данных с радиолокационными снимками планеты выяснилось, что на этих участках расположена одна из наиболее масштабных венерианских возвышенностей — Земля Афродиты с вершинами высотой до 9 км. Таким образом, при «столкновении» с ней приповерхностного слоя вращающейся атмосферы возникает стоячая волна. Ранее меньшие по размерам и сравнительно короткоживущие стоячие волны зарегистрировал Venus Express в верхних атмосферных слоях. Удивительным оказался тот факт, что на промежуточных высотах ничего подобного не наблюдается.

Поскольку почти на каждом витке «Акацуки» проходил между Венерой и Солнцем, мы имели возможность исследовать глории — светлые ореолы, наблюдаемые на облаках в том месте, где могла бы быть тень космического аппарата (если бы он находился ниже). Измерения их яркости позволили установить, что в облачных структурах преобладают частицы с эффективным радиусом 1,26 мкм, и в них также неизменно присутствует неизвестный УФ-поглотитель.

Вдобавок впервые были найдены свидетельства возможных климатических изменений на Венере. При сравнении показателей отражательной способности (аль-

bedo) облаков на длине волны 365 нм, измеренных аппаратами Venus Express и «Акацуки» соответственно в 2006 и 2017 гг., выяснилось, что местами они изменились более чем на порядок. Как показало компьютерное моделирование, такие серьезные изменения в течение десятилетия могут быть объяснены вариациями солнечного нагрева в приэкваториальных широтах на 25-35%.

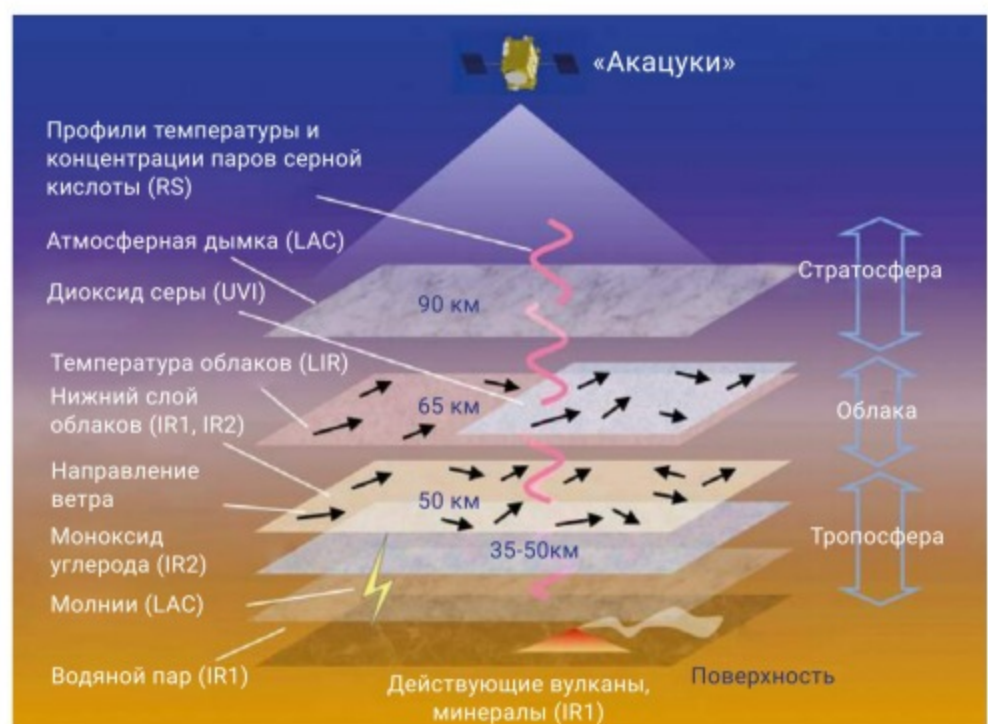
В тех же приэкваториальных областях в нижних слоях облаков был обнаружен мощный джет — сравнительно быстрый поток более горя-



▲ Тестовый снимок Венеры, сделанный в декабре 2015 г. японским зондом «Акацуки» с помощью инфракрасной камеры LIR. На нем была впервые замечена необычная вытянутая структура, простирающаяся почти на 10 тыс. км из северного в южное полушарие планеты.

JAXA

▼ Свойства венерианской атмосферы, облачности и поверхности, исследуемые приборным комплексом зонда «Акацуки».



чего газа. На снимках Venus Express ничего подобного заметить не удалось. Более того: сопоставляя данные «Акацуки» с результатами более ранних наблюдений Венеры (в т.ч. наземных), проводившихся с 1978 г., мы выявили долговременные изменения в интенсивности и направлении ветра, в особенности на небольших высотах.

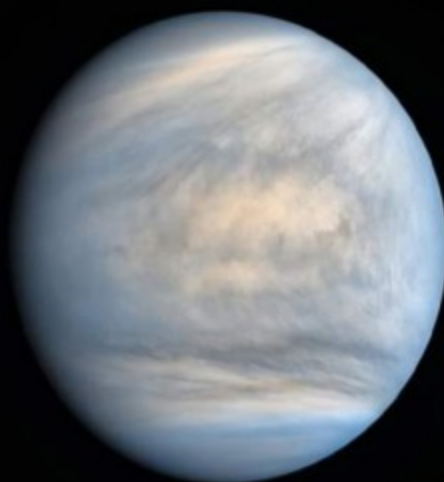
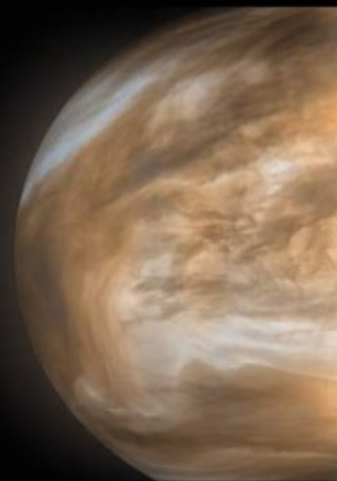
Наконец, «Акацуки» сфотографировал множество новых типов облачных структур, не наблюдавшихся его предшественниками. Наиболее интересными из них оказались необычные «разрывы» в облаках, возникающие как в северном, так и в южном полушарии планеты. Мы также зарегистрировали множество стоячих волн в верхней атмосфере и быстро движущихся волн, связанных с некими ритмичными процессами. Еще мы заметили много указаний на существование нестабильностей, влияющих на глубокие слои облаков.

Таковы основные открытия на данный момент, однако миссия «Акацуки» до сих пор продолжается, и мы ожидаем от нее еще много интересного. Приглашаем всех желающих к сотрудничеству в расшифровке данных, а также к осуществлению сопутствующих наземных наблюдений. Спасибо за внимание! ■

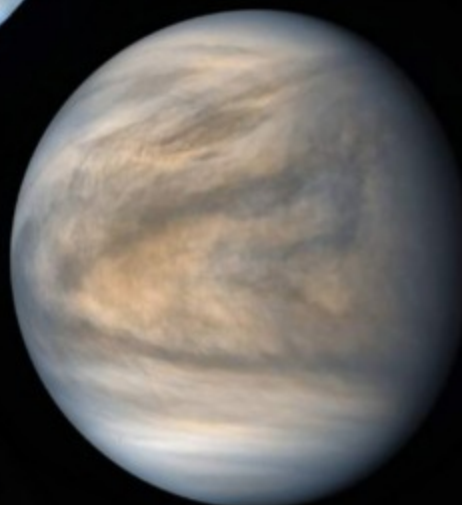


# РЕЗУЛЬТАТЫ МИССИИ «АКАЦУКИ»

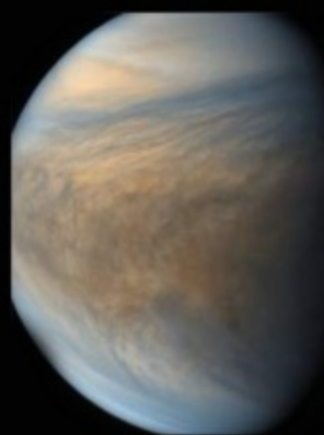
► Снимок ночной стороны Венеры, сделанный камерой IR2 зонда «Акацуки» через фильтры, центрированные на длины волн 1,74 и 2,26 мкм (ближний ИК-диапазон, цвета условные). Более темные участки соответствуют более плотной облачности, цветовые вариации отображают различия в размерах и составе аэрозольных частиц. В основном изображение содержит информацию об атмосфере на высотах от 48 до 55 км. Компьютерную обработку этого и следующих снимков выполнила французская любительница астрономии Дамия Буи (Damia Bouic)



◀ Снимок Венеры в ультрафиолетовом диапазоне (на длинах волн 283 и 365 нм), сделанный камерой UVI зонда «Акацуки» и представленный в условных цветах. Подобные изображения планетологи используют для идентификации облачных структур различных масштабов — от крупных штормов до небольших прядей облаков. Европейский аппарат Venus Express произвел детальную съемку приполярных областей планеты, обнаружив в каждой из них огромный вихрь. «Акацуки» сосредоточился на исследовании приэкваториальных регионов, сфотографировав их с более высоким разрешением и зарегистрировав там множество интересных деталей, вероятно, как-то связанных с топографией поверхности и ветрами в более глубоких атмосферных слоях.



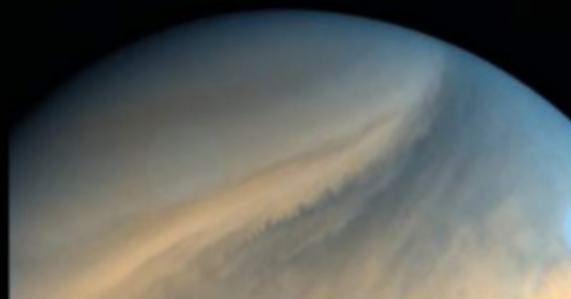
◀ На этом снимке условные цвета отображают два спектральных канала камеры UVI зонда «Акацуки». Хорошо заметно, что широкая и турбулентная тропическая зона выглядит более темной, чем приполярные области со сравнительно плавными атмосферными потоками. Темные участки чаще всего соответствуют избытку неизвестного вещества, интенсивно поглощающего излучение ближнего ультрафиолетового диапазона (в линии 365 нм). Фильтры, центрированные на длину волны 285 нм, позволяют измерить концентрацию диоксида серы  $SO_2$  — на Земле источником этого газа в основном являются действующие вулканы.



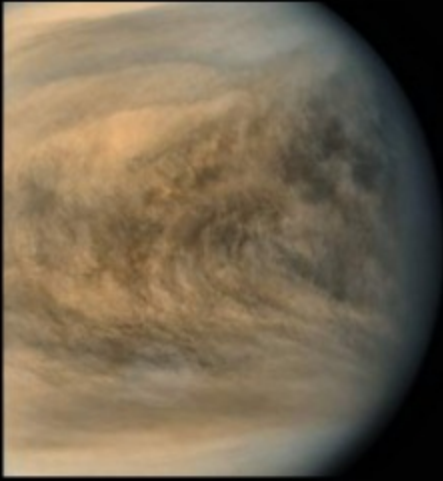
◀ Этот снимок Венеры, сделанный с помощью камеры UVI зонда «Акацуки» 23 июля 2016 г., служит для изучения распределения соединений серы в венерианской атмосфере, а также ее динамики, которая оказалась не менее сложной, чем динамика газовой оболочки нашей планеты. Более светлые полярные регионы со слабовозмущенными потоками резко контрастируют с сильно турбулентными экваториальными широтами, характеризующимися мощной конвекцией.

► Приполярные области Венеры «Акацуки» фотографирует только под острым углом, однако и такие снимки несут немало ценной информации. Этот снимок южного полюса в УФ-диапазоне, представленный в условных цветах, демонстрирует облачный пояс, окружающий южный полярный вихрь, на утренней стороне планеты.

В данном случае темные полосы, по-видимому, соответствуют «провалам» в облаках до высот с повышенной концентрацией диоксида серы. Это соединение постоянно поднимается с поверхности в более высокие атмосферные слои, где оно достаточно быстро разлагается под действием ультрафиолетового излучения Солнца.







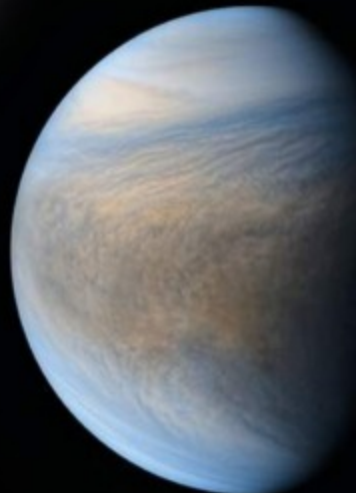
◀ На 13-м витке вокруг Венеры «Акацуки» получил это удивительное изображение экваториальных и тропических областей планеты в ультрафиолетовом диапазоне с беспрецедентной детализацией. Условные цвета отображают концентрацию диоксида серы и неизвестного «поглотителя».

▶ В верхней части этого снимка, сделанного камерой IR2 зонда «Акацуки», виден фрагмент серпа планеты, освещенного Солнцем (при обработке изображения его пришлось «заглушить»). Сложные облачные структуры на ночной стороне демонстрируют динамичную венерианскую метеорологию. Яркие детали относятся к атмосферным слоям высотой примерно до 50 км, темные представляют собой более высокие облака.



◀ Это изображение ночной стороны Венеры синтезировано из пяти снимков, сделанных инфракрасной камерой IR2 зонда «Акацуки» 11 января 2018 г.

▶ Происхождение тонкой извилистой светлой детали на этом инфракрасном снимке ночной стороны Венеры (сделанном камерой IR2 космического аппарата «Акацуки») объяснить пока не удалось. Возможно, она представляет собой постоянно меняющуюся границу двух атмосферных потоков на высоте порядка 50 км.



◀ В данном случае «гражданский ученый» Дамия Буи использовала несколько снимков Венеры, сделанных зондом «Акацуки» с различных расстояний, чтобы заполнить некоторые пробелы в ультрафиолетовых изображениях и представить обобщенный вид планеты по состоянию на середину 2016 г. Специалисты использовали итоговое изображение для изучения конвективных потоков в венерианской атмосфере.



◀ Еще один снимок неосвещенной стороны Венеры, сделанный зондом «Акацуки». Камера IR2 зарегистрировала тепловое излучение приповерхностных слоев ее атмосферы, нагретых до 400°C и выше. Более темные участки соответствуют сравнительно холодным облакам, расположенным примерно в 20 км над излучающим слоем (степень потемнения пропорциональна плотности облаков).

▶ «Утренний» терминатор Венеры, запечатленный ультрафиолетовой камерой UV1 космического аппарата «Акацуки». Заметно, что атмосфера здесь немного спокойнее, чем над полуденным меридианом, где она уже существенно прогревается Солнцем.



Все снимки: JAXA / ISAS / DARTS / Damia Bouic



# DAWN

перестал ВЫХОДИТЬ на СВЯЗЬ

Завершилась еще одна историческая межпланетная миссия NASA. 31 октября 2018 г. станции сети дальней космической связи Deep Space Network перестали принимать сигнал от аппарата Dawn, находящегося на орбите вокруг карликовой планеты Цереры (1 Ceres). Как сообщили на следующий день представители американской аэрокосмической администрации, это означает, что он полностью исчерпал горючее (гидразин) в баках двигательной установки и теперь не может поддерживать свою главную антенну направленной на Землю, а солнечные батареи — в положении, обеспечивающем генерацию достаточного количества электроэнергии.

Миссия длилась 11 лет, начиная с 27 сентября 2007 г., когда космический аппарат был запущен с космодрома на мысе Канаверал с помощью ракеты Delta II. 18 февраля 2009 г. Dawn осуществил гравитационный маневр вблизи Марса, а позже сделал то, чего до него не удавалось ни одному автоматическому разведчику — побывал на орбите вокруг двух самостоятельных объектов Солнечной системы. Первым из них стал крупнейший астероид Веста (4 Vesta), в окрестностях которой зонд проработал с июля 2011 г. по сентябрь 2012 г, вторым — уже упомянутая Церера (выход на орбиту вокруг нее состоялся в марте 2015 г.). Согласно планам миссии, ее исследования должны были продолжаться примерно год, после чего аппарат мог быть направлен к какому-нибудь третьему телу в Главном астероидном поясе. Однако баллистики NASA отказались от этой возможности и предпочли уделить оставшееся время изучению ближайшей карликовой планеты.

В ходе этой миссии впервые за пределами марсианской орбиты были использованы ионные реактивные двигатели, рабочим телом которых является инертный газ ксенон. Гидразиновые двигатели выполняли роль вспомогательных при орбитальном маневрировании; с целью ориентации их начали задействовать с сентября 2012 г., когда вышел из строя первый бортовой гироскоп. В конце концов, именно на них и легла основная «тяжесть» поддержания нужного положения зонда в пространстве. В октябре 2017 г., когда инженеры NASA объявили об очередном продлении миссии Dawn, они указали на ограниченность запасов гидразина и высказали предположение, что аппарат проработает еще максимум год. Собственно, так оно и получилось.

Результаты миссии сложно переоценить — как уже было сказано, она оказалась уникальной по многим показателям, а на расшифровку и анализ полученных данных уйдет не одно десятилетие. Ученые узнали немало нового об истории Весты и, в частности, о грандиозном столкновении, сформировавшем огромный кратер Реасильвия (он занимает почти все южное полушарие астероида). Благодаря зонду Dawn Церера

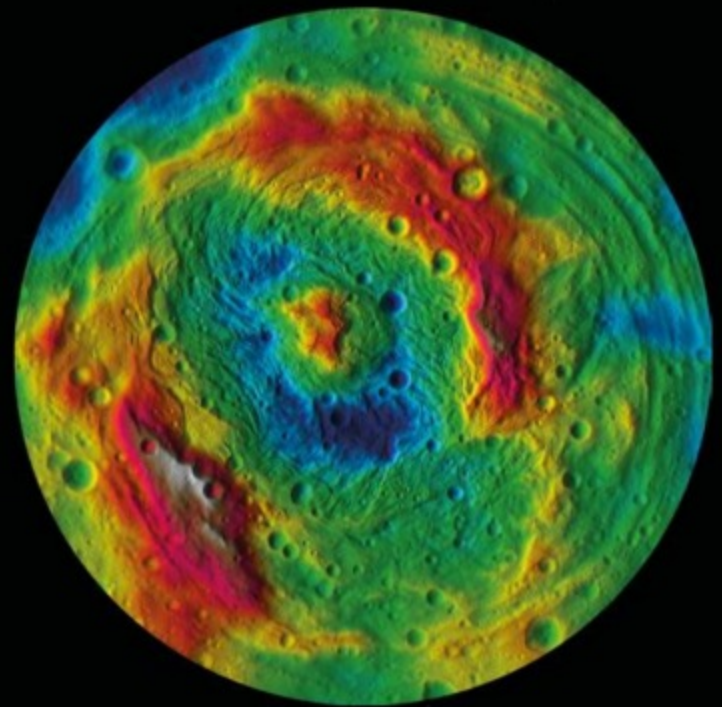
► Северное полушарие Цереры. Поскольку наклон ее экватора к плоскости орбиты составляет всего 4°, в приполярных областях на дне некоторых кратеров должны существовать участки, никогда не освещаемые Солнцем. Снимок сделан космическим аппаратом Dawn в эпоху солнцестояния карликовой планеты, когда ее северный полюс был сильнее всего повернут к нашему светилу.

NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA



на данный момент является самой изученной карликовой планетой и останется таковой, похоже, навсегда. Теперь астрономы уже практически не сомневаются в том, что она сформировалась значительно дальше от Солнца, чем пролегает ее нынешняя орбита, а также уверенно рассуждают о наличии под поверхностью этого тела обширного соленого водно-аммиачного океана, иногда «протекающего» на поверхность после особо мощных метеоритных ударов. Информация о составе поверхностных пород Весты и Цереры даст возможность с большей достоверностью идентифицировать их фрагменты среди метеоритов, упавших на Землю.

Сейчас уже трудно себе представить, что проект Dawn хотели закрыть еще на стадии его подготовки, и лишь усилия научного сообщества вынудили руководство NASA найти средства на его реализацию. Впечатляющий успех программы инициировал сразу несколько астероидных миссий, осуществляемых или планируемых различными космическими агентствами — о них мы подробно писали в предыдущем номере нашего журнала.



► На этой топографической карте Весты, составленной по данным зонда Dawn, желтым, оранжевым и красным цветом нанесены более высокие участки, зеленым — лежащие вблизи среднего уровня, голубым и синим — впадины. Хорошо виден 500-километровый кратер Реасильвия (Rheasilvia) с «пятиконечной» центральной горкой, образовавшийся, по оценкам ученых, около миллиарда лет назад. Ниже него заметен еще один ударный бассейн, немного меньший по размеру и примерно вдвое более древний. Ему присвоили имя «Венеция» (Veneneia). Поперечник самой Весты равен 640 км.

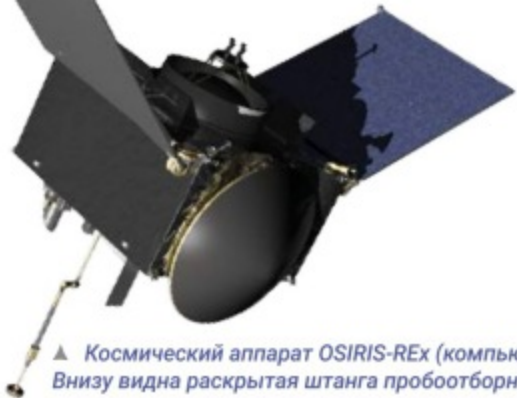
NASA / JPL-Caltech / UCLA / MPS / DLR / IDA / PSI

► Значительную часть этого снимка астероида Весты занимает ее темная сторона. Наиболее примечательная деталь освещенного «полушария» — цепочка из трех кратеров, которой присвоили неофициальное название «Снеговик». Изображение получено зондом Dawn с расстояния около 5200 км

NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA







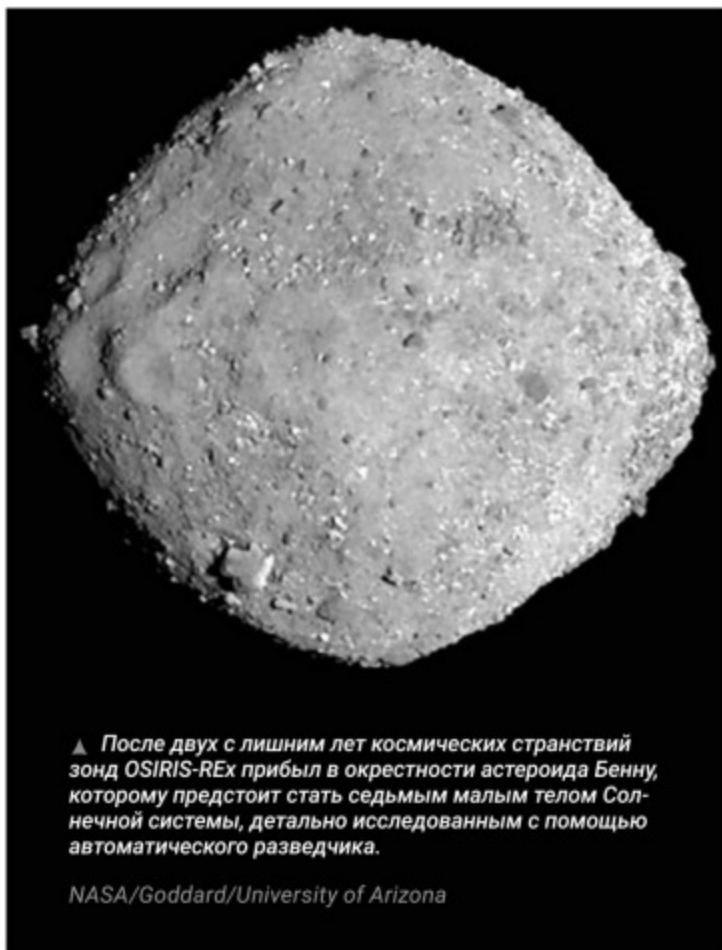
# OSIRIS-REx

## ДОСТИГ ЦЕЛИ

▲ *Космический аппарат OSIRIS-REx (компьютерная модель). Внизу видна раскрытая штанга пробоотборника TAGSAM.*

Американский аппарат OSIRIS-REx (Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security – Regolith Explorer), запущенный с космодрома на мысе Канаверал 8 сентября 2016 г., вышел на исходную позицию в 20 км от околоземного астероида Бенну (101955 Bennu, 1999 RQ36), образцы вещества которого он должен доставить на Землю. Это произошло 3 декабря 2018 г. На протяжении полутора месяцев зонд постепенно выравнивал свою орбитальную скорость с астероидом с помощью коротких импульсов бортовой двигательной установки, работающей на однокомпонентном топливе (гидразин).

Поскольку орбита Бенну не слишком отличается от земной, для выхода к цели аппарату понадобилось только одно включение двигателей и один гравитационный маневр в окрестностях нашей планеты (вблизи которой он пролетел 22 сентября 2017 г.). Дальнейшее маневрирование осуществлялось уже на подлете к астероиду. С начала ноября для этого использовались двигатели малой тяги. 5 ноября относительная скорость зонда упала до 0,1 м/с, но вскоре снова стала заметно расти – разгон происходил за счет слабого притяжения Бенну. Поэтому 13 ноября ее снова пришлось гасить. Наконец, 30 ноября была осуществлена финальная коррекция, и 3 декабря аппарат вышел на позицию в 20 км от астероида,



▲ *После двух с лишним лет космических странствий зонд OSIRIS-REx прибыл в окрестности астероида Бенну, которому предстоит стать седьмым малым телом Солнечной системы, детально исследованным с помощью автоматического разведчика.*

NASA/Goddard/University of Arizona

откуда он начнет детальные научные исследования этого небесного тела.

Однако еще на подлете – с расстояния около 200 км – OSIRIS-REx начал съемку астероида с помощью бортовой камеры PolyCam, входящей в комплекс регистрации изображений OCAMS (в его составе имеются также картирующая камера MapCam и камера ближнего обзора SamCam). Благодаря этому удалось установить, что Бенну вращается вокруг своей оси с периодом 4 часа 11 минут, а его максимальный размер составляет 510 м. Интересной особенностью оказалось наличие темных контрастных деталей поверхности, хотя нельзя сказать, что они стали большой неожиданностью для рабочей группы миссии: по результатам наземных спектральных исследований уже было известно, что этот астероид должен содержать повышенное количество сложных соединений углерода. Вероятнее всего, именно из них и состоят обнаруженные темные включения. Не совсем понятно только, почему они распределены столь неравномерно.

До конца года космический аппарат будет изучать Бенну дистанционно, постепенно приближаясь к нему и производя все более детальное фотографирование его поверхности, чтобы позже приступить к выполнению главной цели своей миссии – отбору проб астероидного вещества с помощью специального устройства TAGSAM (Touch-And-Go Sample Acquisition Mechanism), которое можно назвать «пылесосом наоборот»: при его соприкосновении с твердым телом должна включиться подача сжатого азота, и его струи «сдуют» частицы поверхностных пород в направлении контейнера, предназначенного для загрузки в возвращаемую капсулу. Эффективнее всего такую операцию можно реализовать на максимально ровном участке, поиском которого сейчас и занят OSIRIS-REx. Документирование процесса взятия образцов будет осуществлять камера SamCam.

