

В.С. Сафронов – создатель современной теории образования планет

(К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

В 2017 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Виктора Сергеевича Сафронова (1917–1999) – одного из наиболее крупных и известных в мире специалистов XX в. по планетной космогонии – науке о происхождении планет. В.С. Сафронов – последователь академика АН СССР Отто Юльевича Шмидта –

основателя российской школы планетной космогонии, заложившего ее теоретические основы (Земля и Вселенная, 2002, № 2). Виктор Сергеевич развил идеи О.Ю. Шмидта и создал тематически разработанную, детальную и всеобъемлющую теорию образования планет, включая и нашу Землю.

В.С. Сафронов родился 11 октября 1917 г. в г. Великие Луки Псковской области, где в то время проходил воинскую службу его отец. Позже семья получила небольшой надел земли в Каширском районе Московской области – на родине отца Виктора, работавшего счетоводом в сельскохозяйственной артели, и позднее – в колхозе. В пять лет Виктор умел читать, и еще в начальной школе сумел собрать простейший радиоприемник. После окончания средней школы в г. Кашире, он успешно выдержал вступительные экзамены на механико-математический факультет МГУ (при конкурсе: 3 человека на место). Окончив МГУ с отличием в июне 1941 г. по специальности астрономия, молодой человек, получив рекомендацию профессора П.П. Паренаго (Земля и Вселенная, 1976, № 5), готовился к поступлению в аспирантуру по звездной астрономии.

Начавшаяся Великая Отечественная война изменила эти планы: Виктор Сергеевич пошел добровольцем на фронт – по военной специальности, полученной во время обучения в МГУ.



В.С. Сафронов. 1987 г.

С начала лета 1942 г., после подготовки в тылу, он служил штурманом разведывательного морского самолета МБР-2 (морской ближний разведчик) в Беломорской военной флотилии, сопровождая корабли арктических конвоев, пришедших в Мурманск и Архангельск. Этим конвоям серьезно угрожали немецкие подводные лодки: их выслеживали и бомбили; кроме этого, самолеты должны были следить за ледовой обстановкой в Баренцевом море. Место штурмана располагалось в передней открытой кабине «летающей лодки», в которой и находился В.С. Сафронов во время боевых вылетов.

Прослужив в условиях Севера с начала лета 1942 г. до конца лета 1944 г., он был демобилизован по инвалидности. Дело в том, что еще весной 1942 г. вся летная часть, в которой он служил, находилась в тылу, на озере Аджикабул, в Азербайджане, где отработывались посадки гидросамолета на воду. В то время в долине реки Куры свирепствовала малярия, и у многих из сослуживцев его части она проявилась позже, уже в условиях Севера. В результате профилактики с помощью препаратов хинина и акрихина В.С. Сафронову удалось «продержаться» на службе более двух лет, но затем заболевание все же прогрессировало, пришлось долго лечиться. День Победы Виктор Сергеевич встретил в московской больнице – здесь им стал заниматься один из виднейших терапевтов страны – профессор Е.М. Тареев (его имя сейчас носит клиника нефрологии, внутренних и профессиональных болезней в Москве). К концу 1945 г. болезнь отступила: Виктор Сергеевич смог поступить в аспирантуру Астрономического совета АН СССР по специальности «Звездная астрономия».

В 1948 г. В.С. успешно защитил кандидатскую диссертацию по кинематике долгопериодических переменных звезд (руководители – академик В.А. Амбарцумян и профессор Б.В. Кукаркин; Земля и Вселенная, 2009, № 6), а с февраля 1949 г. по приглашению академи-



В.С. Сафронов – штурман самолета 20-й отдельной авиаэскадрильи Беломорской военной флотилии Северного флота. 1943 г.



В.С. Сафронов. 1969 г.



Самолет морской авиации МБР-2, на котором В.С. Сафронов служил штурманом в 1942–1944 гг.