Дистанционные исследования включают в себя съемку астероида с помощью спектрометра видимого и инфракрасного диапазона OVIRS, а также термального спектрометра OTES, регистрирующего излучение на длинах волн от 4 до 50 мкм. Для составления точной карты небесного тела предусмотрен лазерный альтиметр OLA, а для изучения состава поверхностных пород – рентгеновский спектрограф REXIS (Regolith X-ray Imaging Spectrometer) с разрешающей способностью до 21 угловой минуты. Полученные им результаты будет анализировать команда сотрудников и студентов Гарвардского университета и Массачусетского технологического института. Всего в окрестностях Бенну OSIRIS-Rex должен проработать 505 суток (до 3 марта 2021 г.), после чего импульс бортовых двигателей направит его обратно к Земле. Согласно плану миссии, посадка возвращаемой капсулы с образцами состоится на полигоне в американском штате Юта 24 сентября 2023 г.



# «ХАЯБУСА-2» ушел на «каникулы»

Сотрудники группы сопровождения миссии «Хаябуса-2» выполнили ряд операций, необходимых для подготовки аппарата к периоду почти месячного отсутствия стабильной связи. Он наступил в первой половине декабря, когда наша планета и астероид Рюгу (162173 Ryugu) оказались по противоположные стороны от Солнца. Это значительно усложняет поддержание радиоконтакта с автоматическим разведчиком. Поэтому до конца 2018 г. он не будет проводить никаких активных научных исследований и должен оставаться на безопасном удалении от астероида.

Тем временем инженеры миссии продолжают изучать результаты пробных операций по отбору астероидного вещества, проведенных в конце октября. Тогда «Хаябуса-2» приблизился к Рюгу на расстояние 12 м. Анализ телеметрии показал, что он находился в 15 м от центра расчетной посадочной зоны. Поскольку ее диаметр составляет всего 20 м, это довольно большое отклонение.

Проблема заключается в том, что практически вся поверхность Рюгу (за исключением нескольких небольших участков) покрыта достаточно крупными камнями. Во время взятия образцов грунта они могут нарушить ориентацию аппарата, повредить его корпус или солнечные батареи. Поэтому точность наведения в данном случае играет очень важную роль.

Чтобы облегчить дальнейшую навигацию, во время последней репетиции посадки «Хаябуса-2» сбросил на астероид целевой указатель (target marker) — 10-сантиметровый шарик, выполняющий роль визуального маяка. В ходе следующего сближения с Рюгу аппарат «подсветит» указатель с помощью стробоскопа. По замыслу специалистов, это увеличит точность запланированной посадки. В общей сложности на борту зонда имеется пять таких указателей. Внутри них содержится специальная пленка, на которой записаны имена и послания, оставленные в 2013 г. сотрудниками JAXA и Планетного общества (The Planetary Society).

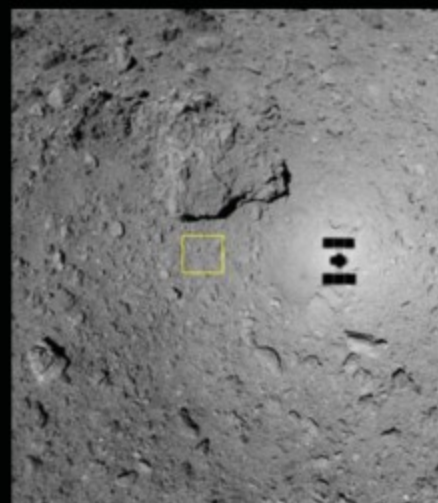
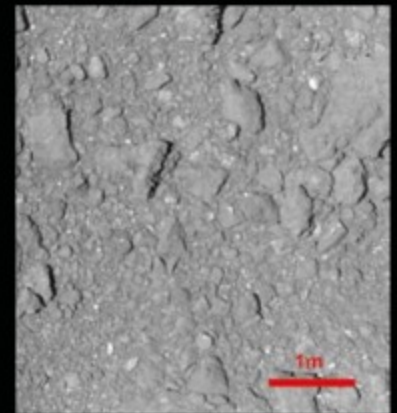


◀ Во время одного из пробных снижений «Хаябуса-2» приблизился к поверхности астероида на расстояние 12 м, сфотографировал при этом собственную тень.

JAXA

▶ Поверхность астероида Рюгу, сфотографированная 15 октября 2018 г. с более высоким разрешением (с помощью телеобъектива оптической навигационной камеры ONC-T) с высоты 42 м.

JAXA, Tokyo University, Kochi Univ., Rikkyo Univ., Nagoya Univ., Chiba Institute of Technology, Университет Мэйдзи, Aizu Univ., AIST



◀ Поверхность астероида Рюгу, сфотографированная 15 октября 2018 г. в 13:39 UTC камерой ONC-W 1 с высоты около 50 м. Желтым квадратом обведен участок, показанный на предыдущем снимке.

JAXA, Tokyo University, Kochi Univ., Rikkyo Univ., Nagoya Univ., Chiba Institute of Technology, Университет Мэйдзи, Aizu Univ., AIST

▼ В первой половине декабря астероид Рюгу и японский аппарат «Хаябуса-2» с точки зрения наземных наблюдателей будут находиться на небе недалеко от Солнца. В таких условиях связь с автоматическим разведчиком сильно затруднена, поэтому группа сопровождения миссии не запланировала на это время никаких сложных операций.



◀ Снимок астероида Рюгу, сделанный японским аппаратом «Хаябуса-2». Красным кружком отмечена безопасная посадочная зона

JAXA



# VeriColombo

## отправился к Меркурию

Совместная европейско-японская миссия VeriColombo вступила в активную фазу. 20 октября 2018 г. в 1 час 45 минут по всемирному времени с космодрома Куру во Французской Гвиане стартовала ракета Ariane 5, отправившая на межпланетную траекторию космический аппарат, основной задачей которого являются исследования Меркурия — самой маленькой и самой близкой к Солнцу планеты Солнечной системы. Старт прошел без каких-либо замечаний. После отделения от разгонного блока VeriColombo успешно сориентировался по звездам и развернул свои солнечные батареи, отправив сообщение об этом в наземный центр управления.

Из больших планет до недавнего времени Меркурий оставался наименее изученным — планетологи даже не имели полной карты его поверхности. Около половины ее в 1974-75 гг. смог сфотографировать с пролетной траектории Mariner 10 (NASA). В 2011-2015 гг. на околомеркурианской орбите работал американский аппарат MESSENGER (MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry, and Ranging), который наконец-то провел комплексные исследования планеты и осуществил ее глобальное картографирование.

Европейское космическое агентство (ESA) утвердило концепцию собственной меркурианской миссии в 2000 г., а четыре года спустя был закончен подбор научного оборудования. Исследовательский аппарат получил имя итальянского баллистика Джузеппе Колombo, разработавшего гравитационные маневры для зонда Mariner 10. Позже к проекту решила присоединиться Япония, из-за чего инженеры отказались от идеи запуска аппарата с помощью российской ракеты «Союз» и отдали предпочтение более грузоподъемной европейской Ariane 5.

Космический аппарат состоит из трех основных блоков — транспортировочного модуля MTM (Mercury Transfer Module), оборудованного двумя 14-метровыми фотогальваническими панелями и четырьмя британскими ионно-реактивными двигателями QinetiQ T6, а

▼ Космический аппарат VeriColombo на последней ступени ракеты Ariane 5 после отделения головного обтекателя (компьютерная модель)



также двух орбитальных зондов — европейского МРО (Mercury Planetary Orbiter) и японского ММО (Mercury Magnetospheric Orbiter), имеющего собственное имя «Мио». Масса первого из них с полным запасом рабочего тела для двигательной установки (инертного газа ксенона) составляет 2665 кг, второго — 1150 кг, третьего — 285 кг.

На борту МРО установлено 11 научных инструментов — акселерометр, магнитометр, термальный инфракрасный спектрометр и радиометр MERTIS, нейтронный и гамма-спектрометр MGNS, лазерный альтиметр, картирующие камеры и стереокамеры, спектрометры рентгеновского, ультрафиолетового и ближнего инфракрасного диапазона, оборудование для доплеровских радиоэкспериментов. Они предназначены для исследований поверхности Меркурия, его магнитного поля и экзосферы (разреженной газовой оболочки). Для передачи данных на Землю будет использоваться остроуправляемая антенна диаметром 1 м, основной приемной станцией должен стать 35-метровый рефлектор Cerberos, построенный недалеко от Мадрида.

Основные задачи «Мио» касаются исследований околомеркурианского пространства и главным образом будут сосредоточены на взаимодействии экзосферы планеты с солнечным ветром. Для этого на зонде установлен собственный магнитометр, анализатор плазмы и нейтральных частиц MPPE (Mercury Plasma Particle Experiment), включающий в себя регистратор электронов, ионов и масс-спектрометр, спектральная камера MSASI для съемки «натриевой короны» Меркурия, прибор для регистрации плазменных волн PWI и монитор столкновений с пылевыми частицами MDM.

Средняя орбитальная скорость Меркурия (47,37 км/с) более чем в полтора раза превышает соответствующий показатель Земли, поэтому космический аппарат не может лететь к нему «напрямую», а вынужден использовать сложную цепочку гравитационных маневров. С этой целью 6 апреля 2020 г. VeriColombo вернется к нашей планете, после чего направится к Венере, вблизи которой пролетит 12 октября 2020 г. Вторично он сблизится с «Утренней звездой» 11 августа 2021 г. и двинется к Меркурию, но не для того, чтобы выйти на орбиту вокруг него, а для очередного гравитационного маневра (2 октября 2021 г.). Всего таких маневров в окрестностях самой маленькой планеты запланировано шесть, и лишь при седьмом сближении — 5 декабря 2025 г. — относительная скорость зонда станет настолько маленькой, что позволит ему затормозиться и остаться на околомеркурианской орбите. Далее произойдет разделение модулей и их «разведение» с помощью собственных двигательных установок. Траектория МРО будет иметь перицентр высотой 480 км и апоцентр порядка 1500 км, соответствующие параметры орбиты «Мио» — 590 км и 11,6 тыс. км. Плановая продолжительность их работы должна составить не менее одного земного года.

Однако научные наблюдения VeriColombo начнет задолго до прибытия к цели: в ходе многолетних странствий по Солнечной системе он будет проводить периодические измерения параметров межпланетной среды. Кроме того, специалисты миссии надеются использовать некоторые из инструментов аппарата для изучения Венеры во время ее пролетов.



# Раскрыта тайна "ШРАМОВ" Фобоса



Несмотря на весьма скромные размеры, Фобос по праву считается одним из самых необычных спутников Солнечной системы. Его орбита проходит на расстоянии всего 6 тыс. км от марсианской поверхности, то есть он является самым близким к своей планете естественным спутником. Вдобавок он совершает один оборот вокруг Марса примерно в три раза быстрее, чем сам Марс вращается вокруг своей оси, благодаря чему эта луна в небе Красной планеты восходит на западе и заходит на востоке.

Но это далеко не единственная особенность Фобоса. Как показывают измерения, ведущиеся практически с момента его открытия в 1877 г., под действием приливных сил он постепенно тормозится и приближается к Марсу. Мы можем с уверенностью сказать, что этот спутник обречен: в течение следующих нескольких десятков миллионов лет он пересечет так называемый предел Роша и будет разорван на части марсианской гравитацией. В результате Красная планета на некоторое время обзаведется собственным кольцом и станет отдаленно похожей на Сатурн. В последующем обломки Фобоса постепенно выпадут на ее поверхность, образовав на ней ряд новых кратеров.

Некоторые ученые считают, что Фобос уже сейчас находится на грани разрушения, считая подтверждениям этой догадки загадочные борозды, покрывающие его поверхность. Согласно другой теории, они были «выцарапаны» осколками, выброшенными с поверхности Марса при падениях крупных астероидов. Еще одна теория предполагает, что своим происхождением борозды обязаны камням, выбитым во время образования кратера Стикни (самой крупной ударной структуры Фобоса). Однако в ней имеется слабое место. Дело в том, что не все борозды направлены от центра кратера: часть из них накладывается друг на друга, а часть проходит через сам кратер, то есть они, по-видимому, образовались позже него.

Группа планетологов из университета Брауна (Brown University, Providence, Rhode Island, USA) попыталась поставить точку в вопросе о происхождении борозд Фобоса. Они смоделировали на компьютере процесс формирования кратера Стикни, учитывая рельеф спутника, а также его орбиту и гравитационное влияние Марса.

Исследование показало, что из-за небольшого размера Фобоса и его сравнительно слабой гравитации выброшенные во время образования Стикни крупные валуны начали бы катиться по поверхности, оставляя характерные следы. Некоторые камни смогли бы даже совершить полный «оборот» вокруг луны и продол-

▲ На этом снимке, сделанном космическим аппаратом Mars Reconnaissance Orbiter (NASA), хорошо видны многочисленные почти параллельные борозды, тянущиеся по поверхности крупнейшего марсианского спутника Фобоса от краев его самого большого кратера Стикни. Они имеют ширину 100-200 м при глубине 10-20 м. Впервые их заметили на фотографиях, сделанных в 1970-х годах орбитальными зондами Mariner и Viking. Согласно последним исследованиям, борозды образованы катящимися валунами, «сдвинутыми с места» мощным метеоритным ударом

NASA/JPL-Caltech/University of Arizona

жить движение. Это объясняет многие странности в расположении борозд — например, то, что они накладываются друг на друга и проходят через «материнский» кратер.

Модель также способна объяснить наличие на спутнике «мертвой зоны». Так исследователи назвали участок, на котором не найдено ни одной борозды. Он представляет собой низменность, окруженную скальным выступом большой высоты. Моделирование показало, что после удара катящиеся по поверхности Фобоса валуны налетали на выступ и, словно прыгающий с трамплина спортсмен, перелетали через эту зону.

Таким образом, ученые пришли к выводу, что борозды Фобоса — это все же не наглядное свидетельство скорого распада спутника, а старые «шрамы», оставшиеся со времен образования кратера Стикни. Результаты исследования были опубликованы в журнале Planetary and Space Science.

Напомним, что в следующем десятилетии Японское агентство аэрокосмических исследований JAXA собирается отправить к Фобосу аппарат MMX (Martian Moons Exploration), который изучит спутник, возьмет образцы его грунта и доставит их на Землю. Основная цель миссии — ответ на вопрос о происхождении этого небесного тела. Анализ его образцов сможет подтвердить или опровергнуть теорию о том, что Фобос и Деймос сформировались из вещества, выброшенного с поверхности Красной планеты в результате столкновения с крупным астероидом или протопланетой, произошедшего примерно 4,5 млрд лет назад.



# ЭКСПЕДИЦИЯ на обратную сторону ЛУНЫ



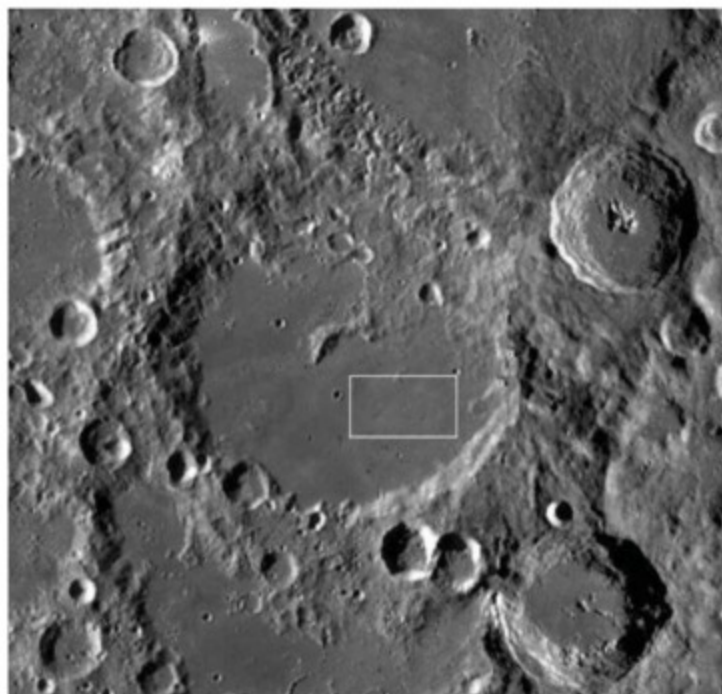
Согласно достаточно распространенному мнению, космическая программа Китая целиком построена на повторении основных достижений США и СССР. Считается, что пилотируемый корабль «Шэньчжоу» является копией «Союза», орбитальные станции «Тяньгун» — аналогом «Салютов», а проектируемая китайскими специалистами новая многомодульная орбитальная станция — модифицированной версией «Мира».

Однако недавно Китай доказал всем скептикам, что не просто идет по пути, уже пройденному космическими сверхдержавами десятилетия назад, но и готов покорять новые вершины. 7 декабря 2018 г. с космодрома Сичан стартовала ракета «Чанчжэн-3В». Она отправила к Луне автоматический аппарат «Чанъэ-4», который должен стать первым в истории рукотворным объектом, совершившим мягкую посадку на ее обратной стороне.

Изначально «Чанъэ-4» являлся аппаратом-дублем миссии «Чанъэ-3». В 2013 г. в рамках нее первый китайский аппарат произвел мягкую посадку на Луну и доставил на ее поверхность луноход «Юйту». Благодаря этому успеху руководство Китайского национального космического управления (CNSA) приняло решение изменить профиль миссии «Чанъэ-4» и отправить ее на обратную сторону естественного спутника нашей планеты.

Такое решение привело к переносу срока запуска межпланетного аппарата с 2015 на 2018 г. Поскольку обратная сторона Луны не видна с Земли, для поддержания связи с севшим на нее исследовательским зондом необходим специальный спутник-ретранслятор. Кроме того, китайские инженеры учли опыт эксплуатации «Чанъэ-3» и внесли ряд изменений в конструкцию его «последователя».

В мае 2018 г. Китай отправил на гало-орбиту в районе точки Лагранжа  $L_2$  системы «Земля-Луна» небольшой аппарат «Цюэцяо». Его главной целью является ретрансляция сигналов посадочного модуля «Чанъэ-4». В качестве попутного груза вместе с ним была запущена пара микроспутников «Лунцзян», построенных сотрудниками Харбинского политехнического университета. Один из них так и не добрался до цели, второй же успешно вышел на окололунную орбиту. Благодаря открытому протоколу дистанци-



▲ На этом снимке кратера Кáрман, расположенного на обратной стороне Луны, белым прямоугольником показано возможное место прилунения посадочного модуля «Чанъэ-4».

онного управления радиолюбители неоднократно принимали его телеметрию и даже сумели получить несколько сделанных спутником снимков Земли и Луны.

Успех «Цюэцяо» открыл дорогу для запуска «Чанъэ-4». Согласно плану миссии, новый китайский аппарат должен прилуниться 3 января 2019 г. (по крайней мере, так утверждается в релизе от 8 декабря) в южной части 186-километрового кратера Кáрман в районе между  $45\text{--}46^\circ$  ю.ш. и  $176,4\text{--}178,8^\circ$  в.д. Этот кратер расположен на территории Бассейна Южный полюс — Эйткен, представляющего собой крупнейшую подтвержденную ударную формацию на поверхности Луны.

«Чанъэ-4» состоит из двух частей: 425-килограммового орбитального отсека и 1,2-тонной посадочной платформы, несущей 140-килограммовый луноход. Научная «начинка» платформы включает в себя четыре инструмента: камеру контроля по-



садки, оборудование для съемки поверхности, спектрометр для изучения солнечных вспышек LFD (Low Frequency Spectrometer) и дозиметр LND (Lunar Lander Neutrons and Dosimetry), созданный сотрудниками Кильского университета.

Луноход «Чанъэ-4» построен на основе запасного ровера для миссии «Чанъэ-3». Его длина составляет 1,5 м, ширина — 1 м, высота — 1,1 м. Мобильная лаборатория снабжена шестью колесами и парой складывающихся солнечных панелей. Ее научный инструментарий состоит из панорамной камеры, спектрометра VNIS (Visible and Near-Infrared Imaging Spectrometer), георадара и прибора ASAN (Advanced Small Analyzer for Neutrals), предназначенного для изучения взаимодействия солнечного ветра и лунного реголита. Последний инструмент был предоставлен китайской стороне шведским Институтом космической физики (Institutet för rymdfysik, Kiruna, Sverige).

Помимо приборов, посадочная платформа «Чанъэ-4» несет еще один любопытный груз — трехкилограммовый герметичный алюминиевый контейнер высотой 18 см и диаметром 16 см. В нем имеются устройства для подачи воды, воздуха и питательного раствора, а также искусственное освещение. В контейнер помещены семена картофеля и яйца насекомых, включая гусениц-шелкопрядов. Ученые хотят проверить, смогут ли в условиях лунной гравитации и более высокого уровня радиационной опасности прорасти семена и развиваться

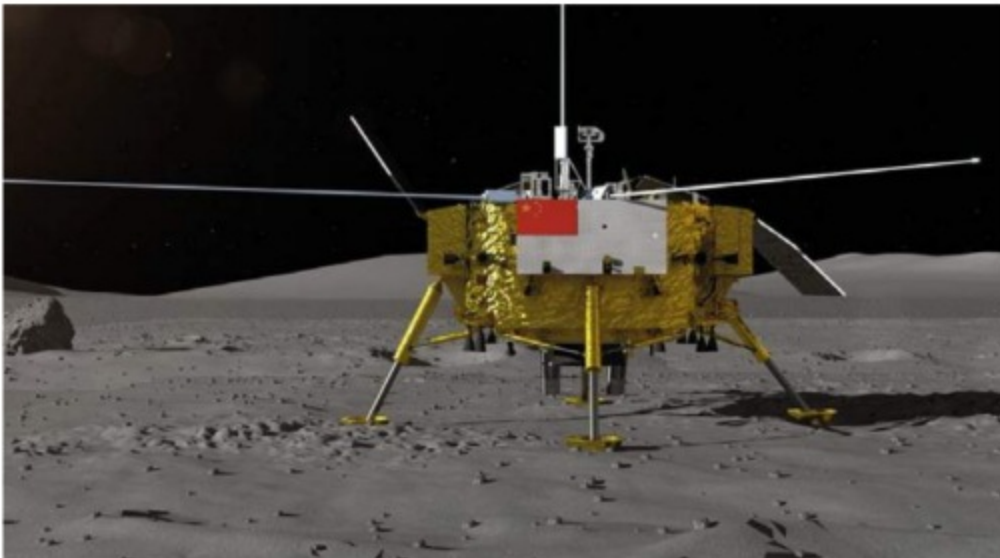
насекомые. Если все пройдет хорошо, шелкопряды начнут вырабатывать углекислый газ, а картофель — выделять кислород в процессе фотосинтеза. Функционирование миниатюрной экосистемы сотрудники группы сопровождения собираются отслеживать с помощью установленных внутри цилиндра камер.

Уже в следующем году Китай попытается решить очередную амбициозную задачу, связанную с Луной — доставить на Землю образцы ее грунта. До сих пор это удавалось только американским астронавтам и советским автоматическим станциям. С этой целью ориентировочно в декабре 2019 г. китайцы запустят 8,2-тонный аппарат «Чанъэ-5». Он будет состоять из четырех основных частей: орбитального, посадочного, взлетного и возвращаемого модуля.

После выхода на окололунную орбиту посадочный модуль со взлетной ступенью отделится от «Чанъэ-5» и сядет на Луну в районе гор Рюмкера (изолированной вулканической формации, расположенной в северо-западной части видимой стороны нашего спутника, на краю Океана Бурь). По завершении запланированных научных исследований специальные пробоотборники загрузят в возвращаемый аппарат примерно 2 кг лунных пород, а взлетная ступень доставит его на окололунную орбиту, где он состыкуется с орбитальным модулем «Чанъэ-5» и перегрузит на него образцы. Затем этот модуль ляжет на обратный курс к Земле, где, согласно плану миссии, сгорит в плотных слоях атмосферы. Перед

этим от него отделится спускаемый аппарат с пробами грунта, который совершит мягкую посадку — вероятнее всего, в малонаселенных районах Северного Китая.

Согласно имеющейся информации, горы Рюмкера сформировались около 1,3 млрд лет назад. Таким образом, в случае успеха миссии в распоряжении китайских ученых окажутся намного более молодые образцы лунного вещества, чем те, которые были доставлены на Землю в ходе экспедиций к Луне в прошлом веке.

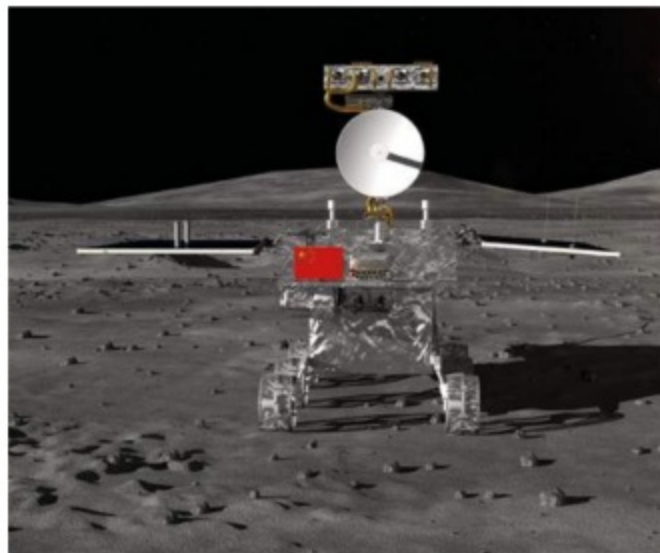


▲ Вид посадочного модуля зонда «Чанъэ-4» на лунной поверхности в представлении художника Китайского национального космического управления.

CNSA

► Луноход миссии «Чанъэ-4» внешне выглядит практически точной копией своего предшественника — мобильной лаборатории «Юйту», проработавшей на лунной поверхности с декабря 2013 г. по сентябрь 2014 г.

CASC



▲ Прототип контейнера для биологических экспериментов, установленного на борту посадочного модуля «Чанъэ-4», в сравнении с бумажным кофейным стаканчиком.

CNSA



INSIGHT

## Первый взгляд «внутри» Марса

▲ График на этом рисунке условно изображает колебания марсианской почвы, регистрируемые сейсмометром зонда InSight. С помощью этого прибора ученые собираются выяснить, имеет ли место сейчас на Марсе тектоническая активность и насколько часто там происходят падения крупных метеоритов.

NASA/JPL-Caltech

На Марс прибыл новый земной посланец. 26 ноября космический аппарат InSight, успешно выдержав прохождение через марсианскую атмосферу, совершил мягкую посадку в запланированном районе. После проведения всех необходимых тестов и калибровок он приступит к выполнению своей основной научной миссии, главная цель которой — заглянуть «внутри» Красной планеты.

### «Жизнь» и «смерть» Марса

По состоянию на 2018 г. человечество успешно запустило свыше двух десятков исследовательских аппаратов к Марсу. Но все они изучали лишь его «внешнюю» сторону. В то же время мы до сих пор имеем не так уж много информации о внутреннем строении этой планеты.

В далеком прошлом у Марса, как и у Земли, имелось глобальное магнитное поле. Об этом говорят оставшиеся в его коре намагниченные участки. Кроме того, особенности расположения некоторых вулканов, а также форма долины Маринера свидетельствуют о том, что 4 млрд лет назад там могло происходить движение литосферных плит. Затем механизм «планетного динамо» отключился. Возможно, причиной этого стало столкновение с крупным астероидом, а может быть, все дело в том, что Марс меньше, чем наша планета, и его недра не смогли дол-

го удерживать тепло.

Как бы то ни было, со временем ядро Красной планеты затвердело, постепенно перестав генерировать магнитное поле. Это привело к серьезным последствиям. Как известно, Марс обладает намного более слабой гравитацией, нежели Земля. После исчезновения «магнитного щита» солнечный ветер постепенно «сдул» почти всю марсианскую атмосферу. Вместе с ней планета лишилась и значительной части запасов воды, в результате превратившись из сравнительно теплого мира, по поверхности которого текли реки и где имелись условия для возникновения жизни, в холодную засушливую пустыню.

Но, несмотря на всю правдоподобность подобного сценария, пока что это лишь рабочая гипотеза. Для ее подтверждения планетологам нужны конкретные данные о внутреннем строении Марса. А для этого необходимо установить на его поверхности сейсмометр. В 1970-х годах NASA предприняла подобный эксперимент в рамках миссии Viking. К сожалению, он не принес желаемых результатов. Прибор на борту посадочного модуля Viking 1 так и не заработал, а Viking 2 не сумел добиться желаемой чувствительности из-за неудачного расположения: поскольку сейсмометр был установлен не на марсианской поверхности, а на спускаемом аппарате, он регистрировал исключительно вибрации, возникавшие в корпусе зонда и полностью заглу-

шавшие колебания почвы.

Спустя 30 лет после завершения проекта Viking ученые из Лаборатории реактивного движения (JPL NASA) предложили концепт специализированной миссии, предназначенной для изучения внутреннего строения Красной планеты. Изначально он носил название GEMS (Geophysical Monitoring Station), но позже был переименован в InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport). В 2012 г. он победил в отборе по программе Discovery и получил финансирование, необходимое для его реализации.

### Техническое устройство

InSight был создан на базе уже проверенной посадочной платформы аппарата Phoenix, успешно «примарсившегося» в 2008 г. Он представляет собой стационарную лабораторию, оснащенную парой разворачиваемых солнечных батарей и роботизированной рукой-манипулятором, необходимой для того, чтобы избежать повторения ошибки миссии Viking. Манипулятор установит на марсианский грунт два основных научных инструмента зонда — сейсмометр SEIS и прибор для измерения теплового потока HP3.

SEIS был сконструирован специалистами Национального центра космических исследований Франции (CNES). После развертывания



он будет использоваться для точных измерений тектонической активности Красной планеты, а также определения частоты падения метеоритов. Ученые надеются, что его данные помогут установить, сохранилась ли на Марсе какая-то эндогенная активность и существуют ли под его поверхностью «горячие точки».

НРЗ — электромеханический бур, способный просверлить в марсианском грунте скважину глубиной 5 м. В нее будет помещена лента, на каждые десять сантиметров которой расположены температурные датчики для измерения тепловых потоков в окружающих породах и косвенной оценки их состава. Прибор разработан Германским центром авиации и космонавтики (DLR).

Третья по важности задача InSight — проведение эксперимента по максимально точному определению параметров вращения Марса вокруг своей оси. Он будет реализован путем измерений доплеров-

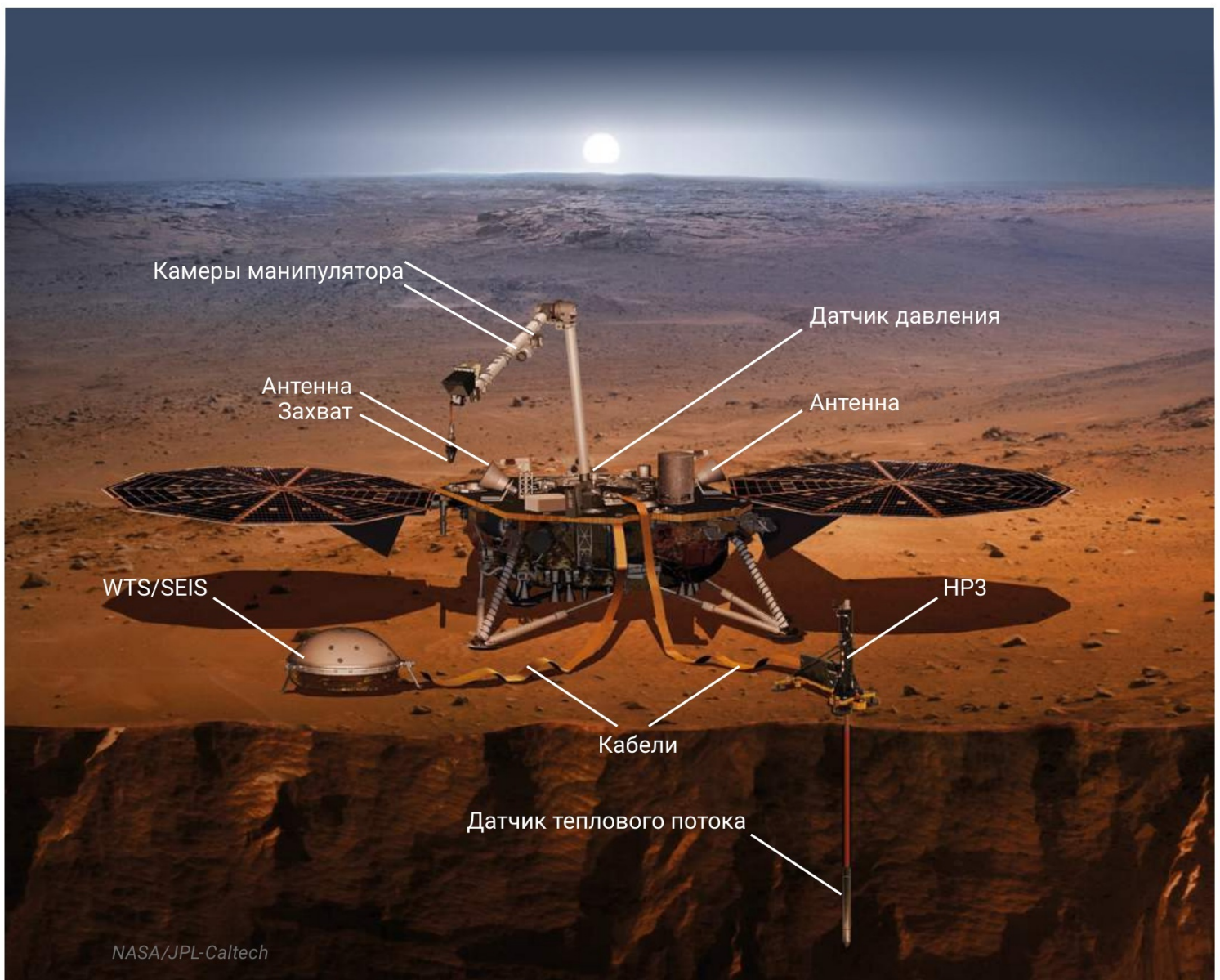
ского сдвига радиосигналов зонда, принимаемых на Земле. Данные о колебаниях, испытываемых планетой под действием приливных сил со стороны ее спутников и Солнца, помогут ученым получить дополнительную информацию о ее внутреннем строении и характеристиках ядра.

## Межпланетные «попутчики»

InSight был запущен 5 мая 2018 г. при помощи ракеты Atlas V. Он отправился к Марсу не в одиночку: «компанию» ему составила пара экспериментальных наноспутников MarCO (Mars Cube One), созданных на базе платформы CubeSat (6U). Их размеры составляют 11,8×24,3×36,6 см, масса — 13,5 кг. Эти аппараты запустили в рамках эксперимента по изучению возможности использования кубсатов в межпланетных миссиях.

За последние годы на околоземную орбиту было выведено значительное количество подобных наноспутников. Несмотря на скромные размеры, кубсаты неплохо себя зарекомендовали, доказав, что могут выполнять множество специализированных функций — от коммерческой съемки земной поверхности до отработки технологий борьбы с космическим мусором. Однако их электроника не имеет усиленной защиты от повышенного уровня радиации, с которым сталкиваются межпланетные аппараты. Поэтому инженеры не знали заранее, как они поведут себя в глубоком космосе. Фактически зондам MarCO выпала честь стать своеобразными первопроходцами.

Наноспутники показали себя с наилучшей стороны. Они успешно выдержали перелет по маршруту «Земля-Марс», доказав возможность нахождения в условиях межпланетного пространства в течение длительного времени. Фактически





они проложили дорогу для целого поколения новых миниатюрных автоматических разведчиков.

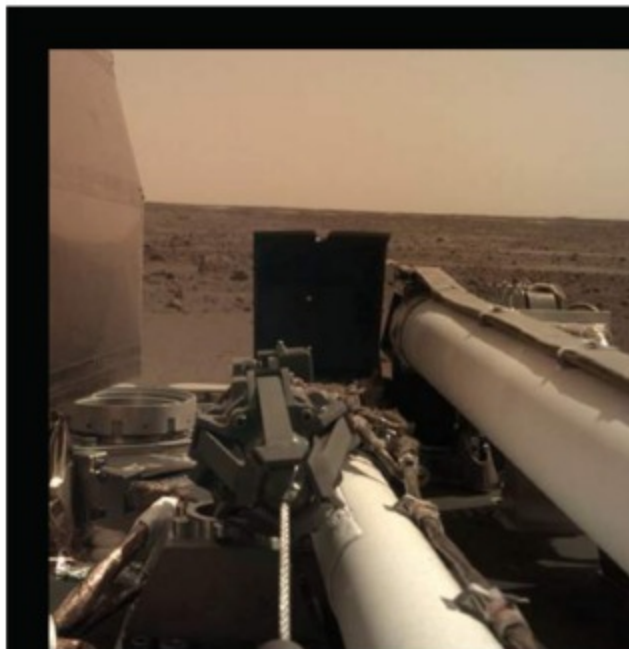
Стоит отметить, что оба кубсата прошли мимо Марса по пролетной траектории. MarCO оснащены мало-мощными реактивными двигателями, работающими на сжатом газе, которые используются для ориентации аппаратов в пространстве и небольших коррекций курса. Но их мощности недостаточно для осуществления серьезного тормозного маневра и выхода на околомарсианскую орбиту. Поэтому, в отличие от зонда InSight, наноспутники не имели возможности остаться «в гостях» у Красной планеты.

### «Шесть с половиной минут ужаса»

Основной аппарат вошел в марсианскую атмосферу 26 ноября в 19:47 по всемирному времени. Далее началось то, что специалисты образно называют «6,5 минутами ужаса». За это время InSight должен был уменьшить свою скорость с 5,5 км/с до нуля и осуществить мягкую посадку на поверхность Марса. Эта стадия полностью контролировалась автоматикой. Сотрудникам группы сопровождения миссии оставалось лишь следить за сигналом от посадочного модуля (из-за конечности скорости света приходившего с ощутимым запаздыванием), надеясь на правильность всех расчетов и надежность техники.

В момент наиболее интенсивного аэродинамического торможения теплозащитный экран InSight нагрелся до температуры более 1500°C, а сам аппарат подвергся перегрузкам порядка 7,5 g. После того, как он погасил основную часть посадочной скорости, теплозащита была сброшена, и в действительности вступил тормозной парашют, отстреленный за 45 секунд до касания поверхности. Финальная часть спуска осуществлялась при помощи двигателей мягкой посадки.

InSight сел в районе нагорья Элизий (Elysium Planitia) — обширной равнины вулканического происхождения, расположенной в районе марсианского экватора. После посадки он успешно развернул свои солнечные панели и передал



« Как показывает этот снимок, на следующий день после посадки, 27 ноября 2018 г., InSight успешно развернул роботизированный манипулятор, критически необходимый для выполнения научной программы.

NASA/JPL-Caltech

► Отдельная камера зонда InSight, установленная на «локте» механической руки-манипулятора, предназначена специально для контроля приведения бортового оборудования в рабочее положение. С ее помощью был сделан этот снимок одной из 2,2-метровых фототальванических панелей аппарата.

NASA/JPL-Caltech



на Землю снимки окружающей местности. Изучив их, специалисты установили, что аппарат опустился в небольшой кратер, засыпанный песком и пылью, что можно считать хорошей новостью: рядом с ним нет крупных камней, способных осложнить выгрузку приборов и бурение поверхности.

Инженеры уже протестировали механическую руку-манипулятор. В настоящее время они заняты поиском наиболее подходящего участка, на который будут выгружены SEIS и HP3. Ожидается, что на их полное развертывание потребуется 2-3 месяца. Общий же срок работы InSight должен составить один марсианский год (687 земных дней).

Что касается зондов MarCO, то они не только сохранили работоспособность, но и осуществили успеш-

ный эксперимент по ретрансляции посадочной телеметрии InSight. Именно они передали на Землю первый снимок марсианской поверхности, сделанный камерами спускаемого аппарата. Покидая окрестности Марса, кубсаты также сделали несколько его прощальных фотографий. Сейчас наноспутники движутся по направлению к Главному поясу астероидов. В ближайшее время специалисты проанализируют их траекторию, после чего рассмотрят возможность продления их работы. Но, какое бы решение не приняли в NASA, очевидно, что миниатюрные зонды уже вписали себя в историю космонавтики. Не исключено, что уже в недалеком будущем подобные «попутчики» станут стандартным дополнением большинства межпланетных миссий.



# На ЛУНУ с частными компаниями

В рамках подготовки пилотируемой экспедиции на Луну и строительства долговременной станции на окололунной орбите NASA развернула новую программу CLPS (Commercial Lunar Payload Services), главная цель которой — привлечение коммерческих фирм к освоению нашего естественного спутника. Для участия в ней были отобраны девять представителей аэрокосмической индустрии, среди которых числятся как компании с многомиллиардным оборотом, так и сравнительно малоизвестные стартапы. Все они смогут претендовать на контракты по доставке грузов на лунную поверхность.

Одним из участников программы стала компания Firefly Aerospace, занимающаяся разработкой семейства легких ракет-носителей. С 2017 г. ее владельцем является украинский предприниматель Максим Поляков. Он уже заявлял о желании расширить сферу деятельности, и выход за пределы низких околоземных орбит станет для этого прекрасной возможностью. О задачах, которые будет выполнять компания в сотрудничестве с NASA, пока не сообщалось.

Самая крупная организация в списке участников программы CLPS — Lockheed Martin Space, одно из ведущих подразделений аэрокосмического гиганта Lockheed Martin. В данный момент она является главным подрядчиком по проекту создания нового межпланетного корабля Orion. Этим же будет заниматься еще один подрядчик NASA, принимавший участие в реализации большого количества космических проек-

тов — компания Deep Space Systems. Следующие два участника — Intuitive Machines и Masten Space Systems — уже разрабатывали ряд космических аппаратов, включая лунные посадочные модули.

К отдельной категории следует отнести компании Astrobotic Technology, Draper, Moon Express и Orbit Beyond. Все они участвовали в конкурсе Google Lunar X Prize, для победы в котором нужно было запустить на Луну автоматический аппарат, способный проехать по ее поверхности не менее полукилометра. Подведение итогов «частной лунной гонки» неоднократно откладывалось, и вот в начале текущего года, проанализировав степень готовности участников, организаторы конкурса объявили о его отмене. Тем не менее, специалисты NASA оценили уже вложенные усилия и предложили организациям, продвигнувшимся в подготовке своих миссий достаточно далеко, продолжить работу в рамках новой программы.

Компания Draper вместе с партнерами из Массачусетского технологического института ранее занималась исследованиями в области космической навигации и разра-

► Концепт ракеты-носителя, разрабатываемой компанией Firefly Aerospace. На верхней ступени под головным обтекателем в разрезе показан лунный посадочный аппарат с разгонным блоком. Компания стала одним из претендентов на заключение контрактов с NASA по доставке грузов на Луну.



боткой новых скафандров. Moon Express продолжает конструирование лунного спускаемого аппарата и, возможно, в наступающем году все же отправит его на Луну.

Как сообщается, программа CLPS рассчитана на 10 лет. Общая стоимость заключенных в ее рамках контрактов не должна превысить 2,6 млрд долларов.

Стоит уточнить, что попадание в список NASA не дает компании автоматической гарантии получения контрактов на доставку грузов на Луну или создание космических аппаратов. При принятии окончательного решения агентство будет учитывать различные факторы, включая общую техническую реализуемость проекта, его предполагаемую стоимость и сроки выполнения.

► Astrobotic Technology Inc. — компания, собирающаяся доставлять грузы на Луну в интересах различных заказчиков (вплоть до индивидуальных).



► Крупнейшей компанией, привлеченной NASA к участию в освоении Луны, является Lockheed Martin

Denver Business Journal

◀ Предполагаемый вид посадочного модуля, спроектированного компанией Intuitive Machines — одной из девяти организаций, выбранных NASA для участия в лунной программе.

Houston Business Journal





# Миссию JUNO продлили на три года

В июне 2018 г. руководство NASA приняло решение продлить еще на три года работу космического аппарата Juno на околоюпитерианской орбите, на которой он находится с 5 июля 2016 г., то есть уже более двух лет. Изначально планировалось, что этот аппарат будет исследовать самую большую планету Солнечной системы на протяжении одного земного года, сделав за это время 26 витков вокруг нее (период обращения Juno по рабочей орбите должен был составить 14 суток). Однако в итоге из-за проблем с главной двигательной установкой он остался на переходной орбите с периодом 53,5 дня. Поэтому инженеры группы сопровождения сразу подняли вопрос о продлении миссии.

При каждом прохождении перийовия (ближайшей к Юпитеру точки орбиты) Juno погружается в наиболее плотную часть радиационных поясов планеты и испытывает множество столкновений с высокоэнергетическими частицами, содержащимися в них и повреждающими его электронные компоненты. Именно этим фактором главным образом ограничивается «живучесть» зонда. Его самой ненадежной «деталью» считается широкоугольная цветная камера JunoCam — предполагалось, что она выдержит не больше десяти сближений с газовым гигантом. В итоге она выдержала уже 16 и, судя по качеству передаваемых изображений, до сих пор находится в хорошем техническом состоянии. Но даже после ее отказа космический аппарат продолжит изучать Юпитер с помощью остальных своих научных приборов.

Juno — уже второй автоматический разведчик, вышедший на орбиту вокруг самой большой планеты (первым был американский аппарат Galileo, работавший в окрестностях Юпитера в 1995-2003 гг.). Особенность его миссии заключается в том, что его орбитальная плоскость перпендикулярна юпитерианскому экватору, поэтому зонду доступны ранее почти не наблюдавшиеся приполярные области, где уже обнаружены весьма необычные структуры — например, стабильные кольца атмосферных вихрей. С другой стороны, аппарат не имеет возможности сближаться со спутниками планеты и фотографирует их только издалека.

Недавно Juno зарегистрировал и детально исследовал «волновые цепочки» (wave trains) — необычные структуры в атмосфере Юпитера, впервые сфотографированные в 1979 г. зондами Voyager. Они представляют собой большие массы газа, вовлеченные в колебательное движение вместе с аэрозольными

частицами в верхних слоях облаков, что наблюдается в виде последовательности огромных волн. Большинство таких «цепочек» замечено вблизи экватора планеты.

С помощью JunoCam удалось разрешить отдельные гребни волн и измерить расстояния между ними с недоступной ранее точностью. Эти исследования предоставили планетологам очень ценную информацию о динамике юпитерианской атмосферы и ее структуре в областях под «цепочками». По словам одного из сотрудников группы сопровождения Juno Гленна Ортона из Лаборатории реактивного движения NASA (Glenn Orton, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California), самые короткие последовательности состоят всего из двух волн, самые длинные — из нескольких десятков. Расстояние между соседними гребнями в них может колебаться от 65 до 1200 км. По протяженности тени на одном из снимков ученые смогли оценить высоту одной волны, достигающую 10 км.

Чаще всего «цепочки» представляют собой протяженные структуры, вытянутые в направлении с востока на запад, с гребнями волн, перпендикулярными направлению вытянутости. Однако иногда волны оказываются наклоненными к оси «цепочки» под небольшим углом, а некоторые из них следуют заметно изогнутыми путями. Отмечена их связь с другими атмосферными образованиями — вихрями или джетами (мощными газовыми потоками), хотя часть «цепочек», похоже, существует изолированно. Местами они выглядят сходящимися, а кое-где даже перекрываются — возможно, в таких случаях мы просто наблюдаем волновые возмущения на разных высотах.

Анализ полученных данных продолжается, однако уже можно сказать, что большинство замеченных волн, похоже, представляет собой гравитационные атмосферные возмущения — колебания вдоль вертикальной оси, возникающие над какой-то преградой в газовом потоке (на Земле такой преградой, например, может стать восходящий поток в грозном облаке или при обтекании горного массива), недоступной «зрению» JunoCam. Специалисты надеются разобраться в причинах появления таких колебаний с помощью компьютерного модели-

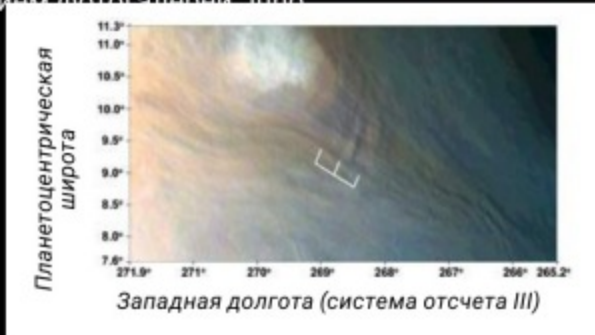
*Южный умеренный пояс Юпитера, сфотографированный космическим аппаратом Dawn 29 октября 2018 г. с расстояния 34 700 км. Ближе к южному полюсу планеты заметно множество темных вихревых структур.*

NASA / JPL-Caltech / SwRI / MSSS / David Marriott



рования.

Напомним, что камера JunoCam установлена на космическом аппарате в основном с общеобразовательными целями, хотя ее снимки также помогают сотрудникам группы сопровождения «привязать» результаты измерений других приборов зонда к конкретному участку Юпитера. Данные, получаемые камерой, доступны на сайте миссии для скачивания и последующей обработки всеми желающими. Именно изображения, обработанные «гражданскими учеными», стали настоящим украшением фотобанки Juno.



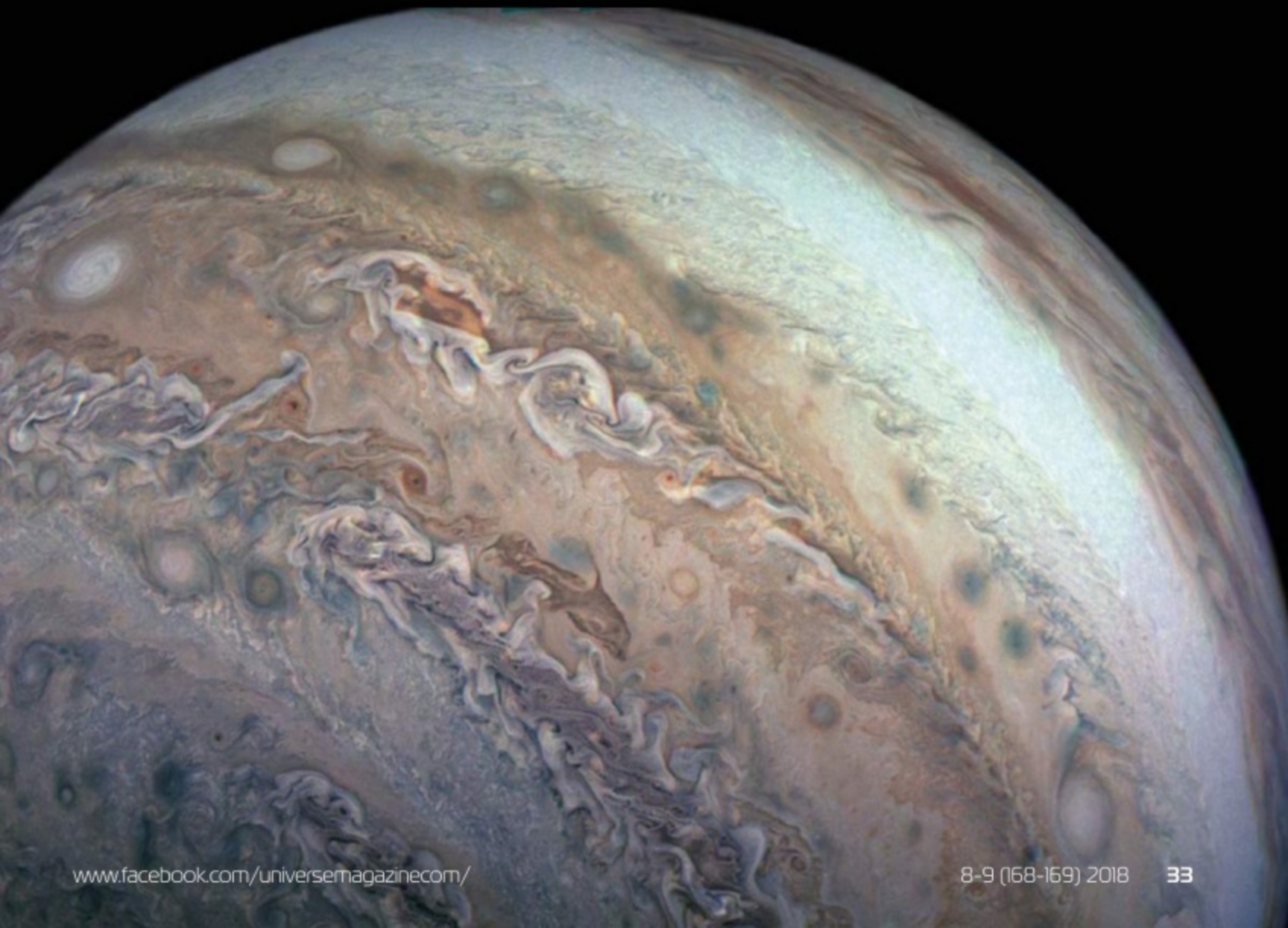
▲ На этом фрагменте снимка Северного экваториального пояса Юпитера, сделанного камерой JunoCam 2 февраля 2017 г. (в ходе четвертого сближения с планетой), видна последовательность из трех атмосферных волн вблизи светлого антициклонического облачного образования. Как показывают наблюдения, «волновые цепочки» довольно часто сопровождают подобные структуры.

NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/JunoCam



▲ В ходе 16-го сближения с Юпитером, состоявшегося 29 октября 2018 г., Juno сделал новую серию снимков облачного покрова газового гиганта. Приведенное изображение получено с высоты 7 тыс. км, когда зонд находился примерно над 40° северной широты, его компьютерная обработка выполнена астрономами-любителями Геральдом Айхштедтом и Сеаном Дораном (Gerald Eichstädt, Seán Doran). На нем запечатлено множество великолепных облачных вихрей в динамичном Северном умеренном поясе планеты. Заметно также несколько ярких «всплывших» высотных облаков и один из антициклонических штормов, известных как «белые овалы».

NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Gerald Eichstädt/Seán Doran





# Voyager 2

ВЫШЕЛ В МЕЖЗВЕЗДНОЕ  
ПРОСТРАНСТВО



**1** из двух действующих  
межзвездных аппаратов

**41** год в  
космосе

**1** «золотое  
послание»

**55 335** км/ч  
скорость удаления от Солнца

**16** часов  
36 минут  
время прохождения радиосигнала  
от зонда до Земли

**17,8** млрд км  
от Солнца

**485** млн км  
в год

**30** всего пройдено более  
млрд км

**4** планеты  
исследовано  
Юпитер  
Сатурн  
Уран  
Нептун

(По состоянию на конец 2018 г.)



V O Y A G E R



Уже второй автоматический посланник человечества вышел за пределы Солнечной системы и отправился в межзвездные пространства. Им стал американский аппарат Voyager 2, который 5 ноября 2018 г. навсегда покинул околосолнечное пространство. Заявление об этом было сделано сотрудниками группы сопровождения миссии на ежегодной встрече участников Американского геофизического союза.