ка О.Ю.Шмидта он был зачислен в Отдел эволюции Земли Геофизического института АН СССР (после смерти О.Ю.Шмидта и реорганизации в 1956 г. он стал называться Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта). В отделе эволюции Земли разрабатывалась теория происхождения планет и ранней эволюции Земли, основы которой заложил академик О.Ю. Шмидт. В этом небольшом подразделении (менее 10 человек) Виктор Сергеевич проработал 50 лет (до своей кончины в 1999 г.), являясь с 1973 г. его научным руководителем.

В 1967 г. В.С.Сафронов защитил докторскую диссертацию, на основе которой в 1969 г., в издательстве “Наука” вышла в свет его монография “Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет” (NASA опубликовало ее на английском языке в 1972 г.). По признанию многих зарубежных ученых, эта книга оказала глубокое влияние на исследователей в области планетной космогонии во всем мире. Она и сегодня продолжает вызывать интерес у исследователей и студентов, о чем, в частности, сви-

детельствуют более 2300 просмотров за последние 7,5 лет только на одном сайте (https://archive.org/details/nasa_techdoc_19720019068), где книга находится в открытом доступе, начиная с июля 2010 года.

На этот труд В.С. Сафронова ссылаются авторы большинства статей, посвященных образованию планетезималей (малых допланетных тел) и планет и опубликованных в ведущих научных журналах мира (в том числе и в 2016–2017 гг.). Популярность монографии связана с тем, что представленная в ней теоретическая модель возникновения планет, начиная с 1970-х гг. стала основой для большого числа исследований в этой области. Она кардинально изменила науку о происхождении Солнечной системы: эта область перестала быть множеством несогласованных гипотез, каждую из которых поддерживало небольшое количество ученых. На новом этапе разные ученые, при рассмотрении различных проблем планетной космогонии, соотносят каждую из них с различными аспектами одной и той же базовой парадигмы, представленной в монографии.

В этом – заслуга Виктора Сергеевича; его вклад был отмечен, в частности, в мемориальной статье (J.A. Burns, J.J. Lissauer, A.B. Makalkin / In Memoriam. Victor Sergeevich Safronov), опубликованной в журнале "Icarus" в 2000 г.

В разделах книги В.С.Сафронова, как и во всей совокупности его работ, представлены все этапы образования планет и учтены многие физические и, прежде всего, динамические аспекты ряда связанных друг с другом последовательных процессов, ведущих к рождению планет. Основные звенья этой цепи:

- эволюция газопылевого протопланетного диска (допланетного облака) вокруг молодого Солнца;

- формирование в нем пылевого слоя в результате оседания пыли к экваториальной плоскости;

- образование в этом слое километровых и более крупных тел (планетезималей), удерживаемых от распада собственной гравитацией; дальнейший их рост (в результате объединения при взаимных столкновениях), ведущий к образованию планет земной группы и гигантов, и определяющий скорость вращения планет и наклоны осей вращения;

- выброс тел из Солнечной системы растущими планетами-гигантами;

- происхождение Главного пояса астероидов;

- нагрев растущей планеты (на примере Земли) в результате падения на нее крупных тел.

В последующих работах В.С.Сафронов и его коллеги по группе использовали теоретические разработки, отраженные в книге, при построении теории образования естественных спутников планет.

Важно, что все результаты, приведенные в монографии В.С. Сафронова, были получены до начала (или в самом начале) эры космических исследований, задолго до первых наблюдений газопылевых дисков вокруг молодых звезд солнечной массы. Такие диски были открыты к концу 1980-х гг. и, что важно отметить, они оказались сход-

V. S. Safronov

EVOLUTION OF THE PROTOPLANETARY CLOUD AND FORMATION OF THE EARTH AND THE PLANETS

TRANSLATED FROM RUSSIAN

Published for the National Aeronautics and Space Administration and the National Science Foundation, Washington, D.C. by the Israel Program for Scientific Translations

Монография В.С.Сафронова "Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет". Издание NASA, 1972 г.