Voyager 2 был запущен 41 год тому назад — 20 августа 1977 г. Целью его миссии являлись внешние планеты Солнечной системы. Компанию ему составил идентичный аппарат Voyager 1, отправившийся в космос 5 сентября 1977 г. Он летел по более короткой траектории, благодаря чему вскоре обогнал своего «собрата».

В 1979 г. зонды посетили Юпитер и воспользовались его гравитацией для ускорения. Благодаря этому всего через два года они совершили пролет Сатурна. Далее Voyager 1 вышел из плоскости планетных орбит, а Voyager 2 направился к ледяным гигантам Урану и Нептуну, в окрестностях которых побывал в 1986 и 1989 гг. По сей день он остается единственным космическим аппаратом, исследовавшим эти две планеты с близкого расстояния.

После пролета Нептуна Voyager 2 ушел от него по траектории, направленной под углом 36° к югу по отношению к плоскости эклиптики. Несмотря на то, что номинальный срок службы аппарата составлял всего 4 года, он сохранил работоспособность, по-прежнему поддерживая связь с Землей и передавая данные своих приборов.

В 2007 г. Voyager 2 вошел во внешний слой гелиосферы — области пространства вокруг Солнца, в которой доминируют солнечный ветер и магнитные поля. В конце августа 2018 г. его приборы зарегистрировали заметное увеличение энергии космических лучей — высокоэнергетических заряженных частиц межзвездного происхождения. В мае 2012 г. похожее изменение параметров окружающей среды отметили датчики зонда Voyager 1. Через три месяца после этого аппарат миновал гелиопаузу (сравнительно тонкую границу, на которой проис-

ходит перемешивание солнечного ветра с межзвездным веществом) и вышел за ее пределы. На тот момент он пребывал на расстоянии примерно 121 а.е. (18,1 млрд км) от нашего светила.

Однако Voyager 2 (удаляющийся почти на 10% медленнее, чем Voyager 1) изначально находился в иной области гелиосферы. К тому же ее размер не является постоянной величиной: на протяжении 11-летнего цикла солнечной активности гелиопауза может приближаться или удаляться от Солнца. Поэтому специалисты миссии не стали озвучивать конкретные прогнозы по поводу того, когда же именно аппарат выйдет в межзвездное пространство.

Но, как оказалось, ждать пришлось совсем недолго. 5 ноября установленный на борту зонда инструмент для изучения плазмы PLS (Plasma Science Experiment) отметил резкое снижение скорости частиц солнечного ветра. В дальнейшем он вообще перестал их регистрировать в окрестностях аппарата. Это стало самым весомым свидетельством того, что Voyager 2 действительно прошел гелиопаузу и покинул гелиосферу. В тот день он находился на расстоянии около 119 а.е. (17,8 млрд км) от Солнца. Испускаемым им сигналам требовалось 16,5 часов, чтобы добраться до Земли.

К сожалению, инструмент PLS на борту Voyager 1 вышел из строя еще в 1980 г., поэтому с тех пор он не может проводить прямые измерения характеристик плазмы. Ученым пришлось воспользоваться косвенными данными о взаимодействии солнечного ветра с окружающим веществом, чтобы оценить его параметры и доказать, что этот аппарат находится за пределами гелиосферы.

Строго говоря, выход в межзвездное пространство еще не означает, что Voyager 2 покинул Солнечную систему. По современным представлениям, ее граница находится за пределами внешнего края Облака Оорта — на расстоянии около 100 тыс. а.е. от Солнца. Аппарату потребуется примерно триста лет, чтобы достичь внутренней границы облака и еще порядка 30 тыс. лет, чтобы пересечь его.

Формально вскоре в межзвезд-

ное пространство также может выйти (а возможно, уже и вышел) запущенный в 1972 г. аппарат Pioneer 10. Сейчас он находится на расстоянии 122 а.е. от Солнца — даже немного дальше, чем Voyager 2. Но дело в том, что он летит в направлении, противоположном направлению движения нашего светила относительно межзвездной материи Млечного Пути. Считается, что граница гелиосферы в этой области проходит на большем расстоянии от центра Солнечной системы, нежели в регионах, где находятся зонды Voyager. К тому же Pioneer 10 с 2003 г. не выходит на связь с Землей. Так что ученые вряд ли когда-нибудь смогут узнать, когда именно он покинул околосолнечное пространство.

Voyager 2 продолжает поддерживать контакт с Землей благодаря радиоизотопному термоэлектрогенератору (ритэгу), преобразующему в электроэнергию тепло, которое выделяется при естественном распаде изотопа плутония-238. Мощность таких генераторов постепенно падает благодаря уменьшению количества радиоактивного изотопа и деградации термопар. Согласно оценкам, из-за снижения мощности и удаления аппарата наземные антенны перестанут принимать его сигнал примерно в 2025 г.

Ни один из пяти «межзвездных странников» не направлен к какой-то конкретной звезде. По расчетам, примерно через 40 тыс. лет Voyager 2 приблизится на расстояние в 1,7 световых года к красному карлику Ross 248, а через 296 тыс. лет пройдет примерно в 4,3 световых годах от Сириуса.

На борту зондов Voyager имеется послание, предназначенное для представителей внеземных цивилизаций, если таковые в будущем обнаружат какой-либо из аппаратов. Оно было составлено группой ученых во главе с известным популяризатором науки Карлом Саганом (Carl Sagan). Послание записано на позолоченную пластинку, прикрепленную к корпусу под специальным защитным футляром, и содержит приветствия на 55 языках, записи различных музыкальных композиций и звуков нашей планеты, а также 116 фотографий, представляющих Землю и ее обитателей.



A full-page background image of an astronaut in a white spacesuit floating in space. The Earth's horizon is visible in the background, with a blue and white atmosphere. A solar panel is partially visible on the right side. The astronaut is positioned on the left side of the frame, facing towards the right.

# 2018

**и далее**

**Основные  
тенденции  
КОСМОНАВТИКИ**

**Андрей Колесник**

Эксперт-аналитик по аэрокосмической деятельности

**Владимир Манько**

«Вселенная, пространство, время»



*Космос не так уж и далек — до него всего час пути, если бы ваша машина имела возможность ехать вертикально вверх.*

*Фред Хойл*

С точки зрения неожиданных сюжетов развития космонавтики уходящий год был действительно неординарным, и открыло его примечательное событие — межпланетное путешествие манекена Starman в кабриолете Tesla, ставшее возможным благодаря новейшей ракете тяжелого класса Falcon Heavy компании SpaceX. Этот запуск серьезно изменил «правила игры» на рынке пусковых услуг. И хотя негосударственные компании уже присутствуют на нем достаточно долгое время, именно частный носитель стал единственной реально эксплуатируемой в настоящее время сверхтяжелой ракетой.

После полета первого человека в космос в 1961 г. многие люди начали мечтать о том, что однажды смогут сами побывать за пределами атмосферы. Но в реальности это удалось лишь немногим. И только сейчас эта мечта может осуществиться для значительно большего числа желающих. До недавних пор человечество занималось в основном рутинным «обустройством» ближнего космоса за счет бюджетов космических агентств, однако частные энтузиасты дали космической отрасли новый толчок, вернувший космонавтику и исследования Вселенной в центр внимания мирового сообщества и государственных деятелей.

Но тот, кто желает двигаться вперед, должен позаботиться о наследии прошлого.

## **Первый мемориал в космосе**

Как и предсказывали эксперты и аналитики, США в преддверии 50-летия первой высадки человека на Луну сосредоточились на вопросах сохранения своего «внеземного материального наследия». Защита артефактов и непосредственно мест посадки лунных модулей кораблей Apollo стала одним из вопросов, которые нынешняя американская администрация хочет предложить для обсуждения на высшем мировом уровне. Речь идет о включении соответствующих



щих охранных актов в действующие конвенции и международные договоры, заключенные под эгидой ООН, а также о составлении новых.

На данный момент уже существуют детальные Рекомендации NASA от 2011 г. касательно воздержания от планирования высадки и проведения исследований в тех районах Луны, где уже ступала нога человека, однако они не имеют обязательного характера для участников «лунной гонки», а потому их если и будут придерживаться, то исключительно добровольно.

В любом случае, внеземное «культурное наследие» представляет интерес не только для ученых (например, с точки зрения исследования длительного воздействия высокоэнергетического излучения на конструкционные материалы) — оно может стать одним из стимулов для развития космического туризма.

## Космический туризм

В первом десятилетии XXI века уже были попытки организовать туристические полеты на Международную космическую станцию длительностью около недели, за которые участники платили от 20 млн американских долларов. Но их пришлось прекратить после завершения эксплуатации многоразовых кораблей NASA (из-за чего возросла нагрузка на российские «Союзы»). Более доступные услуги в этом направлении давно уже обещают реализовать несколько частных компаний, и похоже, что вскоре они смогут это сделать.

Уже понятно, что самая жесткая конкуренция развернется между двумя компаниями: Blue Origin основателя Amazon.com Джеффри Безоса (Jeffrey Bezos) и Virgin Galactic британского бизнесмена Ричарда Брэнсона (Richard Branson). Они предлагают различные продукты и методы предоставления услуг. В обоих случаях речь идет пока о суборбитальных полетах. Первая из упомянутых компаний завершает тестирование системы доставки капсулы с пассажирами традиционным способом — с помощью возвращаемой одноступенчатой ракеты-носителя. Вторая предлагает горизонтальный взлет и посадку по «самолетной» схеме. Но обе они



▲ Маленькая серебристая человеческая фигурка и табличка с 14 именами — первый памятник, установленный за пределами Земли. Его доставил на Луну в июле 1971 г. экипаж посадочного модуля Falcon корабля Apollo 15 в составе Дэвида Скотта и Джеймса Ирвина (David Scott, James Irwin).

На табличке перечислены в алфавитном порядке все члены отрядов советских космонавтов и астронавтов NASA, погибшие в ходе космических полетов или по иным причинам на момент старта экспедиции Apollo 15. В их числе — Чарльз Бассетт (Charles Bassett), Павел Беляев, Роджер Чаффи (Roger Chaffee), Георгий Добровольский, Теодор Фримен (Theodore Freeman), Юрий Гагарин, Эдвард Гивенс (Edward Givens Jr.), Вирджил Гриссом (Virgil Grissom), Владимир Комаров, Виктор Пацаев, Эллиот Си (Elliot See Jr.), Владислав Волков, Эдвард Уайт (Edward White II) и Клифтон Уильямс (Clifton Williams Jr.). Шестеро из восьми упомянутых американских астронавтов не участвовали ни в одной космической экспедиции.

NASA



▲ Участник лунной экспедиции на корабле Apollo 16 Чарльз Дюк (Charles Duke) оставил на поверхности Луны свою семейную фотографию.

NASA



будут предоставлять возможность насладиться полетом за пределами условной границы, отделяющей космос от земной атмосферы (сейчас ее проводят на высоте 100 км), в течение нескольких минут. Как уже говорилось, оба проекта близки к реализации: недавно проведено предварительное тестирование, и официальные лица компаний называют следующий год как дату начала регулярных «рейсов». Экстремалы смогут стать космонавтами за сумму, примерно в сотню раз меньшую, чем цена «туристической путевки» на МКС, высота орбиты которой — около 400 км.

## Суборбитальные «микроавтобусы»

Суборбитальными пусками интересуются не только желающие посмотреть на Землю со стокилометровой высоты и пережить несколько минут невесомости, но и те, кто пытаются сами сделать первые шаги в направлении космоса. По данным аналитиков, за пару последних лет число желающих получить в свое распоряжение средство доставки небольших грузов на околоземную орбиту выросло вдвое — с 20 до 40.

Почти все участники этих «гонок»



Суборбитальный космоплан VSS Unity компании Virgin Galactic в ходе тестирования своих ракетных двигателей 13 декабря 2018 г. поднялся до высоты 82 км.

NASA

планируют вначале спроектировать и построить собственные суборбитальные ракеты, чтобы потом перейти к разработке ракет-носителей сверхлегкого класса, способных выводить полезную нагрузку не только на суборбитальную траекторию, но и как минимум на низкие околоземные орбиты. Интересно, что даже испытательные пуски они часто осуществляют не с массогабаритными макетами, а с функциональными аппаратами: как оказалось, многие заказчики могут провести технологические тесты своего оборудования даже в ходе сравнительно кратковременной невесомости.

«Поставщиками» новых игроков

на рынок подобных услуг оказались диаметрально противоположные «группы по интересам». Во-первых, это команды опытных специалистов, прошедших соответствующую подготовку в профильных компаниях и решивших заняться перспективными разработками самостоятельно, реализуя свой технический потенциал. Во-вторых — студенты и преподаватели университетов.

▼ Калифорния и Тихий океан (слева), сфотографированные камерой на внешней поверхности космоплана VSS Unity во время испытательного полета 13 декабря 2018 г.

NASA





## Космические ракеты: от сверхлегких до тяжелых

Ярко ворвавшись в «ракетный мир», американско-новозеландская компания RocketLab с собственной ракетой Electron продемонстрировала направление, в котором должны двигаться все новейшие аэрокосмические стартапы — упрощение конструкции и прогрессивные технологии производства.

Если карбоновыми корпусами уже никого не удивишь, то отказ от классических турбонасосных агрегатов для подачи компонентов топлива в пользу более простых и дешевых электронасосов с питанием от аккумуляторов не назовешь иначе как революционным решением. А изготовление деталей двигателей методом 3D-печати, как и установка одного и того же типа двигателя на обе ступени ракеты-носителя, подчеркивает рациональность подхода к минимизации количества технологических процессов, что значительно повышает надежность пусков и их экономическую эффективность.

Еще одним существенным преимуществом становится размещение производства наиболее существенных компонентов ракеты и их финальной сборки в одном месте, вдобавок расположенном недалеко от пусковой площадки, возле которой также находится центр управления стартом и полетом.

Конечно, технические решения и технологические процессы, примененные при разработке принципиально новых ракет-носителей, невозможно «сходу» перенести с одного класса ракет на другой. Поэтому, например, вопрос повторного использования ступеней сверхлегких ракет, реализованного на носителе среднего класса Falcon 9, не стоит настолько остро. Но в целом тенденция «многозаказности» отдельных составляющих продолжает развиваться — касается ли это безопасного возвращения маршевых двигателей, или вообще всех ступеней, как это уже озвучили различные представители «нового космоса».

С другой стороны, задачи самых мощных ракет-носителей по-прежнему актуальны. Но заметного прогресса в их разработке пока не

наблюдается, хоть заинтересованные частные компании и пытаются найти инновационные решения, которые помогут совершить прорыв в этой области. И не исключено, что уже скоро развернется соревнование между желающими максимально дешево и качественно доставлять грузы нужной массы на окололунную орбиту, причем конкурентами частных фирм станут проекты государственных космических агентств — например, ракета SLS (Space Launch System), разрабатываемая NASA.

### Движущая сила

Говоря о маршевых двигателях, следует обратить внимание на компоненты топлива, получившие наибольшее распространение.

Горючее и окислитель, доставшиеся «в наследство» от военных ракет — несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и азотный тетроксид (АТ) — токсичны, но зато долго хранятся, а двигатели, работающие на них, могут легко и неоднократно запускаться. Тем не менее, носители, использующие эту топливную пару, постепенно выводятся из эксплуатации. При этом она остается одним из вариантов для использо-

вания в ближнем космосе для разгонных блоков и межорбитальных буксиров, но и там ей все чаще составляют конкуренцию электрореактивные двигатели на ионной тяге.

Новым трендом в создании маршевых двигателей становится пара «жидкий метан — жидкий кислород». При энергетических характеристиках, почти аналогичных керосиново-кислородным «конкурентам», она полностью удовлетворяет условиям экологичности, а также значительно дешевле в эксплуатации. Более того, метан как компонент топлива можно добывать из химических соединений, которые встречаются на других небесных телах. Поэтому отработка «метановой» технологии — это еще и шаг к будущим межпланетным экспедициям.

Твердотопливные двигатели сейчас в основном используются в суборбитальных и сверхлегких ракетах. Только европейская Vega с тремя твердотопливными ступенями относится к легкому классу, а после модификации займет место в среднем классе ракет-носителей. Ее двигатели также планируют использовать как дополнительные ускорители более тяжелых ракет.

На межпланетных трассах полу-

▼ Компания Rocket Lab успешно осуществила второй коммерческий запуск сверхлегкой ракеты Electron. Носитель был запущен 16 декабря 2018 г. с космодрома, расположенного на новозеландском полуострове Махия. По традиции, сотрудники компании дали ему собственное имя — This One's For Pickering — в честь уроженца Новой Зеландии Уильяма Пикеринга, возглавлявшего Лабораторию реактивного движения (JPL NASA) с 1954 по 1976 г.





чают все большее распространение ионные двигатели, которые уже значительно превосходят по своим эксплуатационным качествам и экономичности разработки прошлого века. Их дальнейшее усовершенствование позволит в ближайшем будущем существенно расширить область их применения при изучении Солнечной системы.

## Стартовые площадки

Когда речь идет о безопасности во время запусков ракет (даже суборбитальных), весьма важными становятся вопросы ограничения негативных последствий для окружающей среды и населения. Чаще всего стартовые площадки стараются разместить на месте бывших (или действующих) военных баз и полигонов, построенных во время «ракетного бума» полвека назад на безлюдных территориях.

Но в последние годы космодромов становится все больше, в новостях о космических стартах появляются названия, которые раньше ассоциировались с чем угодно, кроме космонавтики. Собственно, никого уже не удивляют запуски из Новой Зеландии, на очереди — пусковые площадки в Шотландии и на Азорских островах... Открывается «второе дыхание» у стартовых позиций на Аляске, в Норвегии, Швеции. Строго говоря, освоение технологии «воздушного старта» позволит запустить спутники непосредственно из Украины и других густонаселенных стран Европы. Но пока речь идет о том, что украинские ракеты «Циклон-4» будут стартовать с побережья восточной канадской провинции Новая Шотландия.

Если же говорить о «старших братьях» — ракетах-носителях среднего и тяжелого классов — то с ними ситуация более «традиционная»: для их пусков пока будут использоваться уже существующие космодромы, на которых появятся новые стартовые позиции и вспомогательные сооружения.

## Перспективные грузы

Буйный расцвет индустрии новых космических материалов и технологий, миниатюризация электроники, способной выдерживать суровые условия безвоздушного простран-

ства, рост потребности в информации со спутников и сдвиги акцентов в освоении глубокого космоса уже привели к серьезным изменениям в номенклатуре и размерах полезной нагрузки.

«Кубсаты» (CubeSat — блоки из стандартных модулей 10×10×10 см массой до 10 кг) стали основными грузами для операторов ракет-носителей сверхлегкого класса. Доступность компонентов, простота разработки и изготовления позволяет заниматься этим «бизнесом» большому количеству желающих — университетам, отдельным группам энтузиастов, коммерческим организациям. Их число растет в геометрической прогрессии, что провоцирует соответствующую активность и среди владельцев средств доставки на орбиту. Спрос формирует предложение. Следовательно, в ближайшем будущем количество заказчиков таких услуг, требующих оперативного запуска своих аппаратов, будет увеличиваться, как и разнообразие заданий, выполняемых «простейшими» спутниками — технологическая демонстрация, ретрансляция, наблюдения за Землей и космосом, а также более экзотические эксперименты вроде выращивания живых клеток в невесомости.

Подобные спутники не представляют опасности как «космический мусор», если они выведены на высоту 200-300 км, где на протяжении полутора-двух лет их затормозит земная атмосфера, в которой они и сгорят. Более «проблемными» считаются аппараты, запускаемые на орбиты высотой 500-600 км. Не имея двигательных установок, они не смогут после завершения своей миссии самостоятельно направиться «на утилизацию», поэтому регулирующие органы относятся к таким пускам с большей осторожностью (речь идет о том, чтобы установить законодательную норму, предписывающую обязательный свод с орбиты таких аппаратов).

Следующий класс объектов — микроспутники (до 100 кг). Каждый из них по отдельности может быть выведен на орбиту ракетой-носителем сверхлегкого класса, тогда как для пакетного запуска потребуется уже легкий носитель, а если разовая численность будет достигать нескольких десятков — то средний. Задачи, выполняемые такими ап-

паратами, постоянно расширяются. Прежде всего, они касаются наблюдений Земли из космоса, ранее выполнявшихся более крупными спутниками. Группировка же микроспутников позволяет получать изображения одной и той же местности с высокой детализацией практически ежедневно. При этом совершенствование их рабочих характеристик не прекращается, а значит, уже скоро они смогут фотографировать земную поверхность со сверхвысоким разрешением.

То же можно сказать о потенциальных возможностях телекоммуникационных микроспутников. Получение несколькими компаниями разрешений на развертывание группировок из нескольких тысяч таких аппаратов говорит само за себя.

Характерной чертой при массовом производстве однотипных спутников стало применение автоматизированных линий со все большим внедрением роботизации, что позволяет улучшить качество сборки и контроль за этим процессом, а также снизить стоимость единичного изделия.

Чтобы сократить время разработки адаптеров для спутников разных классов и удешевить их (в том числе при формировании пакетов для одновременного запуска), предлагается утвердить унифицированные требования к габаритным характеристикам аппаратов и специализированных контейнеров.

Миниспутники массой до 500 кг фактически находятся уже за пределами условной массовости использования, и похоже, что их «звездный час» постепенно клонится к закату. Им остаются только задачи, требующие одновременного функционирования нескольких сложных устройств (или одного, но более габаритного и универсального). Их серии, как правило, невелики. Запускаются они в ходе отдельного старта РН легкого класса или в качестве попутной нагрузки с основным аппаратом на среднем носителе.

Что касается более крупных спутников, то здесь существенных изменений в технологиях и способах использования пока не наблюдается, если не принимать во внимание их заметно удлинившиеся сроки эксплуатации и тенденции к обеспечению возможности их обслуживания на орбите специализированными



аппаратами, включая потенциальную дозаправку. Отдельно стоит упомянуть о все более частом применении двигательных установок на ионной тяге для довыведения спутника на расчетную орбиту после отделения от носителя или для перемещения между различными рабочими орбитами.

При выполнении заданий выхода человечества за пределы низких околоземных орбит уже можно наблюдать возникновение необходимости одновременного применения космических аппаратов различных классов и размерностей. Здесь уже не обойтись без тяжелых носителей для вывода грузов на орбиту. Задача же одновременной доставки нескольких объектов большой суммарной массы, дополняющих друг друга по целевому назначению, в рамках одной миссии — например, на окололунную орбиту — решается только при использовании РН сверхтяжелого класса, активно разрабатываемых в наши дни как частными компаниями, так и государственными организациями.

## Битва за стандарты

Опыт эксплуатации Международной космической станции выявил очень серьезную проблему, достаточно сильно усложняющую выполнение некоторых сравнительно простых задач. Из-за различного подхода к техническому обеспечению российского и американского сегментов орбитального комплекса (в том числе в вопросах электроснабжения, жизнеобеспечения и т.п.) стоимость поддержания его эффективного функционирования значительно превышает стоимость эксплуатации одиночного условно однородного космического аппарата сравнимых размеров.

С целью унификации операций за пределами атмосферы, обеспечения их совместимости и удешевления участники программы МКС решили разработать «Международные стандарты технического взаимодействия в глубоком космосе» (International Deep Space Interoperability Standards). В 2018 г. был представлен финальный проект этого документа, дающий возможность привести существующие разработки в формат предложенных технических условий и рас-

пространить их на пилотируемые миссии за пределы низких околоземных орбит, которые пока удалось осуществить только NASA.

Стоит отметить, что усилия российской стороны добиться утверждения параллельных требований или хотя бы включения в стандарты несовместимых элементов, исторически присущих только российским (советским) образцам космической техники, закончились неудачей. За основу были взяты западные наработки практически по всем системам, включая вопросы обеспечения жизнедеятельности во время пилотируемых полетов.

Кроме систем жизнеобеспечения, стандартизованы также были системы сближения и стыковки, применение роботизированных устройств при совместной деятельности различных космических аппаратов, теплообменное оборудование, энергетические системы, телекоммуникационные устройства, а также электронные системы взаимодействия.

Так или иначе, российская/советская система стандартов, применяемая уже около полувека, точно не будет использоваться, например, при строительстве окололунной платформы. Однако в этой области заявил о своих амбициях другой мощный космический игрок. Входящем году Китай через Комитет ООН по мирному освоению космоса предложил всем желающим задействовать для совместных исследований собственные орбитальные объекты — прежде всего многомодульную космическую станцию, которую должны ввести в эксплуатацию в начале следующего десятилетия. Единственным требованием КНР является приспособление оборудования стран-партнеров к китайским стандартам космической техники...

## На Луну и не только

В ходе II форума по космическим исследованиям, проходившего в начале весны в Токио при участии руководителей соответствующих ведомств 45 стран, Международная координационная группа по исследованиям космоса, в которую входят все ведущие космические державы, презентовала очередную (третью) редакцию Дорожной кар-

ты человечества для дальнейшей экспансии за пределы низких околоземных орбит.

Карта содержит сценарии будущих лунных роботизированных миссий, а также перечень критических технологий, которые должны быть разработаны в рамках подготовки к ним, и дает возможность каждой космической державе найти свое место в этом грандиозном предприятии. С целью лучшей ориентации в проблеме была дополнительно представлена «Белая книга современных научных возможностей землян».

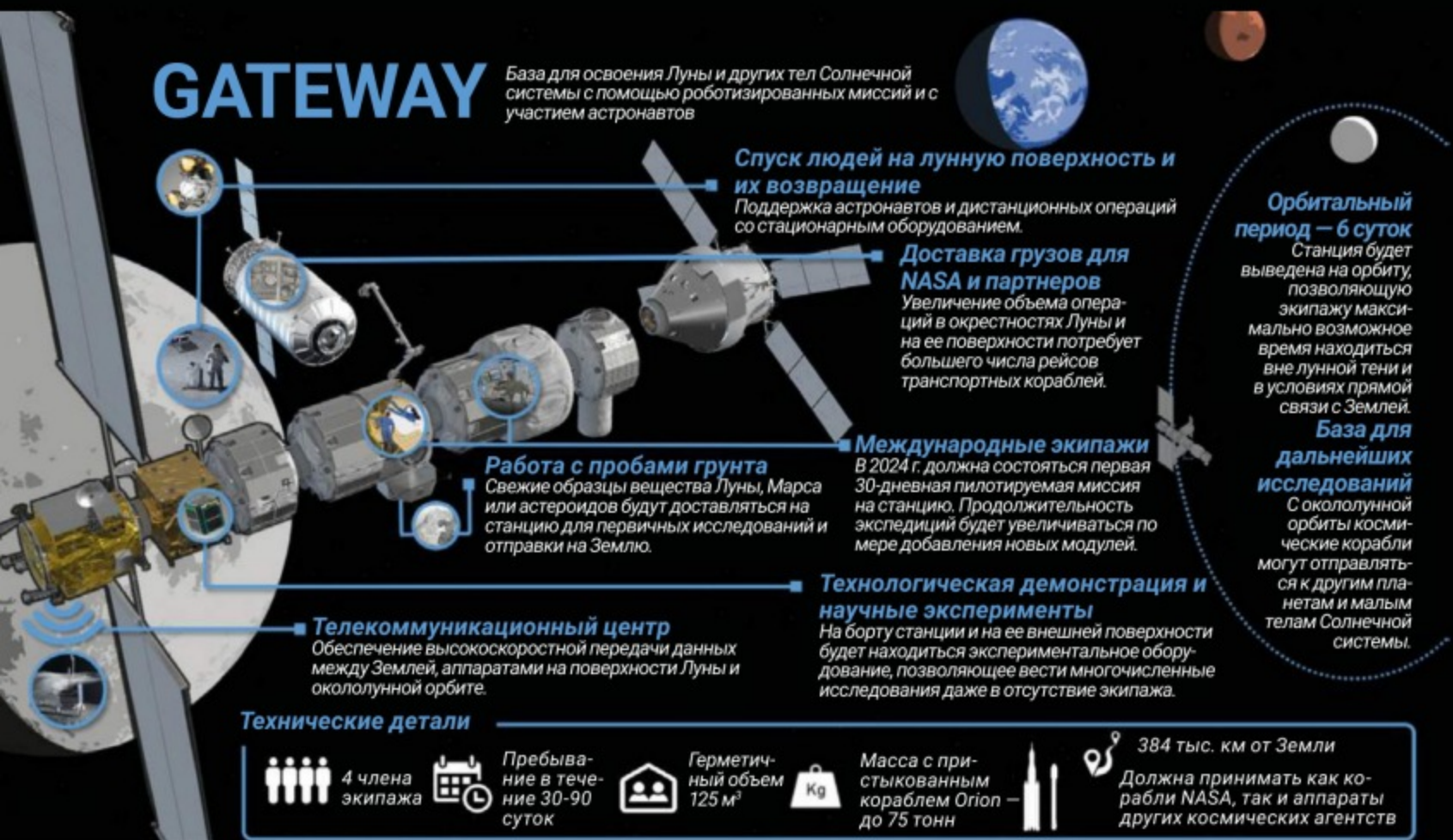
Нацеленность на максимальное использование ресурсов Луны и других небесных тел является одним из главных постулатов предложенной Дорожной карты. Еще одна ее отличительная черта — призыв к расширению сотрудничества с частными компаниями и внедрение предлагаемых ими инновационных решений при поддержке государственных организаций. При этом логистику Околослунной платформы, коммуникационные услуги, целевые поставки оборудования на Луну и сопутствующие вопросы уже вполне под силу взять на себя коммерческому сектору, особенно при финансовой поддержке государства.

## Государственно-частное партнерство

Привлечение бизнеса к космической деятельности в интересах отдельных государств или межгосударственных объединений не является чем-то новым. В Соединенных Штатах уже давно пользуются услугами частных компаний для выполнения различных задач. Революционным можно назвать недавнее решение руководства Военно-воздушных сил США заказывать пуски ракет-носителей легкого и сверхлегкого классов исключительно у частного сектора, не создавая собственной альтернативы. Таким же нестандартным шагом стало и получение американской разведкой, помимо собственных спутниковых снимков, также изображений от негосударственных спутников для наблюдений Земли из космоса.

К похожему решению пришло Европейское космическое агентство,





# GATEWAY

База для освоения Луны и других тел Солнечной системы с помощью роботизированных миссий и с участием астронавтов

## Спуск людей на лунную поверхность и их возвращение

Поддержка астронавтов и дистанционных операций со стационарным оборудованием.

## Доставка грузов для NASA и партнеров

Увеличение объема операций в окрестностях Луны и на ее поверхности потребует большего числа рейсов транспортных кораблей.

## Работа с пробами грунта

Свежие образцы вещества Луны, Марса или астероидов будут доставляться на станцию для первичных исследований и отправки на Землю.

## Международные экипажи

В 2024 г. должна состояться первая 30-дневная пилотируемая миссия на станцию. Продолжительность экспедиций будет увеличиваться по мере добавления новых модулей.

## Технологическая демонстрация и научные эксперименты

На борту станции и на ее внешней поверхности будет находиться экспериментальное оборудование, позволяющее вести многочисленные исследования даже в отсутствие экипажа.

## Телекоммуникационный центр

Обеспечение высокоскоростной передачи данных между Землей, аппаратами на поверхности Луны и окололунной орбите.

## Орбитальный период — 6 суток

Станция будет выведена на орбиту, позволяющую экипажу максимально возможное время находиться вне лунной тени и в условиях прямой связи с Землей.

## База для дальнейших исследований

С окололунной орбиты космические корабли могут отправляться к другим планетам и малым телам Солнечной системы.

### Технические детали



4 члена экипажа



Пребывание в течение 30-90 суток



Герметичный объем 125 м³



Масса с пристыкованным кораблем Orion — до 75 тонн



384 тыс. км от Земли

Должна принимать как корабли NASA, так и аппараты других космических агентств

прекратившее разработку собственных сверхлегких и суборбитальных носителей — теперь оно закупает соответствующие услуги у частных компаний. Кроме того, первичные спутниковые данные от европейской системы дистанционного зондирования Земли уже находятся в свободном доступе (при условии их использования согласно лицензионному соглашению).

Другим значительным шагом должна стать поддержка развития стартапов со стороны государственных структур. В Японии правительство совместно с крупными банками и инвестиционными компаниями создало венчурный фонд размером в 940 млн долларов на пять лет. Во Франции аналогичные действия космического ведомства обходятся примерно в 100 млн евро в год. В США существуют специальные программы поддержки малого космического предпринимательства, в рамках которых разрешено использовать патенты NASA на особых

условиях на протяжении трех лет. Механизмы государственно-частного партнерства предусматривают взаимовыгодное сотрудничество, благодаря которому коммерческий сектор предоставляет государству высококачественные услуги, разрабатывая и внедряя новейшие технологические решения, базирующиеся на прототипах, предоставляемых научно-техническими центрами NASA в зависимости от уровня готовности технологий и передаваемых для дальнейшей коммерциализации.

## Краткие итоги

Анализируя основные направления в сфере космической деятельности, оформившиеся в уходящем году, следует отметить, что ведущие космические державы твердо держат руку на пульсе веяний времени и стимулируют широкое использование законодательных, организационных и финансовых инструмен-

▲ Основная информация о структуре и возможностях лунной орбитальной платформы

LOP-G (NASA)

тов для продвижения и поощрения частного капитала, чтобы он активнее вкладывал средства в перспективные высокотехнологические направления. Государства пытаются упростить ведение бизнеса, в котором отдача возможна, как правило, лишь в долгосрочной перспективе (на данном этапе вложения в космос через 20 лет возвращаются примерно в шестикратном размере). Но и на развитие общества «побочные эффекты» от космической деятельности окажут весьма ощутимое влияние уже в ближайшее время, причем в самом позитивном смысле. Особо ожидаемым в этом направлении, конечно же, является начало пилотируемых суборбитальных полетов в интересах частных заказчиков. ■



# «Союз МС-11»: старт после аварии

3 декабря 2018 г. в 11:31 UTC (13:31 по киевскому времени) с космодрома Байконур стартовала ракета-носитель «Союз-ФГ», которая вывела на опорную орбиту пилотируемый корабль «Союз МС-11» с участниками 58-й долговременной экспедиции на Международную космическую станцию — космонавтом «Роскосмоса» Олегом Кононенко, астронавтом Канадского космического агентства Давидом Сен-Жаком (David Saint-Jacques) и астронавткой NASA Энн Макклейн (Anne Charlotte McClain).

Перелет на МКС осуществлялся по «быстрой» четырехвитковой схеме: уже в 17:36 UTC корабль пристыковался к зенитному порту модуля «Поиск» российского сегмента орбитального комплекса. Экипаж «Союза МС-11» вернется на Землю ориентировочно в апреле 2019 г.

Старты «Союзов» к МКС давно уже стали рутинным событием мировой космонавтики, однако в этот раз достаточно тривиальная космическая миссия оказалась в центре повышенного внимания средств массовой информации и аналитических центров. Дело в том, что предыдущий запуск пилотируемого корабля с Байконура, состоявшийся 11 октября 2018 г., закончился аварией на участке выведения. Поскольку она произошла на 114-й секунде полета (через несколько секунд после сброса двигательной установки системы аварийного спасения), задачу увода бытового отсека и спускаемого аппарата на безопасное расстояние от аварийного носителя выполнила двигательная группа головного обтекателя. Капсула с космонавтом Алексеем Овчининим и астронавтом NASA Ником Хейгом (Nicklaus Hague) поднялась до высоты 93 км, а далее совершила мягкую посадку в 25 км восточнее казахстанского города Жезказган.

Конечно, вероятность неблагоприятного исхода при эксплуатации такой сложной системы, как ракета-носитель, полностью исключить невозможно, и в данном случае инцидент не вышел за преде-

лы т.н. «проектной аварии» (благодаря чему закончился без жертв). Тем не менее, событие все равно стало экстраординарным: российская космонавтика до сих пор не знала ни одного неудачного пилотируемого пуска, а в СССР нечто подобное последний раз произошло 35 лет назад — 26 сентября 1983 г. при старте корабля «Союз Т-10» (позже ему присвоили индекс «Союз Т-10-1»). Интересно, что и сейчас «недолетевший» корабль тоже имел десятый номер.

Результаты работы специальной аварийной комиссии, созданной на следующий день после инцидента, были оглашены на пресс-конференции, состоявшейся 1 ноября в Центре управления полетами ЦНИИ машиностроения. Как удалось установить следственной группе, авария произошла из-за нештатного отделения бокового блока первой ступени, ударившего по второй ступени в районе топливного бака, что привело к деформации и потере стабилизации последней. Причиной сбоя стал изогнутый на 6°45' шток датчика контакта разделения. Он должен был обеспечить открытие сопла на баке окислителя, из которого при нормальной работе испускается струя газа, уводящая отработанный боковой блок от носителя. Специалисты исключили возможность повреждения этого конструкционного элемента на заводе-изготовителе и пришли к выводу, что оно произошло уже на космодроме во время сборки ракеты.

Срыв миссии стал довольно серьезным ударом по всей программе МКС. Дело в том, что находившийся на ней в момент неудачного пуска экипаж, согласно графику полетов, должен был вернуться на Землю 20 декабря на борту корабля «Союз МС-09». Теоретически возвращение можно отсрочить еще примерно на две-три недели, но не больше: дело в том, что корректирующие двигатели спускаемых аппаратов «Со-

◀ Старт ракеты-носителя «Союз-ФГ» с пилотируемым кораблем «Союз МС-10». Для астронавта NASA Ника Хейга этот полет должен был стать первой космической миссией. Космонавт Алексей Овчинин уже успел побывать за пределами земной атмосферы в ходе экспедиции МКС-47/48 в марте-сентябре 2016 г.

Shamil Zhumatov/Reuters





▲ Основной экипаж корабля «Союз МС-10» занимает места в спускаемом аппарате незадолго до старта.

юзов», которые обеспечивают их управляемый спуск в атмосфере, работают на перекиси водорода — веществе достаточно нестабильном (особенно в концентрированном виде) и имеющем ограниченный срок хранения.

Решить возникшую проблему инженеры «Роскосмоса» предлагали путем отправки к МКС следующего корабля в беспилотном режиме (и соответственно возвращении «Союза МС-09» без экипажа — его спускаемый аппарат можно было бы использовать для доставки на Землю результатов научных экспериментов, проводившихся на борту орбитального комплекса). В таком случае экипаж, оставшийся на орбите, смог бы проработать там еще полгода, дожидаясь ближайших пусков российских или новых американских пилотируемых аппаратов. Однако такое решение все равно требовало наличия исправного носителя и корабля. Если бы до конца года «Союз-ФГ» не удалось привести в порядок, оставался бы единственный выход из положения: эвакуация астронавтов и космонавтов со станции с ее частичной или полной консервацией. Эта процедура сама по себе довольно сложна, и вдобавок она означала бы первый перерыв в 18-летнем постоянном присутствии человечества за пределами атмосферы, что для руководителей ведущих мировых космических агентств было бы крайне нежелательным.

Чтобы избежать такого развития событий, российские инженеры в срочном порядке разобрали, перепроверили и снова собрали все носители класса «Союз» — как находящиеся на Байконуре «Союз-ФГ», так и уже доставленные на космодром Куру во Французской Гвиане «Союз-СТБ». После этого госкомиссия одобрила решение производить следующие запуски, сдвинув ранее утвержденный график примерно на две недели. 16 ноября ракета «Союз-ФГ» успешно вывела на опорную орбиту автоматический корабль «Прогресс МС-10», предназначенный для снабжения МКС (изначально он должен был стартовать 30 октября). Запуск пилотируемого корабля «Союз МС-11» также прошел без замечаний.

Тем не менее, американские компании SpaceX и Boeing, ведущие разработку собственных кораблей для полетов на низкие околоземные орбиты (Crew Dragon и Starliner), уже заявили о своей готовности произвести их первые испытательные пуски без экипажей с опережением заявленных сроков. Все шан-

сы победить в этой «гонке» имеет SpaceX: тестовый полет ее корабля с причаливанием к МКС в автоматическом режиме ранее был намечен на 7 января 2019 г., но представители компании уже заявили, что готовы осуществить его до конца декабря, поскольку одним из важных условий миссии является наличие на станции астронавтов для непосредственного контроля операций сближения, стыковки и расстыковки. В данный момент это ограничение уже перестало быть существенным, поскольку МКС продолжает полет с экипажем. Тем не менее, до первого пилотируемого пуска Crew Dragon должен еще пройти тест системы аварийного спасения на участке выведения, сроки которого пока не названы.

Аналогичный тест, согласно требованиям NASA, запланирован и для корабля фирмы Boeing, причем, по некоторым данным, она может осуществить его даже раньше, чем SpaceX, и соответственно раньше сертифицировать свой аппарат для пилотируемых полетов. Эксперты в области космонавтики с интересом следят за этим своеобразным «соревнованием», призом в котором должен стать американский флаг, оставленный на МКС в ходе последней миссии шаттла Atlantis в июле 2011 г. Вернуть его на Землю должен первый астронавт, отправившийся на орбиту с территории США после завершения эксплуатации многоцелевых космических кораблей.



▲ Картина нештатного отделения бокового блока от второй ступени ракеты «Союз-ФГ», составленная по данным телеметрии

▼ Момент увода бытового отсека и спускаемого аппарата корабля «Союз МС-10» от аварийного носителя двигательной установкой головного обтекателя в представлении художника







▲ Авария носителя «Союз-ФГ» с космическим кораблем «Союз МС-10», сфотографированная с территории космодрома.

▼ Встреча членов экипажа корабля «Союз МС-10» с родственниками на космодроме Байконур после аварийной посадки.

NASA



► После отделения от поврежденной второй ступени носителя, приборно-агрегатного и бытового отсека спускаемый аппарат «Союза МС-10» совершил мягкую посадку недалеко от города Жезказган.



Роскосмос



▲ Предполагаемый вид нового пилотируемого корабля CST-100 Starliner компании Boeing (слева) и Crew Dragon компании SpaceX.

Boeing/SpaceX

▼ Недавно компания SpaceX организовала пресс-тур для журналистов, в ходе которого им был продемонстрирован симулятор пилотируемого корабля Crew Dragon, максимально соответствующий рабочему аппарату, и скафандры для астронавтов. В настоящее время этот симулятор используется для тренировок участников первого полета корабля с экипажем, запланированного на июнь 2019 г.

Pauline Acalin



► Астронавтка NASA Санита Уильямс (Sunita Williams), одетая в «фирменный» скафандр SpaceX, во время тренировок в макете капсулы Crew Dragon.

SpaceX





# DRAGON 2

## ГОТОВ К ПОЛЕТУ

18 декабря вице-президент США Майк Пенс (Mike Pence) прибыл на мыс Канаверал, чтобы пронаблюдать запуском ракеты Falcon 9 со спутником системы GPS следующего поколения. Во время визита политик посетил ангар компании SpaceX на стартовом комплексе LC-39A, где ему продемонстрировали готовый к первому испытательному полету новый космический корабль Dragon 2 (Crew Dragon).

Запуск корабля предварительно намечен на 17 января 2019 г. В рамках миссии Crew Demo-1 он состыкуется с МКС и пробудет несколько недель в составе орбитального комплекса, после чего вернется на Землю в автоматическом режиме. Полученные во время тестирования данные будут использованы для сертификации корабля для будущих пилотируемых полетов.

В марте 2019 г. SpaceX проведет натурные испытания системы аварийного спасения (САС) нового космического аппарата. Dragon 2 будет установлен на модифицированной первой ступени носителя Falcon 9 (без использования второй ступени). После запуска ракеты и достижения ею уровня максимального аэродинамического сопротивления состоится активация САС, которая должна увести капсулу корабля от носителя и обеспечить ее приводнение в Атлантическом океане.

Успех этих испытаний откроет дорогу для первого старта с экипажем, намеченного на июнь 2019 г. NASA уже определилась с участниками этой миссии: на борту Dragon 2 будут находиться астронавты Роберт Бенкен и Дуглас Хёрли (Robert Bencken, Douglas Hurley). Оба они уже дважды летали в космос на кораблях многоразового использования Space Shuttle. Символично, что именно Хёрли управлял челноком Atlantis в июле 2011 г. — во время последнего на данный момент пилотируемого полета, начавшегося на территории США.

► Космический корабль Dragon 2 проходит подготовку к беспилотной миссии Crew Demo-1 в ангаре SpaceX на мысе Канаверал

## Начато строительство *Dream Chaser*

В середине декабря представители компании Sierra Nevada сообщили, что проект многоразового корабля снабжения Dream Chaser успешно прошел ключевой обзор специалистов NASA (т.н. Integrated Review 4). Аэрокосмическая администрация окончательно одобрила дизайн космоплана. Это значит, что теперь компания может приступить к изготовлению полноценного экземпляра корабля, который будет использоваться в миссиях по доставке грузов на Международную космическую станцию.

Изначально Dream Chaser задумывался как аппарат для доставки астронавтов для МКС. Однако он не сумел выйти в финал программы Commercial Crew Development, проиграв заявкам SpaceX и Boeing.

▼ Космоплан Dream Chaser компании Sierra Nevada в испытательном центре им. Армстронга на авиабазе Эдвардс в штате Калифорния (Armstrong Flight Research Center, NASA).

NASA



В результате руководство Sierra Nevada решило переработать концепцию космоплана, превратив его в беспилотный корабль снабжения. В 2016 г. проект стал одним из победителей второй фазы программы Commercial Resupply Services 2. Компании было гарантировано как минимум 6 грузовых миссий к МКС в период до 2024 г.

Dream Chaser собираются выводить на орбиту с помощью носителей Atlas V и Delta IV. Космоплан имеет складные крылья, что позволяет не закреплять его сбоку ракеты, а размещать прямо под головным обтекателем. Он сможет доставить на борт МКС до пяти тонн полезной нагрузки в герметичном отсеке и еще до 500 кг — в негерметичном. При возвращении на Землю корабль будет садиться на взлетно-посадочную полосу как самолет, неся на борту до 1850 кг возвращаемого груза. Еще 3400 кг утилизируемых отходов могут быть размещены в отсеке, который должен отделяться перед возвращением космоплана и сгорать в земной атмосфере.

На данный момент прототип Dream Chaser совершил несколько успешных атмосферных полетов в режиме планирования. Благодаря достигнутому прогрессу в феврале 2018 г. NASA официально утвердила первую миссию корабля к МКС на конец 2020 г.



# БЕСПОРЯДОК НА ОРБИТЕ

и как с ним бороться

Дарья Заремба

«Вселенная, пространство, время»



*В первые десятилетия космической эры человечество прилагало колоссальные усилия для освоения околоземного пространства, справедливо считая его важной ступенью на пути к звездам. К сожалению, в то время мало кто задумывался о чистоте окружающего космоса, который представлялся огромным и пустым... В наши дни космический мусор постепенно становится реальной угрозой для функционирования и дальнейшего развития пилотируемых орбитальных комплексов и спутниковых группировок.*



### **Дарья Заремба**

Родилась 4 июня 1997 г. в Донецке (Украина), в 2015 г. поступила на факультет права Национального университета «Киево-Могилянская академия». Параллельно с учебой занималась журналистикой и популяризацией науки, преподавала физику, закончила международную исследовательскую школу по астрофизике Europlanet Research Summer School (Молетская астрономическая обсерватория, Литва), стажировалась в Международной школе научной журналистики в Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture (Эриче, Сицилия, Италия). Одна из основательниц платформы для исследователей «Локус», член команды организаторов Space Generation Advisory Council European Workshop – 2019 (Лондон, Великобритания). Дважды удостоивалась звания лучшего колумниста научно-популярной платформы «Naked Science».



## Обочины космической дороги

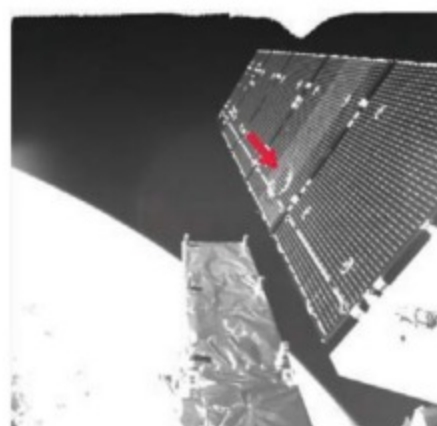
23 августа 2016 г. операторы контрольного центра ESA в Дармштадте (Германия) отметили «странное» поведение спутника Sentinel-1A. Он вдруг немного изменил свою орбиту, поменял ориентацию, а количество электроэнергии, вырабатываемой его солнечными батареями, резко снизилось. Инженеры были сильно удивлены — ведь спутник находился в космосе лишь третий год. Причину аномалии удалось выяснить только после активации бортовых камер: на своих экранах сотрудники центра управления сразу заметили повреждения одной из фотогальванических панелей космического аппарата шириной около 40 см.

Так обычно звучат истории о «пострадавших» аппаратах, которым не посчастливилось стать «жертвами» космического мусора — отработанных спутников, ракетных ступеней и их частей. Сегодня на орбите находится около 9000 тонн искусственных объектов, из которых почти 80% приходится на космический мусор.

Источников «загрязнения» околоземного пространства несколько. Во-первых, это отработанные верхние ступени и разгонные блоки ракет-носителей. Так, когда в 1957 г. был запущен первый искусственный спутник Земли, вместе с ним на орбите появился и первый в истории объект космического мусора — вторая ступень ракеты-носителя Р-7. Поскольку она имела значительно больший размер, то выглядела для наземных наблюдателей намного более яркой, и именно ее часто принимали за «первый спутник».

Кроме того, любому спутнику рано или поздно «приходит конец»: все они — в назначенный срок или преждевременно — однажды выходят из строя и больше не могут выполнять своих функций. Их «бесчувственным телам» остается только бесконтрольно крутиться по орбитам.

Часто эти процессы сравнивают с ситуацией, в которой автомобилисты оставляли бы свои транспортные средства посреди дорог из-за поломки или исчерпания горючего. Очевидно, что при таком раскладе



▲ Снимки фотогальванической панели спутника Sentinel-1A до и после столкновения с фрагментом космического мусора. На данный момент это самая детальная иллюстрация подобного события. Несмотря на серьезные повреждения, инженерам группы сопровождения удалось восстановить работоспособность аппарата. Фотография была сделана вспомогательной камерой, которую изначально планировали использовать только для контроля разворачивания бортового оборудования вскоре после запуска.

Изображение показывает, что удар пришелся на обратную сторону панели. Импактор пробил ее насквозь и вызвал закручивание аппарата. Это позволило уточнить направление и скорость его полета, после чего стало ясно, что виновником столкновения стал именно космический мусор, а не метеороид, прилетевший из межпланетного пространства (в таком случае относительная скорость была бы заметно большей, и спутник, вероятнее всего, получил бы фатальные повреждения).

ESA

ездить по дорогам становилось бы все труднее, а в итоге — и вовсе невозможно из-за неизбежности столкновений. И если мы не примем должных мер — подобное ожидает и околоземное космическое пространство.

Но опасность для будущих миссий за пределы атмосферы представляет не только крупногабаритный мусор наподобие отработанных ракет и «мертвых» спутников. Гораздо чаще космические аппараты сталкиваются с его производными — «мелочью», отсоединившейся от больших объектов. Ослепленные успехами в достижении новых высот, сверхдержавы в далеких 60-х даже не думали об «экологии» околоземных орбит. Покрывают датчиков и крышки объективов сбрасывались в открытый космос, туда же сливались охладители спутниковых ядерных установок... Как следствие, сегодня мы имеем вокруг Земли целый пояс из сотен тысяч затвердевших «шариков» охлаждающей жидкости. Конечно, современные космические миссии уже избегают подобных действий, однако и случайное отшелушивание куска краски от спутника может нанести вред другому орбитальному объекту. Все дело в скорости, с которой эти незначительные, на первый взгляд, частицы движутся по орбитам: на «встречных курсах» она приближается к 16 км/с! Даже

крохотный фрагмент сравнительно мягкого материала при такой скорости обладает колоссальной кинетической энергией и способен нанести заметный ущерб функционирующим аппаратам.

Кроме таких, можно сказать, привычных источников космического мусора, как отшелушивание краски и потеря космонавтами отверток в космосе, существуют два других опасных процесса, ведущих к его возникновению: столкновения и взрывы. Примером первого — пожалуй, наиболее масштабным — стало столкновение американского коммуникационного аппарата Iridium 33 и российского «мертвого» военного спутника «Космос-2251» в феврале 2009 г. Оба они в результате были уничтожены, из-за чего образовалось приблизительно 2300 обломков (и это только те, которые удалось отследить).

Несмотря на то, что орбитальные столкновения пока остаются относительно нечастым явлением, их вероятность возрастает пропорционально квадрату количества объектов на орбите. То есть, если число космических аппаратов увеличится в 10 раз, вероятность столкновений возрастет стократно. Добавим к этому тот факт, что в текущем году Федеральная Комиссия США по связи предоставила Илону Маску официальное разрешение на запуск 4425 интернет-спутников (больше,



чем всего сейчас имеется работающих аппаратов на околоземных орбитах) — и получим рецепт глобальной катастрофы.<sup>1</sup>

Что же касается взрывов, то основную опасность здесь представляют «зависшие» ракетные ступени. Дело в том, что после того, как ракета выводит космический аппарат на орбиту, ее баки опустошаются не полностью — в них всегда остается 2-4% от залитого топлива. Все носители, запускаемые с Земли, заправляются горючим (как правило, керосином, диметилгидразином или жидким водородом) и окислителем (жидкий кислород, тетроксид азота). Пока их остатки отделены друг от друга, проблем не возникает. Но когда «прокладка» между ними разрушается — а это может произойти через месяцы или годы после старта — взрыв неминуем.

Один из типов российских ракетных двигателей (SOZ) стал причиной уже четырех взрывов на орбите на протяжении последних двух лет. Более современные технологии в двигателестроении позволяют избегать подобных эксцессов путем «пассивации» орбитальных ступеней. Этот термин означает процесс высвобо-

ждения всех избыточных энергоносителей из отработанного аппарата, например, путем газификации жидкого топлива: после доставки груза на орбиту в баки последней ступени подаются горячие газы — продукты реакции химических соединений, самовозгорающихся при смешивании (или просто реагирующих с выделением большого количества тепла и газообразных продуктов). При этом топливо нагревается до температуры кипения и испаряется. Однако, невзирая на все достижения в области космических технологий, на околоземных орбитах все еще находится огромное количество старых ракет — «бомб замедленного действия».

В прошлом немало космического мусора породили так называемые «антиспутниковые миссии», которые проводились космическими державами в военных целях. Невзирая на то, что истреблять орбитальные аппараты оппонентов ни США, ни России (СССР), ни Китаю так и не пришлось, последствия тестирования таких технологий на собственных спутниках этих стран мы наблюдаем до сих пор. Так, когда в 2007 г. Китай уничтожил свой метеоспутник «Феньюн-1с», космос засорился более чем 3400 обломков.

Итого, в результате почти трехсот разрушений, вызванных в основном взрывами, и десятка столкновений аппаратов на данный момент имеется 29 тыс. объектов космического мусора размером бо-

лее 10 см, 750 тыс. — от 1 до 10 см и свыше 165 млн — от 1 мм до 1 см.

## Детектирование и отслеживание

Проблема «засоренности» орбит не сразу привлекла внимание международного сообщества. На ранних этапах космической эры все надежды относительно утилизации мусора в околоземном пространстве возлагались на «естественный очиститель» — плотные слои атмосферы. Когда объект движется по орбите, на него, кроме силы земного притяжения, действует сила сопротивления разреженных верхних слоев газовой оболочки нашей планеты. Она тормозит спутник, и радиус траектории его движения постепенно уменьшается. Двигаясь по спирали, он неуклонно приближается к Земле, и если не «приподнимать» его с помощью корректирующих двигателей — в конечном итоге он достигнет таких высот, на которых плотность атмосферы достаточно высока, чтобы за считанные минуты «погасить» скорость космического аппарата и вынудить его упасть (чаще всего при этом кинетическая энергия объекта переходит в тепловую, и ее оказывается достаточно, чтобы почти полностью его испарить — это принято называть «сгорание в атмосфере»). В зависимости от начальной высоты орбиты этот процесс может занять от нескольких недель до целых столетий.

В 1978 г. американский астрофизик и консультант NASA Дональд Кесслер (Donald Kessler) впервые забил тревогу, обратив внимание на то, что при существующем темпе космических стартов ближний космос очень скоро станет непригодным для практического использования. В своем исследовании он продемонстрировал неэффективность естественной очистки орбит из-за распространения «цепных реакций» космического мусора. Чем больше объектов на орбите — тем выше вероятность их столкновений. Крупные спутники, столкнувшись, порождают еще большее количество обломков, каждый из которых, в свою очередь, может столкнуться с другими. Этот процесс, названный в честь ученого «синдромом Кес-

<sup>1</sup> 25 июля 2018 г. компания Илона Маска запустила в космос еще 10 спутников Iridium. Это был предпоследний из 8 запусков, в ходе которых планируется вывести 75 новых коммуникационных аппаратов для раздачи всемирной сети Интернет.



▲ Спутники Iridium 33 и «Космос-2251» столкнулись 10 февраля 2009 г., двигаясь почти перпендикулярными курсами с относительной скоростью около 10 км/с (36 тыс. км/ч). Первый из них после этого удалось пронаблюдать с большим увеличением, в результате чего стало понятно, что от столкновения пострадала в основном его верхняя часть, постоянно повернутая в сторону от Земли (нижняя — с закрепленными на ней антеннами — осталась сравнительно нетронутой). По состоянию на 3 сентября 2010 г. американская сеть

наблюдений за космическим пространством (Space Surveillance Network — SSN) зарегистрировала 528 обломков Iridium 33 размером более 10 см; еще 1347 фрагментов принадлежат аппарату «Космос-2251». К настоящему времени из этого числа сошли с орбиты соответственно 29 и 60 фрагментов. На приведенной иллюстрации показана эволюция образовавшихся «облаков» обломков со временем. Значительная их часть, как показывают расчеты, останется в космосе и через сотню лет...





Корпус двигателя третьей ступени ракеты Delta 2, упавшей на территории в Саудовской Аравии

слера», приводит к образованию все новых и новых фрагментов космического мусора даже при условии полной остановки запусков орбитальных аппаратов.

Осознав всю опасность ситуации, за дело взялось международное сообщество. Для предотвращения орбитальных столкновений сегодня ведется активный мониторинг объектов космического мусора на низких околоземных орбитах. Наблюдения осуществляются двумя путями: с помощью наземных станций (оптических и радиолокационных), а также аппаратов исследования «на месте» (in situ), регистрирующих мелкие обломки с помощью сенсоров прямо в космосе.

Наиболее известным радиолокационным детектором является TIRA (Tracking and Imaging Radar), расположенный в Институте физики высоких частот и радарных методов им. Фраунгофера вблизи Бонна (ФРГ). Эта станция имеет довольно большую антенну диаметром 34 м для выявления и отслеживания фрагментов мусора. Также на ней проводятся регулярные эксперименты beam park. Суть их заключается в том, что радиолуч фиксировано направляется в одну точку неба в течение 24 часов. Благодаря вращению Земли за это время он сканирует 360° в узкой полосе небесной сферы, регистрируя все предметы, пересекающие луч. В ходе таких экспериментов TIRA может обнаруживать и определять направление движения объектов поперечником от 2 см в диапазоне высот до 1000 км.

Чувствительность методики можно еще увеличить, «взяв в напарники» 100-метровую приемную антенну расположенного вблизи

радиотелескопа Эффельсберг с целью приема отраженных сигналов, которые посылает TIRA. Так можно зарегистрировать частицы размером порядка сантиметра.

В отличие от локационных станций, ведущих активное облучение объектов радиопульсами, оптические станции пассивно принимают видимый свет, отраженный фрагментами мусора. Из-за того, что первичным источником такого «свечения» является Солнце, для наблюдений в видимом диапазоне требуются соответствующие метеорологические условия (отсутствие облачности), и вдобавок объект должен находиться вне теневого конуса Земли, а детектор — внутри него. Наиболее эффективно наземные телескопы осуществляют подобные наблюдения в течение нескольких минут сразу после заката или прямо перед рассветом. Однако именно оптические детекторы регистрируют мусор на самых удаленных орбитах.

Но, какими бы чувствительными ни были наземные детекторы, им не под силу заметить мельчайшие частицы, заполняющие околоземное пространство. Для таких случаев в космос запускаются аппараты in situ. Ранее распространенной практикой была отправка на орбиту так называемых «коллекторов», заполненных аэрогелем. Микрочастицы «вязли» в этом геле, а когда «пылесборники» возвращались на Землю, с их помощью ученые получали информацию о самых мелких фрагментах космического мусора. К сожалению, такой метод «рыбачкой сети» не очень практичен, когда речь идет о дальних орбитах. Поэтому теперь в космос отправляют сенсорные детекторы.

Один из таких аппаратов, появившихся сравнительно недавно, носит название DEBIE (DEBris In-orbit Evaluator). Его разработали специалисты Европейского космического агентства. Детектор содержит три сенсорных блока, чувствительных к объектам субмиллиметровых размеров. Каждая панель состоит из тонкой алюминиевой фольги, спереди и сзади которой размещаются плазменные датчики. Когда частица ударяется в панель, датчики спереди регистрируют плазму, сгенерированную при столкновении с фольгой, пьезоэлектрические

преобразователи в самой фольге (с помощью которых на месте механического столкновения возникает электрический заряд) генерируют импульс влияния, а если частица обладает достаточной энергией для прохождения сквозь фольгу — ее регистрируют еще и задние детекторы. На основе измеренных параметров вычисляются масса и скорость «постороннего» объекта. В целом благодаря совокупности этих измерений детекторы DEBIE могут «улавливать» фрагменты космического мусора и микрометеориты массой от 10-15 мг.

## Не сорите на орбите!

Помимо мониторинга околоземного пространства, заинтересованные организации также образовали Межагентский координационный комитет по космическому мусору, в рамках которого 13 космических агентств (в том числе украинское) объединяют свои усилия для предупреждения появления нежелательных объектов на орбитах во время проведения дальнейших миссий.

Так как же можно снизить риски возникновения космического мусора? В первую очередь, естественно, путем надежного закрепления всех съемных и откидных элементов спутников, а также пассивации космических объектов с целью предупреждения взрывов. В то же время ключевым остается вопрос собственно очистки орбит от отработанных аппаратов. Для этого на спутники массой свыше нескольких сотен килограмм сегодня в обязательном порядке устанавливают собственные двигатели для изменения их орбиты (маневрирования). Если раньше после отделения от последней ступени ракеты космический аппарат двигался исключительно под действием гравитации и сопротивления воздуха, то теперь направление его движения может быть скорректировано, когда его миссия подойдет к концу.

В зависимости от высоты орбиты существует два варианта коррекции траектории. Если спутник находится на низкой околоземной орбите (НОО), то после завершения работы его направляют в плотные слои атмосферы, где он благополучно сгорает. Конечно, если аппарат



# КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР

Объекты размером больше 10 см на низких околоземных и геостационарной орбитах

- Активные спутники
- Нефункциональные спутники
- Верхние ступени ракет-носителей
- Винты, гайки, другие детали
- Фрагменты конструкций



Тесными сближениями считаются пролеты крупных фрагментов космического мусора в пределах 8 км от действующих аппаратов или МКС (происходят около тысячи раз в сутки)



Свыше 21 тыс. объектов размером 10 см и больше

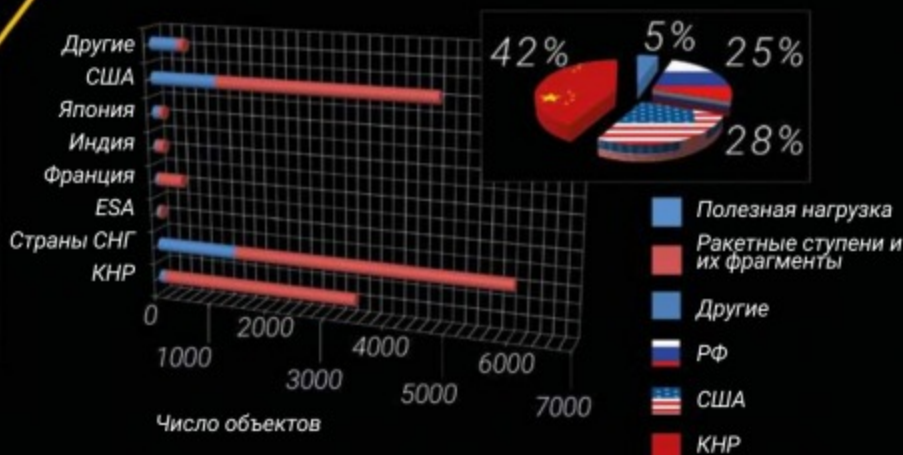
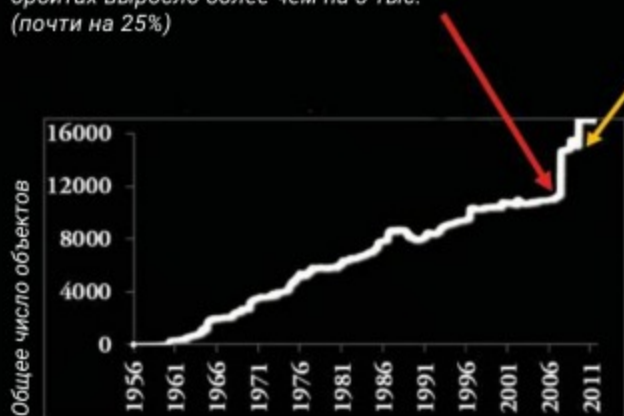
Свыше полумиллиона объектов размером больше сантиметра

Миллионы более мелких частиц



В 2007 г. в ходе испытаний новой ракеты Китай целенаправленно уничтожил свой метеоспутник, в результате чего количество обломков на околоземных орбитах выросло более чем на 3 тыс. (почти на 25%)

После столкновения спутников Iridium 33 и «Космос-2251», произошедшего 10 февраля 2009 г., в околоземном пространстве оказалось свыше 2 тыс. обломков.



С использованием инфографики Parthasarathi Trivedi

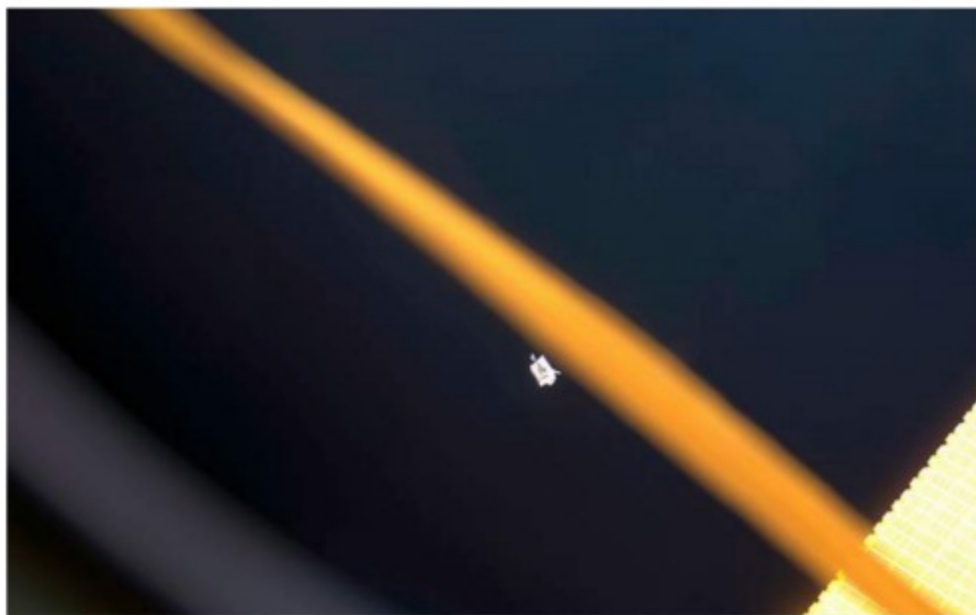


слишком большой или изготовлен из материала крепче легкоплавкого алюминия, он может сгореть не полностью, и тогда некоторые его части достигают земной поверхности. Так, например, случилось в 1979 г., когда в результате резкого всплеска солнечной активности 77-тонная американская космическая станция Skylab осуществила преждевременный вход в атмосферу и неудачно упала на территорию Австралии (падение произошло в малонаселенных районах, поэтому, к счастью, обошлось без жертв). Для подобных аппаратов производится контролируемое сведение с орбиты над так называемым «кладбищем космических кораблей» в южной части Тихого океана.

Такой же механизм задействуется и для избавления от последних ступеней ракет. Как уже упоминалось, для их пассивации остатки топлива можно испарять. Однако эти остатки также можно использовать для последнего запуска двигателей, импульс которых направит объект в атмосферу, и он будет находиться на орбите не месяцы или годы, а всего лишь несколько часов.

Кроме высот порядка 500-700 км, существует еще одна орбита с повышенной концентрацией космического мусора — геостационарная (ГСО). Названа она так потому, что выведенные на нее объекты постоянно находятся над одной и той же точкой Земли из-за синхронизации скоростей ее вращения вокруг оси и орбитального движения спутника, что создает эффект «зависания» относительно планеты. Благодаря этой особенности именно здесь размещаются многие телекоммуникационные и ретрансляционные спутники. ГСО имеет высоту чуть меньше 36 тыс. км, поэтому «тянуть» оттуда объекты к плотным слоям земной атмосферы нецелесообразно — намного проще поднять их на несколько сотен километров выше (на так называемую «орбиту захоронения»), очистив геостационарный пояс для новых аппаратов.

Однако далеко не каждый аппарат можно обеспечить собственным двигателем для изменений его траектории. Последним трендом в развитии космических технологий стали, как уже писалось в более ранних номерах нашего журнала, наноспутники формата CubeSat (са-



▲ 18 ноября 2008 г. во время выхода в открытый космос по программе обслуживания МКС астронавтка Хайдемари Стефанишин-Пайпер (Heidemarie Stefanyshyn-Piper) случайно упустила сумку с инструментами, в итоге превратившуюся в очередной объект космического мусора. Через полгода, постепенно снижаясь, сумка вошла в земную атмосферу и сгорела в ней. На снимке запечатлен момент ее «побега».

теллиты массой до 10 кг, составляемые из типовых кубических блоков 10×10×10 см). Их активно разрабатывают и запускают по всему миру даже студенты — в том числе и студенты Киевского национального технического университета, отправившие свой аппарат PolyTAN-2-SAU на орбиту в мае прошлого года. На данный момент в космосе уже находится свыше 500 кубсатов, и их количество стремительно растет. Такой всплеск заинтересованности обусловлен двумя факторами. Во-первых, наноспутники обеспечивают дешевый доступ в космос для демонстрации новых технологий, проверки научных концептов, а также с образовательными целями. Во-вторых, они используют уже отработанные и готовые к использованию технологии. Но небольшой размер кубсатов обычно ограничивает их возможности (мощность, мобильность, полезную нагрузку), поэтому они, как правило, не имеют двигательной установки для изменения орбиты, становясь, таким образом, дополнительным источником космического мусора.

## Орбитальные «чистильщики»

Конечно же, предупреждение «загрязнения» космоса во время будущих космических миссий одно-

значно является важным заданием. Но проблема засоренности околоземного пространства не будет решена до тех пор, пока не начнется процесс активного удаления уже накопленных «мертвых» объектов.

На данный момент мы имеем несколько предложений по очистке околоземных орбит от космического мусора. Одна из них — система RemoveDEBRIS, разработанная Космическим центром Суррейского университета в Великобритании (Surrey Space Centre). Для выполнения своей миссии этот «космический пылесос» оснащен двумя системами захвата — на основе сетки и гарпуна. Прототип аппарата был отправлен на Международную космическую станцию 2 апреля 2018 г. с помощью ракеты Falcon 9. Спутник в форме куба массой 100 кг — наибольший среди доставленных на МКС — продемонстрирует технологию отслеживания и активного удаления объектов на примере двух кубсатов, названных DebrisSATS. «Уборщик» должен поймать DebrisSAT 1 с помощью выпущенной сетки. Гарпун испытают на цели размером 10×10 см, выпущенной на расстоянии 1,5 м от RemoveDEBRIS. А с помощью встроенной навигационной системы VBN (Visual Based Navigation System) аппарат будет отслеживать DebrisSAT 2. В завершение своей миссии он развернет аэродинамический тормоз — парус из сверхпрочной полимерной



пленки, с помощью которого сойдет с орбиты.

Более экзотический способ избавления от космического мусора предлагают китайцы. Сотрудники Инженерного университета ВВС Китая занимаются разработкой лазера, который, будучи установленным на одном из спутников, должен облучать обнаруженные частицы размером 1-10 см. В результате мелким объектам передается достаточный импульс для изменения траектории их движения. Технология позволит предупреждать столкновения аппаратов с такими частицами, направляя последние в атмосферу. В то же время не стоит забывать, что лазер представляет собой опасный источник направленной энергии. По этой причине в марте 2017 г. генерал ВВС США Джон Хайтен (John Hyten) в интервью CNN даже обвинил КНР в подготовке запуска оружия в космос.

Наибольшую же ценность будут иметь технологии, которые помогут справиться с крупногабаритным космическим мусором — ведь именно он играет ключевую роль в «эффекте Кesslera». Подобные разработки также имеются. Группа ученых из Университета Тулузы (Франция), работающая по заданию Европейского космического агентства, предложила использовать в качестве орбитального «чистильщика» так называемый «магнитный буксир» — автоматический спутник, вооруженный мощными криогенными магнитами. Используя силу магнитного притяжения (или отталкивания), этот аппарат без какого-либо физического контакта с фрагментом мусора сможет

«отбуксировать» его на орбиту захоронения или же направить в атмосферу. Такой механизм «уборки» достаточно эффективен, так как в большинстве космических аппаратов присутствуют узлы и детали, изготовленные из магниточувствительных материалов, а спутники на НОО, как правило, оснащены стабилизаторами для ориентирования в пространстве при помощи магнитного поля Земли. Прелесть технологии в том, что с ее помощью можно будет избавляться от нежелательных орбитальных объектов массой в несколько тонн.

\* \* \*

Несложно заметить, что сегодня космонавтика, можно сказать, снова «вошла в моду»: кубсаты, системы спутников всемирного Интернета, миссии по поискам и изучению экзопланет, орбитальные телескопы, околосолнечные и марсианские станции... СМИ только и успевают подхватывать идеи «горячих голов» космической индустрии. Однако не стоит забывать, что, если вовремя не опомниться, уже через несколько лет космос будет «закрыт» для человечества, а уже имеющиеся на орбите спутники, без которых сложно представить себе современную цивилизацию, окажутся под угрозой уничтожения. Поэтому проблема космического мусора ставится на повестку дня все большего числа авторитетных международных форумов, а технологиями ее решения занимаются ведущие научно-исследовательские организации планеты. ■



▲ «Космическая сеть» спутника RemoveDebris в специальном контейнере с механизмами для ее развертывания на орбите.

AIRBUS

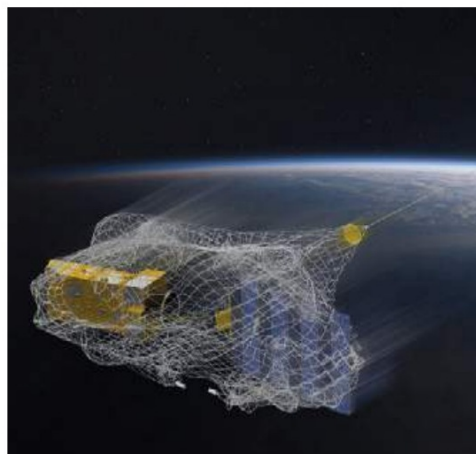


▲ Британский спутник RemoveDebris был выведен на околоземную орбиту высотой около 300 км, где он развернул специальную сеть из прочного тонкого полимерного волокна, предназначенную для «ловли» небольших фрагментов космического мусора. В будущем такие аппараты собираются оборудовать высокочувствительными фотокамерами, а также мощными двигателями, позволяющими им менять орбиту и буксировать захваченные объекты к возможному месту переработки (либо сводить их с орбиты).



Запуск аппарата RDS (RemoveDebris Satellite) с Международной космической станции, состоявшийся 20 июня 2018 г. в рамках миссии Active Debris Removal. Его задачей было самостоятельно обнаружить два наноспутника-имитатора, запущенных ранее, захватить их с помощью специального устройства и изменить их орбиту. В целом эксперимент был признан успешным.

NASA/NanoRacks/Ricky Arnold



▲ С помощью автоматического аппарата e.Deorbit инженеры ESA собираются свести с орбиты спутник Envisat, прекративший работу в 2012 г.



# Тающие ЛЕДНИКИ Гренландии

В начале декабря в журналах Nature и Earth and Planetary Science Letters были опубликованы статьи, посвященные состоянию ледяного покрова Гренландии. Проанализировав данные наземных и спутниковых наблюдений, исследователи пришли к весьма неутешительным выводам: судя по всему, за последнюю четверть века скорость таяния крупнейшего ледника Северного полушария начала стремительно увеличиваться, что в перспективе не сулит человечеству ничего хорошего.

Ученые обнаружили, что сток талой воды из гренландских ледников за минувшие два десятилетия вырос наполовину. Если же проводить сравнение с доиндустриальной эпохой, то цифры становятся еще более впечатляющими. Анализ ледяных кернов

► Гренландский ледяной каньон, заполненный талой водой. Летом 2010 г. такие каньоны стали на крупнейшем острове вполне обычным явлением...

Ian Joughin, UW APL Polar Science Center

за последние 350 лет показывает, что по сравнению с началом XIX века скорость таяния ледников возросла на 250-575%. Конечно, параллельно с процессами таяния идет и намерзание, но в целом объем воды, ежегодно попадающей в Мировой океан с Гренландии, увеличился более чем в полтора раза.

Достаточно выразительно эта

▲ В конце весны поверхность ледяного щита Гренландии покрывается настоящими реками, несущими в океан миллиарды кубометров талой воды.

Sarah Das/Woods Hole Oceanographic Institution





тенденция стала проявляться в 90-х годах прошлого столетия. Как показывают данные спутниковых наблюдений, именно тогда высота ледяного покрова острова начала заметно уменьшаться. Рекордным по скорости потери льдов стал 2012 г.

По словам ученых, последний раз подобное таяние ледников наблюдалось 7800 лет назад. Согласно одной из гипотез, именно тогда произошли драматические события, известные как Черноморский (Дарданов) потоп. Вода из Средиземного моря прорвала существовавший на месте Босфора сухопутный перешеек, что привело к образованию колоссального водопада, через который в сутки переливалось приблизительно  $40 \text{ км}^3$  воды — в 200 раз больше, чем через знаменитый Ниагарский водопад. Соленая вода стремительно залила замкнутое прежде Черное море (тогда оно было пресноводным озером), серьезно подняв его уровень. Общая площадь затопленных в то время территорий составила 155 тыс.  $\text{км}^2$ , что сравнимо с территорией государства Бангладеш.

В последние годы гренландские ледники ежегодно производят около 350 гигатонн талой воды (в начале XIX века данный показатель составлял 200-250 гигатонн). Попадание такого количества дополнительной воды в Мировой океан вызывает увеличение его уровня почти на 1 мм. Это очень существенная цифра. А продолжающийся рост средней температуры Земли приводит к еще большему ускорению таяния ледников. Необходимо учитывать и эффект положительной обратной связи: лед и снег имеют намного более высокую отражательную способность, нежели морская поверхность и суша, поэтому по мере уменьшения площади ледяных покровов наша планета будет поглощать все больше солнечной энергии. Как следствие, это приведет к дальнейшему нагреву Земли и еще сильнее ускорит процесс таяния оставшихся залежей «сухопутного» льда.

Неудивительно, что научное сообщество все настойчивее призывает мировых лидеров предпринять все возможные меры по снижению выбросов

парниковых газов в атмосферу, чтобы замедлить процесс глобального потепления и минимизировать вызванный им ущерб. Полное таяние ледникового щита Гренландии произведет колоссальный эффект, который почувствуют жители всех уголков планеты. Его наиболее очевидным следствием станет подъем уровня Мирового океана на 8 м. Под воду полностью уйдут многие островные государства и огромные мегаполисы, в том числе Лос-Анджелес, Амстердам, Санкт-Петербург, Шанхай, значительная часть Нью-Йорка, Лондона и Сан-Франциско. Если же растает антарктическая ледяная шапка, то это приведет к повышению уровня океана еще на 58 м, что повлечет поистине катастрофические последствия для земной цивилизации.

▼ Крупные города, которые будут затоплены при различных величинах подъема уровня Мирового океана. Справа показаны карты мира на разных стадиях затопления (без учета возможных проявлений тектонической активности, меняющей рельеф).

лет подъем



8000 80 м

## Подъем уровня моря

Сколько нам осталось?



1000 20 м

8 м

7 м

400 6 м

100 5 м

300 4 м

200 3 м

200 2 м

100 1 м

Венеция

Лос-Анджелес,  
Амстердам

Гамбург, Санкт-Петербург

Голливуд

Сан-Франциско

Нижний Манхэттен

Южный Лондон

Шанхай

Новый Орлеан

Нью-Йорк  
Лондон  
Тайбэй





# ВЕЖЛИВЫЙ



◀ Так могли выглядеть рангеоморфы — папоротникоподобные организмы, распространенные на мелководье земных океанов в эдиакарии.

Charlotte Kenchington



# РУБЕЖ

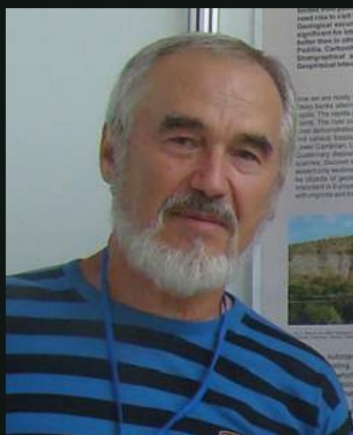
## Страницы каменной летописи

### Владимир Гриценко

Заведующий Геологическим отделом Национального научно-природоведческого музея Национальной академии наук Украины (Киев), старший научный сотрудник, доцент

### Юрий Шевела

Хранитель фондов Геологического отдела Национального научно-природоведческого музея Национальной академии наук Украины



#### Владимир Гриценко

Родился в 1947 г. в Уссурийске (Приморский край, РСФСР). Окончил 171-ю киевскую школу, с 1965 по 1970 г. учился в Киевском государственном университете им. Шевченко, после получения диплома 10 лет работал в Проблемной лаборатории геологического факультета КГУ. В 1980 г. защитил диссертацию о силурийских кораллах Подолья и был приглашен в Геологический музей, где работает по сей день. В настоящее время руководит Геологическим отделом Национального научно-природоведческого музея НАН Украины. Председатель Киевского отделения Палеонтологического общества при НАН Украины. Представитель Украины в Европейской ассоциации по охране геологического наследия (ПроГЕО). Автор нескольких научных отчетов, более 160 статей и монографий.



#### Юрий Шевела

Родился в 1966 г. в Киеве. В 1983 г. окончил киевскую школу №8. Учился в Херсонском университете бизнеса и права, Киевском университете рыночных отношений. Коллекционер, палеонтолог, библиограф украинской научной фантастики, историк космонавтики, популяризатор науки. Хранитель фондов геологического отдела ННПМ НАН Украины, занимается краеведением и детским внешкольным образованием. Организатор персональных выставок, посвященных истории космонавтики, астрономии, палеонтологии, литературы. Автор ряда научных и научно-популярных статей.



**И**стория Земли содержит множество событий и эпизодов, кардинально изменивших ход геологического развития планеты и эволюции возникшей на ней жизни. Многие из них стали следствием процессов, происходящих в Солнечной системе, в то время как другие были связаны с особенностями формирования самой планеты и ее биосферы. Сейчас мы почти ничего не можем сказать о так называемом догеологическом этапе эволюции, фактически протекавшем в недрах протопланетной газовой-пылевой туманности: нам неизвестна его продолжительность и последовательность происшедших тогда событий. О геологическом этапе, начавшемся после образования земной коры и атмосферы, мы знаем значительно больше.

В развитии жизни на Земле выделяются два этапа первого порядка — криптозой и фанерозой (соответственно время скрытой и явной жизни), которые фиксируются в породах земной коры. Криптозой делят на зоны — архей (археозой) и протерозой. Их, в свою очередь, делят на эры. Заметим, что геологи используют две шкалы: геохронологическую, отображающую периодизацию геологического времени, и стратиграфическую, основанную на последовательности отложений пород, образовавшихся за это время. Прошло немало лет, прежде чем ученые научились читать эту «каменную летопись», но и сейчас многие из ее страниц остаются малоизученными и загадочными.

Начало фанерозоя связывают с возникновением отчетливых проявлений (следов) жизнедеятельности организмов, в том числе крупных, отпечатки которых находят в древних горных породах. Он объединяет три эры: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую. Кембрийский период в геохронологической шкале знаменует начало палеозойской эры. Ранее кембрийские отложения считались самыми древними образованиями фанерозоя, поскольку они залегают на так называемых первичных образованиях — гранитах и гнейсах. Однако впоследствии в процессе более детальных исследований на всех



▲ Владимир Гриценко рассматривает плитку алевро-аргиллита в поисках отпечатков вендобонтов

Фото авторов

▼ Юрий Шевела расслаивает плиты песчаника с отпечатками *Nemiana simplex Palij*

Фото авторов



континентах были обнаружены осадочные породы древнее кембрийских, связанные с одним из самых интересных и загадочных этапов развития жизни, имевшим место в конце протерозойской эры. В связи с находками следов «явной» жизни в протерозое закономерно возникла проблема: где проводить границу криптозой и фанерозоя — до или после заключительного периода протерозойской эры?

Наиболее древние следы жизни обнаружены в метаморфизованных (измененных) образованиях архей и протерозоя. После сложных для интерпретации находок в Южной Африке считалось, что самые ранние ее проявления имеют возраст 3,7-3,8 млрд лет. Однако недавно в Канаде были найдены следы микробов, которые свидетельствуют о том, что жизнь на Земле существовала уже 4,28 млрд лет назад. Многие древние породы имеют органическое происхождение — к примеру, протерозойские онколиты и катаграфии, строматолиты. Некоторые метаморфические породы

протерозоя (графитовые гнейсы, доломиты, джеспелиты и шунгиты), скорее всего, также имеют первично органическую природу. В железистых кварцитах Кривого Рога обнаружены микроскопические шарики — предположительно «остатки» железобактерий. В раннем криптозое, насколько уже известно, жизнь существовала в примитивных формах безъядерных организмов-прокариотов (микробов, бактерий и, вероятно, вирусов).

## До «кембрийского взрыва»

Ученых всегда интересовал финальный период криптозой, после которого начался бурный расцвет самых разнообразных живых существ с одновременным их усложнением. В то время уже существовали многоклеточные организмы, однако они были достаточно простыми, не имели твердых покровов и скелетов, среди них не имелось хищников и жертв... Почему



# Геохронологическая шкала

Эон	Эра	Период	млн лет назад	Важнейшие события	Основные процессы	Господствующие организмы			
Фанерозой	Кайнозой	Четвертичный	0	Появление человека	Эра "новой жизни"	Млекопитающие, покрытосеменные			
		Неоген	2,58	Четвертичное оледенение, вымирание динозавров и головоногих					
		Палеоген	23						
	Мезозой	Мел	66	Начало эры динозавров					
		Юра	145						
		Триас	201						
		Пермь	252						
		Карбон	299						
	Палеозой	Девон	359	Пермское оледенение и вымирание					
		Силур	419						
		Ордовик	444						
		Кембрий	485						
		Протерозой	Неопротерозой		Эдиакарий	541	Кембрийский взрыв (возникновение скелетной фауны) "Взрыв" многоклеточных организмов	Освоение суши	Морские скелетные многоклеточные Морские бесскелетные многоклеточные
					Криогений	635			
Тоний	720								
Мезопротерозой	Стений		1000	Протерозойское оледенение					
	Эктазий		1200						
	Калимий		1400						
	Статерий		1600						
Палеопротерозой	Орозирий		1800	Гуронское оледенение					
	Рясий		2050						
	Сидерий		2300						
Архей	Неоархей	2500	"Кислородная катастрофа"	Развитие многоклеточной жизни	Бактерии и цианобионты (сине-зеленые "водоросли")				
	Мезоархей	2800							
	Палеоархей	3200							
	Эоархей	3600							
	Катархей	4000							
			4600	Зарождение жизни					

же столь «мирная» экосистема вдруг начала быстро эволюционировать в сторону весьма сложных организмов (вплоть до разумных существ)? Сейчас считается, что причиной этого стало быстрое по геологическим меркам потепление, в результате которого Земля, длительное время практически полностью покрытая льдом, превратилась в планету-океан с небольшими участками суши. Это, в

свою очередь, повлекло за собой настоящий бум фотосинтетических организмов, начавших обогащать атмосферу кислородом.

Название «венд» присвоил последнему периоду протерозойской эры в 1952 г. академик Борис Соколов, изучавший геологические разрезы северо-запада Восточноевропейской платформы (Валдайской возвышенности и Прибалтики). Это название он применил к отложениям, залега-

ющим между кембрием и рифеем (последний был выделен Николаем Шатским в докембрие на Урале еще в 1945 г.). Впоследствии протерозойский эон был разделен на три эры, наиболее поздняя из которых сейчас подразделяется на три периода: тоний, криогений и эдиакарий или венд.

Независимо в середине прошлого века в Австралии в поверхностных напластованиях очень древних осадочных пород были обнаруже-



ны «медузы» и другие проблематические отпечатки, по многим признакам относящиеся к живым существам. Авторы находок поначалу считали эти отложения кембрийскими. Появление более совершенных методов датировки позволило отнести эти организмы к предшествующей эпохе.

В научном мире огромную роль играет приоритет. В связи с этим долгое время ученые спорили о названии последнего периода криптозооя. Термины «венд» и «эдиакарий» конкурировали на протяжении почти 50 лет. Только на геологическом конгрессе в Рио-де-Жанейро в 2002 г. стратотипом последнего периода позднего докембрия (неопротерозоя) был утвержден разрез на западе Австралии — Эдиакарий, как описанный несколько ранее, чем венд на территории Советского Союза. Таким образом, австралийское название победило в конкурентной борьбе. Термин «венд» в некоторых работах употребляется применительно к территории СССР.

Эдиакарий-венд характерен тем, что в то время «вышли на арену» многоклеточные организмы, точных аналогов которых в последующей геологической истории мы

не находим. Это циклические формы жизни, встречающиеся в виде отпечатков дисковидной формы с радиальной симметрией, и удлинённые (двусторонне симметричные — симметрия скольжения, со сдвигом, как листочки акации).

## Венд Украины

Отложения вендского периода достаточно широко представлены и на территории Украины. Одно из наиболее интересных открытий произошло в районе села Бернашевки Винницкой области. Гранитный выступ неглубокого залегания выявили при геологоразведочных работах в 60-х годах прошлого столетия в ходе подготовки к строительству

Днестровской ГЭС.

Согласно проекту, плотина гидроэлектростанции должна была стоять на гранитном основании. Строительство началось в 1983 г. Для экономии в ходе него использовали местный материал — песчаники и граниты. В слоистых породах в котловане, предназначенном для машинного зала, удалось обнаружить многочисленные загадочные отпечатки. Эти отпечатки собрал и изучил Михаил Федонкин, ученик академика Соколова. Коллекции были отправлены в Москву для исследований в лабораторию палеоэкологии Палеонтологического института РАН, где работали оба ученых. Результатом изучения разрезов и ископаемых остатков стала серия



► Отпечаток дикинсонии (*Dickinsonia costata*) — одного из наиболее распространенных ископаемых эдиакарского периода

Wikipedia Commons



Отпечатки эдиакарских ископаемых организмов на мысе Мистейкен (Ньюфаундленд, Канада)

Emily Mitchell



монографий и статей «Вендский период», «Венд Украины» (написанных с участием украинских геологов).

Через 20 лет строительные работы возобновились. Началось возведение Днестровской ГАЭС. Понадобилось большое количество камня для укрепления берегов против размыва при подъеме и сбросе воды. Для этого открыли новый карьер, который в проекте представлял собой технологическую выемку, препятствующую гидравлическому удару. Выемка разрабатывалась взрывами, в результате их воздействия слоистые породы легко раскалываются по плоскостям напластования — на них, собственно, и встречаются отпечатки и следы жизнедеятельности вендских организмов.

Авторы данной статьи провели несколько полевых экспедиций на пограничье Хмельницкой, Винницкой и Черновицкой областей, где велись работы, связанные со строительством ГАЭС. В описанной выемке-карьере открыто новое уникальное местонахождение вендских организмов. Карьер глубиной до 50 м и периметром более 2 км представляет собой прекрасный объект для исследований. На самом его дне разрабатываются граниты, на них последовательно залегают алевро-аргиллиты, песчаники и глины. В нижних слоях осадочных пород удалось собрать более двух тысяч образцов с отпечатками «вендобионтов» (под этим общим названием объединяются все организмы того времени без четкого указания их природы), среди которых есть и уникальные. Интерес для специалистов представляет смена состава отложений и наличие в этих слоях прослоек вулканического пепла. В нем, как правило, находят мелкие кристаллы циркона — минерала, используемого для радиоизотопного определения абсолютного возраста. Согласно выполненным анализам, абсолютный возраст обнаруженных цирконов равен  $545 \pm 5$  млн. лет. Эти цифры близки к принятой в международной геохронологической шкале границе кембрия и докембрия — 542 млн. лет.

## Первые эукариоты

В эдиакарии, наряду с простейшими безъядерными (прокариотами), появились также первые ядерные



◀ «Негативный» (вдавленный) отпечаток цикломедузы на верхней стороне плиты песчаника Ямпольских слоев могилевской свиты



▼ «Позитивный» отпечаток подоломируса (*Podolomirus mirus Fedonkin*) на нижней поверхности алевролита. Ломозовские слои могилевской свиты

многоклеточные организмы (эукариоты). Среди них были как предки плоских червей и трилобитов, так и, например, предтечи моллюсков. В соответствующих слоях находят и отпечатки возможных предков иглокожих (с характерной симметрией третьего порядка или трехлучевой). Их назвали трибрахидиумами — «трехрукими».

В напластованиях кварцитов Паунд обнаружены отпечатки нескольких видов цикломедуз. Еще в 50-х годах прошлого века эти отложения относили к раннему кембрию. Позже список находок был значительно расширен, а более точная датировка позволила отнести их к докембрийским. Одним из характерных признаков этой эпохи стало именно наличие отпечатков древних примитивных организмов с уникальным строением. Благодаря этому исследова-

тели впервые поставили вопрос о выделении нового эдиакарского геологического периода.

В кембрии, в связи с увеличением содержания кислорода в атмосфере и гидросфере, живые организмы были вынуждены формировать более плотные оболочки для защиты от разрушительного влияния морской воды, превратившейся в достаточно агрессивную среду. Согласно другой версии, их покровы возникли как механизм защиты от ультрафиолетового излучения на мелководье, куда они мигрировали



► Историческая находка первого в Украине представителя эдиакарской биоты (*Cyclomedusa plana*) в бернашевских песчаниках, описанная профессором Валерием Заика-Новацким в 60-х годах прошлого столетия



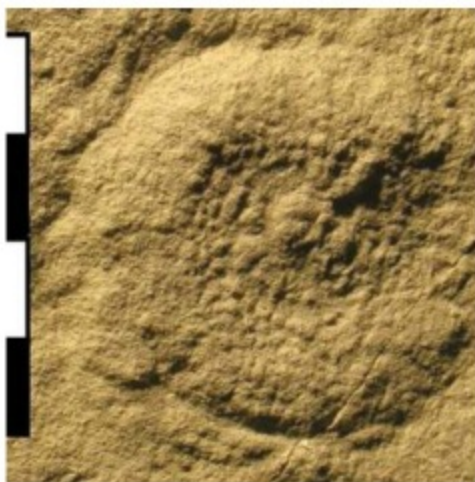
с больших глубин.

Кембрийские организмы кардинально отличаются от докембрийских по многим характеристикам. В первую очередь, как уже сказано, это наличие твердых покровов — скелетов, панцирей, раковин. Для их «строительства» используются как органические (хитин, спонгин), так и неорганические соединения (арагонит, кальцит, кремнезем, фосфаты). Во-вторых, в кембрии количество и разнообразие организмов резко увеличилось — это явление получило название «кембрийский взрыв». Изменилась структура сообществ, способы питания, условия сохранности остатков организмов. Естественно, обострилась и конкуренция между ними, борьба за место в своей экологической нише, появились «хищники» и «падальщики». Земная биосфера начала постепенно приобретать свой современный вид...

## Особенности украинских находок

Еще раз подчеркнем главную особенность вендских отпечатков — отсутствие плотных покровов и тканей: это были исключительно мягкотелые существа, отдаленно напоминающие медуз. Это обстоятельство, во-первых, маскирует внутреннее строение вендских (эдиакарских) организмов.

▶ Эта пока не классифицированная форма (получившая название *Ventogirus sp.*) найдена в ямпольских слоях в единственном экземпляре. Цена деления масштабной линейки — 1 см



▲ Уникальная (фактически единственная) находка цикломедузы с бугорчатой поверхностью «зонтика». Деление масштабной линейки соответствует 1 см



▲ Парванкорины (*Parvankorin*) были одними из самых распространенных животных, обитавших на Земле в эдиакарии (635-541 млн лет назад). Они могли плавать или, по крайней мере, ориентировать свое тело относительно потока воды. Эти выводы международная группа исследователей изложила в статье, опубликованной в журнале «Записки Королевского биологического общества».

Во-вторых, мы не можем точно определить их размеры (во всяком случае, толщину) из-за значительного уплотнения остатков. И наконец, плохая сохранность вызывает дискуссии о природе этих существ. Дисковидные отпечатки описывают как медузоиды, колонии бактерий, агрегаты нитчатых водорослей, отпечатки аспиделл (прикрепительных дисков петаллонам или «морских перьев»). Надеемся, современные методы исследований помогут разрешить эти проблемы. Вещества-биомаркеры позволяют отличать древние органические остатки растений, грибов, животных по

следам биоорганических соединений — аминокислот, сахаров и др.

Важно отметить, что в разрезах венда Украины зафиксирован постепенный переход к кембрию, в отличие от стратотипов российского венда и эдиакария Австралии, где кембрий от более ранней эпохи отделен перерывом.

Как выяснилось в результате тщательного исследования остатков вендобиионтов, украинские разрезы содержат много интересных находок: в 2016 г. авторами были описаны двенадцать их новых видов. Часть других неизвестных видов пока «ожидает своей очереди».



▼ Позитивный (выпуклый) гипорельеф существа, получившего название *Hiemalora stellaris Fedonkin*. Вид встречается преимущественно в ломозовских слоях могилевской свиты. От «зонтика» отходят два яруса щупальцев.



◀ Еще один уникальный негативный эпирельеф (впадина на верхней поверхности слоя) эдиакарского организма. В центральной части «зонтика» нового вида цикломедузы расположена структура с тремя лучами.



Многие из них вообще уникальны и пока не найдены в других местонахождениях. Например, недавно удалось выявить отпечаток «медузы» с трехлучевой структурой в центральной части диска (умбреллы). Особый интерес представляют обугленные остатки водорослей (вендотений), часто встречающиеся в отложениях каниловской серии венда Украины.

В то же время «беломорские» разрезы (места, где проводились археологические раскопки в окрестностях Белого моря) содержат формы, отсутствующие в украинских коллекциях. Это обстоятельство касается и разрезов эдиакария на юго-востоке Австралии. Особую «ветвь» представляют собой образцы из Намибии, среди которых найдены разнообразные отпечатки «ветвистых» животных, напоминающие современные «морские перья». Их собирательное название — «петаллонаммы». То есть в каждом изученном разрезе находят своеобразные формы, отличающиеся именно это местонахождение. С другой стороны, существуют и общие формы, позволяющие относить виды эдиакария и венда к одной геологической системе. Отличия же дают материал для палеогеографических построений.

Особенности осадочных пород, содержащих слепки живых существ, налагают отпечаток на характер сохранности. Можно утверждать, что отсутствие в «подольском» разрезе многих форм, характерных для «беломорского» венда, вызвано тем, что на севере Восточноевропейской платформы осадочные породы с отпечатками более мелкозернистые и сохраняют более тонкие структуры организмов. Показательный пример — находка следов питания «эргии», выедавшей насыщенный бактериями и водорослями поверхностный слой осадка. Этот слой при захоронении приобретает «морщинистый» вид, за которым у специалистов закрепился термин «слоновья кожа».

В отличие от разрезов севера Восточноевропейской платформы, эдиакария Австралии и их аналогов по всему миру, венд Украины легкодоступен для изучения. Соответствующие слои выходят на поверхность по берегам реки Днестр в среднем ее течении. Для геологов это однозначно положительная особенность. Вдобавок, как уже упоминалось, только

Около полумиллиарда лет назад в атмосфере Земли начало расти содержание кислорода, а в океанах появилось огромное множество самых разнообразных живых организмов, кардинально отличавшихся от тех, которые обитали там ранее. Этот необычный виток эволюции получил название «кембрийский взрыв». Многие из возникших в то время биологических видов не получили дальнейшего развития, но часть удачно приспособилась к изменяющимся условиям и фактически дала начало современной биосфере.



▶ Оленеллус (*Olenellus thompsoni*) — вымерший трилобит кембрийского периода, встречающийся в основном в Северной Америке.

Nobumichi Tamura/Stocktrek Image/Getty Images

▶ *Hallucigenia* — галлюцигения («следствие галлюцинации»). Компьютерная модель.

Dorling Kindersley/Getty Images

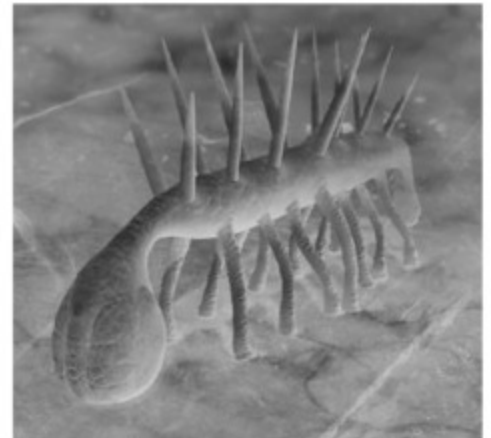
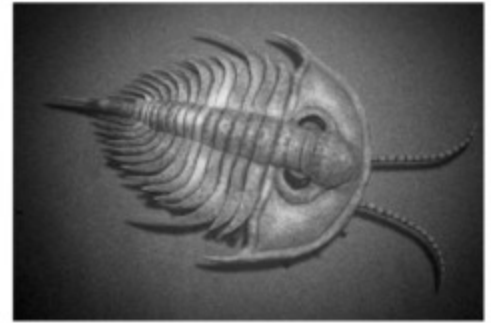


здесь наблюдается непрерывный переход от венда к кембрию. К сожалению, множество образцов попадает в руки неумелых любителей и недобросовестных сборщиков ископаемых (собиратели-коммерсанты, «черные палеонтологи»). Иногда эти сборщики понимают научное значение находок и передают их в музеи. Но часто образцы пропадают для отечественной науки...

В связи с фундаментальной научной ценностью разрезов украинского венда инициировано предложение для Департамента заповедного дела Министерства экологии Украины — расширить границы существующего геологического памятника «Бернашевские песчаники». Предлагается дополнить его за счет искусственного обнажения в

◀ Леанхойлия (*Leanchoilia*) — возможный предок нынешних членистоногих и один из первых организмов, у которых наблюдался половой диморфизм (деление на мужские и женские особи).

De Agostini/Getty Images



◀ Аномалокарис (*Anomalocaris Canadensis*), найденный в кембрийских отложениях на территории Канады, возможно, стал одним из первых хищников.

Nobumichi Tamura/Stocktrek Image/Getty

карьере, находящегося ниже плотины Днестровской ГЭС, и обнажения на берегу Днестра ниже устья реки Караец (у села Липчаны). Таким образом, под охрану законом попадет практически весь разрез могилевской и нагорянской свит.

Ознакомьтесь с уже найденными и классифицированными ископаемыми организмами можно, в частности, в экспозициях и фондах геологического отдела Национального научно-природоведческого музея НАН Украины. В геологическом музее Киевского национального университета находятся оригинальные трубчатые вендские структуры, недавно описанные по находкам авторов статьи. Там же хранятся первые образцы отпечатков из венда Украины. ■



# ГАЛАКТИКА, «ПОЖИРАЮЩАЯ» ТРЕХ СОСЕДЕЙ

Группа сотрудников Лаборатории реактивного движения (JPL NASA) опубликовала в недавнем выпуске журнала Science статью, посвященную исследованиям галактики W2246-0526 (WISE J224607.55-052634.9), которая была обнаружена инфракрасным телескопом WISE в 2015 г. Эта звездная система не относится к числу крупнейших или наиболее массивных, однако на данный момент именно она является самой яркой известной нам галактикой: W2246-0526 светит в 350 трлн раз мощнее Солнца.

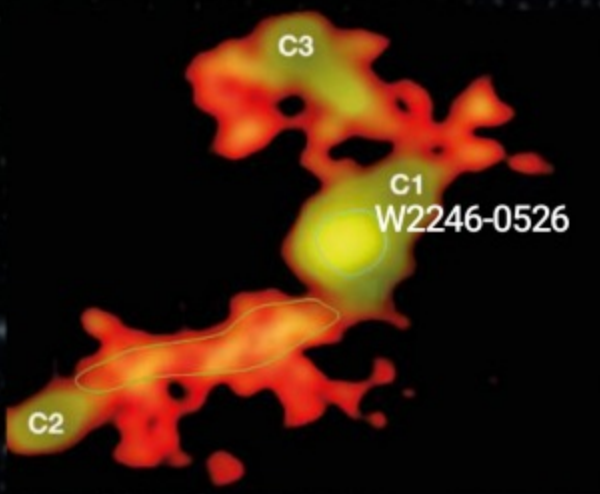
Необычная система находится практически на границе наблюдаемой Вселенной — испущенному ею свету потребовалось 12,4 млрд лет, чтобы добраться до Земли. Своей рекордной яркости она обязана не звездам, а окутывающим ее центр облакам горячего газа и пыли, активно излучающим в инфракрасном диапазоне. Астрономы дали таким объектам обозначение «горячие запыленные галактики» (Hot Dust-Obscured Galaxies — Hot DOG).

Чтобы определить источник поступления вещества в центр W2246-0526, являющийся причиной столь интенсивного излучения, астрономы выполнили ряд наблюдений с использованием комплексов радиотелескопов ALMA (Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array) и VLA (Very Large Array), а также орбитальной обсерватории Hubble. Исследования позволили выявить по соседству с ней три небольших звездных системы, получивших обозначения C1, C2 и C3. Они соединены

с W2246-0526 «мостами», состоящими из пыли и газа. По ним «основная» галактика постепенно выкачивает материю из своих соседей.

Подобный «галактический каннибализм» не является редкостью и давно знаком астрономам. Однако это первый известный случай, когда одна галактика одновременно «поедает» сразу три других. В результате благодаря «разгону» в гравитационном поле расположенной в центре W2246-0526 сверхмассивной черной дыры их вещество разогревается до температур в миллионы градусов и начинает интенсивно излучать в различных волновых диапазонах. Окружающий «основную» галактику пылевой кокон поглощает это излучение и переизлучает его в виде инфракрасных волн, что и обуславливает невероятную яркость этой звездной системы.

Астрономы также сумели «взвесить» черную дыру в центре W2246-0526. Измерения скоростей окружающих ее звезд по доплеровскому сдвигу линий в их спектрах показали, что масса этого «галактического монстра» составляет около 4 млрд солнечных, то есть он примерно в тысячу раз тяжелее, чем аналогичная сверхмассивная черная дыра в центре нашего Млечного Пути.



▲ Увеличенное изображение галактики W2246-0526, ее спутников (C1, C2 и C3) и соединяющих их газопылевых «мостов» в микроволновом диапазоне. Галактика C2 находится дальше всего от наиболее массивного компонента системы — возможно, поэтому в перетягиваемом из нее веществе содержится в основном газ и совсем немного пыли.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); S. Dagnello (NRAO/AUI/NSF); T. Diaz-Santos et al.; N. Lira



▲ Самый яркий объект в центре этого изображения, построенного по данным массива радиотелескопов ALMA — галактика W2246-0526. Более слабый выступ выше и правее нее — один из ее спутников, материю которых она активно поглощает. Еще два спутника видны на большем удалении (один — левее и выше, второй — левее и ниже). Хорошо заметны газопылевые «мосты», соединяющие их с центральной галактикой. По ним происходит «перетекание» вещества.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); S. Dagnello (NRAO/AUI/NSF)





▲ Самая яркая галактика наблюдаемой Вселенной WISE J224607.55-052634.9 и три ее спутника в представлении художника. Согласно последним данным, полученным с помощью комплекса радиотелескопов миллиметрового и субмиллиметрового диапазона ALMA в чилийской пустыне Атакама, наиболее массивный компонент системы активно перетягивает вещество своих соседей в виде межзвездной пыли и газа.

(NRAO/AUI/NSF) S. Dagnello



# У звезды Барнарда НАЙДЕНА ПЛАНЕТА

Исторически первым способом, который астрономы пытались использовать для поисков планет иных звезд, был астрометрический. Гравитационное влияние массивного спутника должно вызывать периодические отклонения звезды от ее пути по небесной сфере, «выдавая» его присутствие. Таким способом были обнаружены белые карлики на орбитах вокруг Сириуса и Прокциона ( $\alpha$  Большого Пса и  $\alpha$  Малого Пса) еще до того, как их удалось непосредственно рассмотреть в телескоп.

Однако найти белые карлики, обращающиеся вокруг более ярких звезд, по смещениям последних сравнительно несложно, поскольку их массы не сильно отличаются от звездных, и их гравитационное влияние, как правило, весьма значительно. Тем не менее, даже в таком случае этот метод работает только для объектов, находящихся на расстоянии не более полутора световых лет (с вводом в строй космической обсерватории Gaia оно выросло примерно на порядок). Астрономы понимали, что значительно более легкие планеты могут вызвать заметные сдвиги лишь самых близких светил, поэтому в их поле зрения закономерно оказалась звезда Барнарда — красный карлик в созвездии Змееносца, расположенный, согласно последним данным, в 5,96 световых годах от Солнца. Ближе к нам находятся только компоненты системы  $\alpha$  Центавра (и ее предполагаемый спутник Проксима Центавра).

Звезду Барнарда часто называют «летающей» из-за необычно большой угловой скорости ее движения по небесной сфере: менее чем за 180 лет она смещается на фоне более далеких светил на расстояние, соответствующее диаметру диска полной Луны.<sup>1</sup> Ее возраст оценивается примерно в 10 млрд лет, масса составляет 14% от массы Солнца, радиус — 15-20% солнечного. Видимый блеск этой звезды невелик — всего 9,5<sup>m</sup>, то есть ее нельзя увидеть невооруженным глазом и даже в небольшой бинокль. В 60-х и 70-х годах прошлого века голландский астроном Петер ван де Камп (Peter van de Kamp) посвятил немало наблюдательных

ночей поискам у нее планет. В 1969 г. он сообщил об открытии на орбите вокруг звезды Барнарда тела, приблизительно в полтора раза более тяжелого, чем Юпитер. Позже речь шла уже о двух планетах с массами, примерно равными юпитерианской. Тем не менее, впоследствии все эти открытия были признаны ошибочными.

Писатели-фантасты во многих своих произведениях «размещали» планетоподобные спутники в окрестностях звезды Барнарда. Но и ученые не сидели сложа руки. Астрономические инструменты и методики поисков экзопланет постепенно совершенствовались, и вот недавно сотрудники проектов Red Dots и CARMENES объявили о том, что им удалось зарегистрировать признаки наличия на орбите вокруг звезды объекта с массой не менее 3,2 земных (такие тела принято классифицировать как «супер-Земли»).

Прорыва удалось добиться благодаря использованию спектрографов HARPS и UVES, установленных на телескопах Европейской Южной обсерватории. Объединив собранные ими данные с результатами архивных наблюдений, ученые обнаружили небольшие периодические отклонения лучевой скорости звезды Барнарда (порядка 4,5 км/ч), вызванные притяжением невидимого спутника. Его орбита проходит на расстоянии 0,4 а.е. от центрального тела, что сопоставимо со средним радиусом орбиты Меркурия. Но дело в том, что его материнская звезда, как уже было сказано, очень тусклая: ее светимость в 2500 раз меньше солнечной, а значит, новооткрытый объект получает от нее лишь 2% энергии, поступающей на Землю от Солнца. Как показывают расчеты, средняя температура поверхности планеты в таких условиях должна составлять около -170°C, что заметно ниже точки замерзания не только воды, но и, например, аммиака или углекислого газа. Таким образом, там не способны существовать формы жизни, аналогичные земным. Впрочем, это не исключает возможности наличия подповерхностного океана, подобного океанам Энцелада и Европы, где условия для возникновения и развития живых организмов могут быть более благоприятными.

Сейчас астрономы продолжают активные наблюдения звезды Барнарда с помощью чувствительных инструментов на других обсерваториях, чтобы подтвердить открытие новой экзопланеты. Однако уже сейчас мы можем сделать вывод, что планетные системы красных карликов — достаточно распространенное явление во Вселенной, а это, безусловно, увеличивает наши шансы однажды найти внеземную жизнь в том или ином виде.

<sup>1</sup> Рекордную видимую скорость (собственное движение) этой звезды впервые заметил в 1916 г. американский астроном Эдвард Барнард (Edward Emerson Barnard), в честь которого она получила свое неофициальное название.

Поверхность экзопланеты звезды Барнарда в представлении художника.

ESO/M. Kornmesser



# КОСМИЧЕСКИЕ ТЕНИ

## В созвездии Змеи

Космос полон света и теней. Их игра во вселенских масштабах создает фантастические картины, которыми любуются восторженные представители человеческой цивилизации, вооруженные мощнейшими наземными и космическими астрономическими инструментами.

Обычно тени возникают, когда на пути лучей, испускаемых ярким светилом, оказываются облака межзвездной пыли и газа различной степени прозрачности. Однако на новом снимке участка отражательной туманности в созвездии Змеи, сделанном телескопом Hubble и опубликованном на сайте космического телескопа в канун Хэллоуина, ученые разглядели нечто иное.

Туманность Змеи расположена на расстоянии около 1300 световых лет от Солнца. Она представляет собой газопопылевое облако, подсвечиваемое находящимися внутри него горячими молодыми звездами. Одной из них является HBC 672, которую можно увидеть в верхней правой части изображения. Ее возраст составляет всего несколько миллионов лет, что совсем немного по меркам Вселенной. В противоположные стороны от звезды расходятся две темные конусообразные полосы, чем-то напоминающие силуэт летучей мыши. Это и есть тень, отбрасываемая околозвездным протопланетным диском, почти непрозрачным для излучения видимого диапазона.

Сам этот диск настолько мал

и далек от нас, что его очертания не в состоянии рассмотреть даже Hubble. Но благодаря удачному расположению по отношению к наземным наблюдателям (он повернут к нам практически ребром) мы можем увидеть отбрасываемую им весьма внушительную тень. Ее размер примерно в 200 раз превосходит диаметр Солнечной системы.

Впрочем, даже не видя самого диска, астрономы имеют возможность получить информацию о нем, детально исследовав его тень. По ее размеру можно определить примерную форму и диаметр структуры, а по очертаниям, цвету и степени светопропускания — оценить размер и состав формирующих ее пылевых зерен.

По мнению астрономов, в этом уголке Млечного Пути должно возникать множество аналогичных эффектов. Туманность Змеи представляет собой «звездные ясли», где прямо сейчас формируются сотни новых светил. Однако столь удачная ориентация диска, окружающего сравнительно яркую звезду, по отношению к земным наблюдателям — большая редкость, и поэтому мы видим лишь единичные случаи возникновения таких «космических теней».

Помимо HBC 672, похожая тень заметна в окрестностях яркой молодой звезды, запечатленной в левом верхнем углу снимка Hubble.

Изучая молодые протопланетные диски и новорожденные



▲ Самый яркий объект на этом изображении участка неба, расположенного в  $10^\circ$  восточнее звезды  $\gamma$  Змееносца и в  $4^\circ$  к северо-востоку от  $\eta$  Змеи — звезда 10-й величины HIP 90707 (она находится в центре снимка и окружена голубоватой отражательной туманностью). Справа от нее хорошо заметен продолговатый оранжевый сгусток — собственно туманность Змеи. Изображение построено по данным цифрового обзора Digitized Sky Survey 2

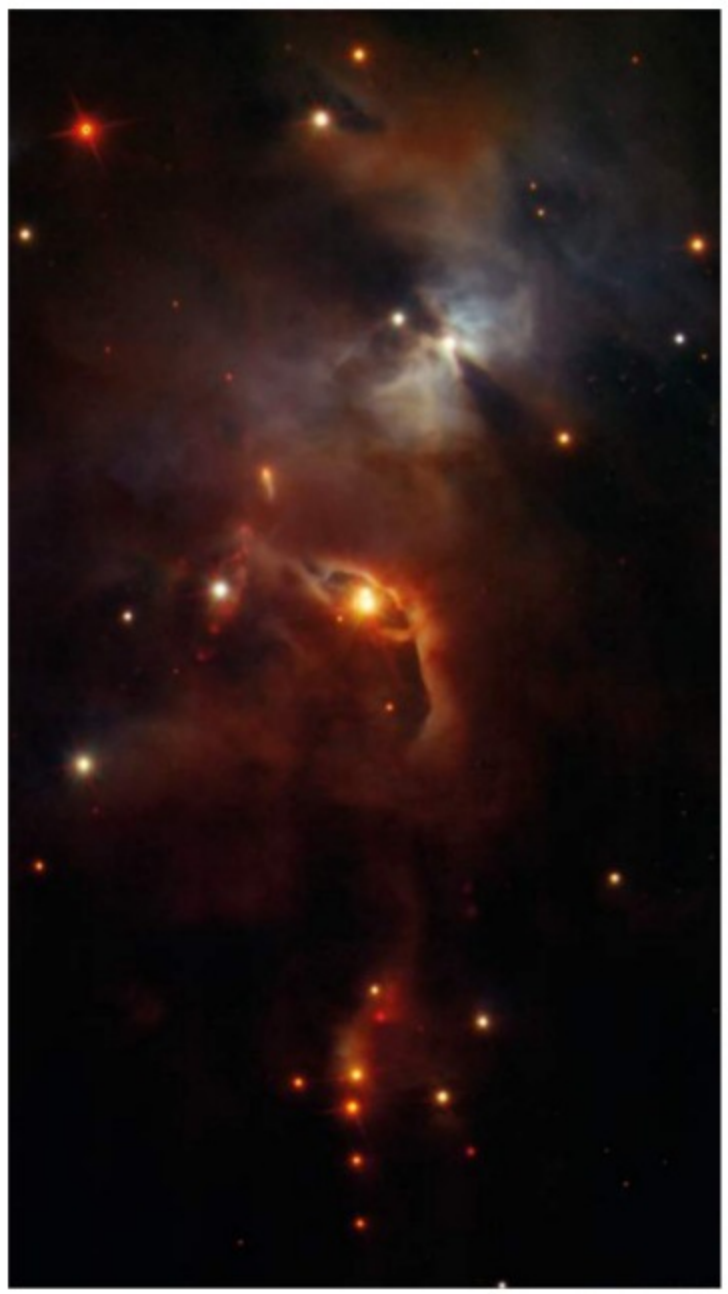
звезды, астрономы не просто хотят больше узнать о звездной эволюции, но и в буквальном смысле пытаются заглянуть в прошлое, чтобы раскрыть тайны возникновения нашей родной планетной системы. 4,6 млрд лет назад Солнце формировалось



в таких же «звездных яслях», и почти наверняка окружавший его в то время газово-пылевой диск также отбрасывал на окружающую материнскую туманность подобную тень, которой мог любоваться гипотетический сторонний наблюдатель...

▼ Изображение туманности в созвездии Змеи, полученное Очень большим телескопом (VLT ESO)

ESA



► Изображение туманности в созвездии Змеи, полученное телескопом Hubble. Звезда HBC 672 с характерными расходящимися «крыльями» видна в правом верхнем квадранте снимка

NASA, ESA, and STScI, CC BY 4.0









# НЕБО в январе-феврале 2019 г.

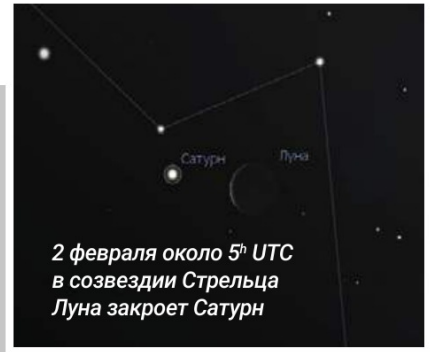
## Видимость планет



**Меркурий** будет появляться по вечерам во второй половине февраля над западной частью горизонта. В конце месяца продолжительность его видимости на 50° с.ш. достигнет 1 часа 10 минут и начнет сокращаться. **Венера** прекрасно видна по утрам, 6 января она пройдет максимальную западную элонгацию на расстоянии почти 47° от Солнца. **Марс** постепенно удаляется от Земли, поэтому его видимый блеск и

диаметр диска уменьшаются — с 0,4<sup>m</sup> в начале января до 1,2<sup>m</sup> в конце февраля и соответственно с 7,4 до 5,4 угловых секунд. Тем не менее, планета будет отчетливо выделяться на фоне слабых звезд Рыб и Овна. 13 февраля произойдет ее соединение с **Ураном**, имеющим блеск 5,8<sup>m</sup> и угловой диаметр 3,4".

**Юпитер** восходит под утро, условия его видимости постепенно улучшаются, яркость к концу зимы достигнет -2<sup>m</sup>. 22 января примерно в 2° севернее него



2 февраля около 5<sup>h</sup> UTC в созвездии Стрельца Луна закроет Сатурн

пройдет Венера. Хуже всего в описанный период будут видны **Сатурн** (который начнет восходить перед самым рассветом в конце января) и **Нептун** (в середине февраля скроется в вечерних сумерках).

## Явления в системе «Земля-Луна»



**Частное солнечное затмение** 6 января 2019 г. увидят жители Дальнего Востока, Японии, Кореи, Восточного Китая и восточной части Монголии, а также Алеутских островов и юго-западной оконечности Аляски. Максимальная фаза будет наблюдаться на северо-востоке Якутии в 1 час 41 минуту 22 секунды по всемирному времени (там Луна закроет 71,5% диаметра солнечного диска).

**Полное лунное затмение** 21 января видно на всей террито-

рии Украины, но в ее юго-восточной части Луна зайдет за горизонт еще до того, как покинет земную тень. Полутеневая фаза затмения начнется в 2:37 UTC, теневая — в 3:34 UTC, полностью наш спутник войдет в теневую конус в 4:41 UTC и начнет выходить из него в 5:43 UTC. Величина максимального погружения лунного диска в тень составит 1,31 его диаметра (она будет наблюдаться в 5:12 UTC).

На рассвете 2 февраля в западной части Украины можно будет наблюдать **оккультацию Сатурна** тонким серпом старой Луны.

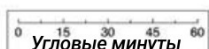
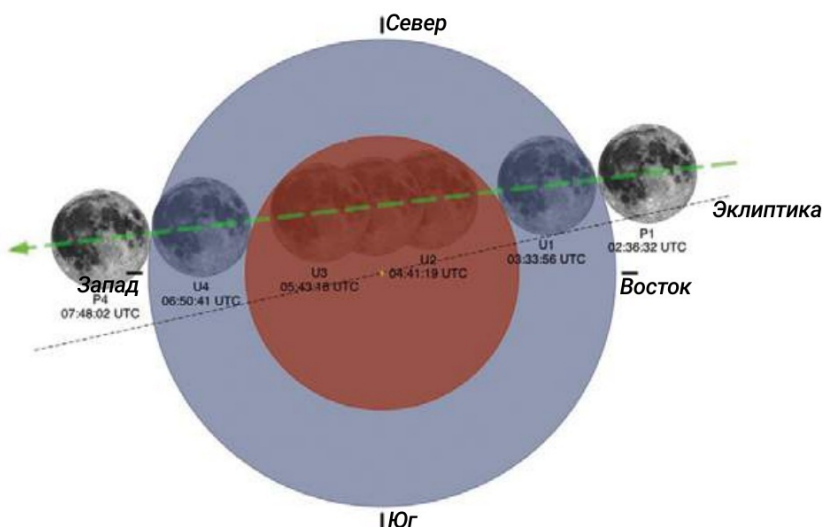
## Малые тела Солнечной системы



В начале года по-прежнему удачными будут условия видимости **кометы Виртанена** (46P/Wirtanen) для наблюдателей Северного полушария. В первые дни января ее, возможно, еще удастся увидеть невооруженным глазом, а в феврале ее блеск снизится примерно до

## Полное лунное затмение 21 января 2019 г.

Максимум затмения: 05:12:17,8 UT J.D.: 2458504,717675  
 Полутеневая фаза: 2,1684 Радиус полутени: 1,3052°  
 Теневая фаза: 1,1953 Радиус тени: 0,7634°



Lunar Eclipse Maestro - Xavier M. Jubier (<http://xjubier.free.fr/>)



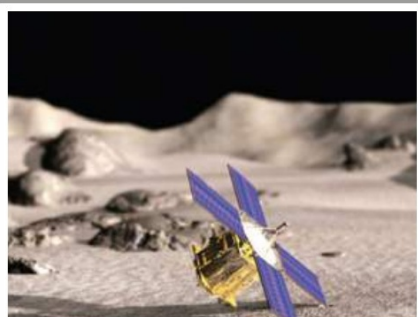
▲ Любительский снимок кометы Виртанена (46P/Wirtanen), сделанный 4 декабря 2018 г. в штате Флорида с помощью камеры Canon 6D и 190-миллиметрового астрографа.

Derek Demeter, Emil Buehler Planetarium





▲ В декабре 1998 г. к Эросу приблизился исследовательский аппарат NEAR Shoemaker и получил его первые изображения с близкого расстояния. Выйти на орбиту вокруг астероида зонду удалось больше чем через год.



▲ После года исследований астероида Эрос зонд NEAR Shoemaker 12 февраля 2001 г. совершил посадку на его поверхность (изначально эта операция не планировалась). Так он может выглядеть в наши дни в представлении художников NASA.

9-й звездной величины (но она по-прежнему останется доступной небольшим любительским инструментам). Также весь январь недалеко от Земли будет находиться 30-километровый астероид Эрос (433 Eros). Максимальное сближение с ним до расстояния 0,209 а.е. (31,2 млн км) состоится 15 января. В это время его яркость почти достигнет 9<sup>m</sup>. Он пройдет по созвездиям Персея, Возничего, Тельца и Ориона. Карту видимого пути этого объекта можно найти по адресу [https://in-the-sky.org/news.php?id=20181216\\_14\\_100](https://in-the-sky.org/news.php?id=20181216_14_100)

## Фазы Луны



- 6.01 1:28 Новолуние. Частное солнечное затмение (не видно в Украине)
- 9.01 4<sup>h</sup> Луна (Ф=0,09) в апогее (в 406115 км от центра Земли)
- 14.01 6:45 Луна в фазе первой четверти
- 21.01 5:15 Полнолуние. Полное лунное затмение (видно в Украине)
- 21.01 20<sup>h</sup> Луна (Ф=0,99) в перигее (в 357345 км от центра Земли)
- 27.01 21:10 Луна в фазе последней четверти
- 4.02 21:03 Новолуние
- 5.02 9<sup>h</sup> Луна (Ф=0,00) в апогее (в 406555 км от центра Земли)
- 12.02 22:25 Луна в фазе первой четверти
- 19.02 9<sup>h</sup> Луна (Ф=1,00) в перигее (в 356760 км от центра Земли)
- 19.02 15:53 Полнолуние
- 26.02 11:28 Луна в фазе последней четверти

## Конфигурации планет и малых тел Солнечной системы



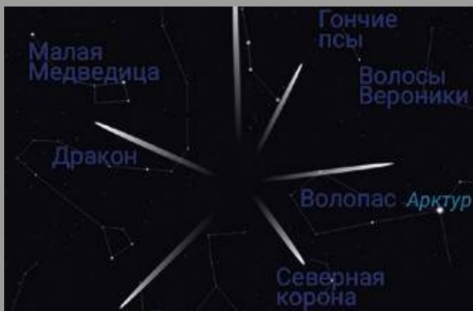
- 3.01 5<sup>h</sup> Земля в перигелии, в 0,9833 а.е. (147,1 млн км) от Солнца
- 6.01 5<sup>h</sup> Венера (-4,4<sup>m</sup>) в наибольшей западной элонгации (46°57')
- 15.01 Астероид Эрос (433 Eros, 9,1<sup>m</sup>) в 0,209 а.е. (31,2 млн км) от Земли
- 27.02 1<sup>h</sup> Меркурий (-0,4<sup>m</sup>) в наибольшей восточной элонгации (18°08')

## Соединения



- 1.01 21<sup>h</sup> Луна (Ф=0,16) в 1° севернее Венеры (-4,5<sup>m</sup>)
- 3.01 9<sup>h</sup> Луна (Ф=0,07) в 2° севернее Юпитера (-1,8<sup>m</sup>)
- 4.01 18<sup>h</sup> Луна (Ф=0,02) в 2° севернее Меркурия (-0,5<sup>m</sup>)
- 11.01 1<sup>h</sup> Луна (Ф=0,20) в 3° южнее Нептуна (7,9<sup>m</sup>)
- 13.01 0<sup>h</sup> Луна (Ф=0,37) в 5° южнее Марса (0,6<sup>m</sup>)
- 14.01 18<sup>h</sup> Луна (Ф=0,54) в 5° южнее Урана (5,8<sup>m</sup>)
- 17.01 18<sup>h</sup> Луна (Ф=0,84) в 1° севернее Альдебарана (α Тельца, 0,8<sup>m</sup>)
- 22.01 15<sup>h</sup> Венера (-4,3<sup>m</sup>) в 2° севернее Юпитера (-1,8<sup>m</sup>)
- 23.01 4<sup>h</sup> Луна (Ф=0,94) в 2° севернее Регула (α Льва, 1,3<sup>m</sup>)
- 26.01 19<sup>h</sup> Луна (Ф=0,61) в 7° севернее Спики (α Девы, 1,0<sup>m</sup>)
- 31.01 0<sup>h</sup> Луна (Ф=0,20) в 2° севернее Юпитера (-1,9<sup>m</sup>)
- 31.01 18<sup>h</sup> Луна (Ф=0,15) в 0,5° южнее Венеры (-4,3<sup>m</sup>)
- 7.02 8<sup>h</sup> Луна (Ф=0,06) в 4° южнее Нептуна (8,0<sup>m</sup>)
- 10.02 22<sup>h</sup> Луна (Ф=0,30) в 6° южнее Марса (1,0<sup>m</sup>)
- 11.02 1<sup>h</sup> Луна (Ф=0,31) в 5° южнее Урана (5,8<sup>m</sup>)
- 13.02 6<sup>h</sup> Марс (1,0<sup>m</sup>) в 1° севернее Урана (5,8<sup>m</sup>)
- 14.02 4<sup>h</sup> Луна (Ф=0,63) в 1° севернее Альдебарана
- 18.02 12<sup>h</sup> Венера (-4,1<sup>m</sup>) в 1° севернее Сатурна (0,6<sup>m</sup>)
- 19.02 13<sup>h</sup> Луна (Ф=1,00) в 2° севернее Регула
- 23.02 6<sup>h</sup> Луна (Ф=0,82) в 6° севернее Спики
- 27.02 15<sup>h</sup> Луна (Ф=0,39) в 2° севернее Юпитера (-2,0<sup>m</sup>)





▲ 3 января наблюдается максимум активности метеорного потока Квадрантиды (до 100 метеоров в час; радиант:  $\alpha=15^h24^m$ ,  $\delta=50^\circ$ ).

### Запуски и пролеты космических аппаратов



**1.01** Зонд New Horizons (NASA) сближается с объектом пояса Койпера 2014 MU69

**17.01** Экспериментальный полет нового корабля Crew Dragon (компания SpaceX) к Международной космической станции в беспилотном режиме.

**30.01** Запуск индийского орбитального лунного зонда «Чандраян-2» (ракета-носитель GSLV Mk II)

На январь также запланированы пуски израильского лунного посадочного аппарата Sparrow (с помощью ракеты-носителя Falcon 9) и нового носителя воздушного базирования LauncherOne с десятью спутниками (разработанного компанией Virgin Orbit).

### Объект месяца

В январе-феврале ближе к полудни в наших широтах поднимается к зениту **созвездие Персея**, в котором имеется немало ярких рассеянных звездных скоплений и даже галактик (хоть это созвездие и лежит вблизи Млечного Пути, направление на него противоположно направлению на галактический центр, и межзвездная пыль не мешает наблюдать далекие объекты). Здесь имеется также два объекта, вошедших в каталог Мессье: рассеянное

скопление M34 и планетарная туманность M76. Последняя считается самой слабой в знаменитом каталоге. Она имеет суммарный блеск 9,8<sup>m</sup> и видимые размеры 2,7×1,8 угловых минут. Тем не менее, на хорошем темном небе в отсутствие засветки и дымки ее можно рассмотреть даже в любительские телескопы с диаметром объектива 7-8 см. Расстояние до туманности оценивается в 2,5 тыс. световых лет, открыл ее в 1780 г. известный французский «охотник за кометами» Пьер Мешен (Pierre Méchain).

Отправной точкой для поис-

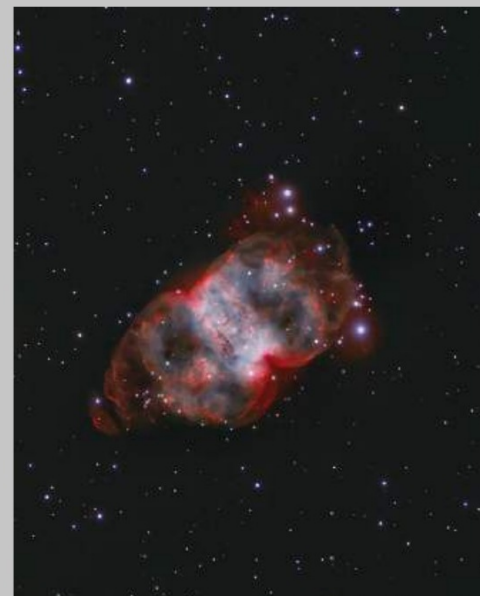
ков M76 послужит сравнительно яркая звезда  $\phi$  (фи) Персея — туманность лежит примерно в градусе севернее. Значительная часть ее излучения приходится на спектральную линию дважды ионизированного кислорода OIII (501 нм), поэтому специальный светофильтр, центрированный на данную линию, поможет выделить этот слабый объект на фоне неба. Для астрофотографов, «вооруженных» достаточно длиннофокусными инструментами, M76 чаще всего не представляет особых сложностей.



◀ Снимок M76, сделанный членом киевского клуба «Астрополис» Олегом Бигезой в октябре 2018 г. на любительском телескопе (диаметр главного зеркала 280 мм).

▼ M76, сфотографированная с помощью 2-метрового рефлектора обсерватории Ла Пальма астрономами Гераном Нильссоном и Вимом ван Берло (Göran Nilsson, Wim van Berlo).

Goran Nilsson, Wim van Berlo & The Liverpool Telescope







## ВСЕ НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ РАБОТЫ С ГЕОДААННЫМИ В ОДНОЙ ПЛАТФОРМЕ

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

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



EARTH  
OBSERVING  
SYSTEM

Listening To The Pulse Of The Planet

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

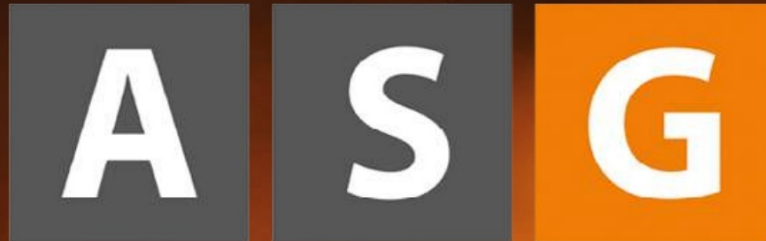


Генеральные спонсоры:



EARTH  
OBSERVING  
SYSTEM

Listening To The Pulse Of The Planet



AUTO  
Standard  
Group

Издается при поддержке:



Национальная  
академия  
наук Украины



Государственное  
космическое  
агентство Украины



Главная  
астрономическая  
обсерватория  
НАН Украины



Аэрокосмическое  
общество  
Украины



Информационно-  
аналитический  
центр  
«Спейс-Информ»



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



Украинская  
астрономическая  
ассоциация



Международное  
Евразийское  
астрономическое  
общество