ными по массам, размерам и температурам с допланетным диском вокруг Солнца, который изучал и описал в своей книге Виктор Сергеевич в монографии на основе данных лишь для одной известной тогда планетной системы – нашей, что было отмечено ведущими астрофизиками (например, Beckwith, S.-V.-W. and Sargent, A.I. // Nature, 1996). Кроме того, последующие исследования, с помощью изотопных данных, подтвердили полученную Виктором Сергеевичем оценку длительности процесса образования Земли – 100 млн лет. Его монография, как и вся модель образования планет Шмидта–Сафронова, до сих пор используется в качестве инструмента для интерпретации космических наблюдений. Ряд работ ученого, написанных после появления его монографии, так же вызвали значительный



Выступление В.С.Сафронова на заседании Ученого совета в ИФЗ АН СССР, посвященном 80-летию со дня рождения академика О.Ю. Шмидта. 1971 г.

интерес международного сообщества и получили высокую оценку.

Перечислим важнейшие достижения В.С. Сафронова, не утратившие своего значения:

- создание теории образования планетезималей, которая включает в себя оседание пыли к средней плоскости как в ламинарном и в турбулентном газе протопланетного диска; формирование пылевого слоя, его гравитационная неустойчивость и образование в нем удерживаемых от распада собственной гравитацией пылевых сгущений; их дальнейшее уплотнение и превращение в планетезимали. Альтернативный путь формирования планетезималей, также рассмотренный Виктором Сергеевичем, – объединение слипающихся при столкновениях мелких допланетных тел, каждое из них – агрегат (агломерат), состоящий из мелких частиц;

- построение теории образования планет, в которой учитывается динамика процесса аккумуляции планетезималей. Ученый выполнил анализ процессов, управляющих распределением скоростей планетезималей разной массы (с учетом распределения по массам). Безразмерный параметр θ , характеризующий хаотические скорости планетезималей по отношению к скорости убегания из сферы действия наибольшего тела, назван “параметром Сафронова”. Виктор Сергеевич первым понял, что на начальной стадии формирования планет некоторые тела растут быстрее других, образуя зародыши их планет; он ввел понятие опережающего (обгоняющего) роста, которое зарубежные ученые стали называть *runaway accretion* (ускоренная аккреция);

- оценка длительности процесса образования Земли (около 100 млн лет) получила подтверждение с помощью изотопных методов исследования вещества мантии Земли и лунных образцов (основным является гафний-вольфрамовый метод геохронологии);

- разработка методики расчета нагрева ранней (растущей) Земли в результате ударов крупных допланетных тел, падавших на нее; методика учитывает теплоперенос при перемешивании вещества в процессе образования кратеров.

Признавая заслуги В.С. Сафронова, в 1974 г. Академия наук СССР присудила ему премию им. О.Ю. Шмидта; в 1989 г. Международное метеоритное общество наградило его почетной медалью им. Леонарда Эйлера; в 1990 г. Американское астрономическое общество – премией им. Дж. Койпера. Именем В.С.Сафронова американский астроном Эдвард Боуэл назвал астероид № 3615 (1983 г.); его именем также назван кратер на Плутоне (2015 г.). В 1997 г. Виктору Сергеевичу было присвоено звание “Заслуженный деятель науки Российской Федерации”. В.С.Сафронову посвящен вышедший в 2000 г. сборник “Протозвезды и планеты IV”, который входит в серию научных

PROTOSTARS AND PLANETS IV

Vincent Mannings
Alan P. Boss
Sara S. Russell

Editors

With 167 collaborating authors

THE UNIVERSITY OF ARIZONA PRESS
Tucson

DEDICATION

We dedicate this volume to V. S. Safronov for his pioneering work on planet formation theory.

Обложка сборника "Protostars and Planets IV" с посвящением В.С. Сафронову. 2000 г.

сборников о планетах, издаваемую Аризонским университетом; на 1400 страницах сборника помещены обзоры 167-ми авторов и соавторов. В этом же году Виктору Сергеевичу была посвящена специальная сессия 25-й Генеральной ассамблеи Европейского геофизического союза в г. Ницце (Франция).

Информация

Экзопланеты: новые открытия

Две экзопланеты системы TRAPPIST-1, находящейся в созвездии Водолея в 39,5 св. лет от нас, были идентифицированы как обитаемые в результате исследования, проведенных Эми Барр (Планетологический институт США). Систе-

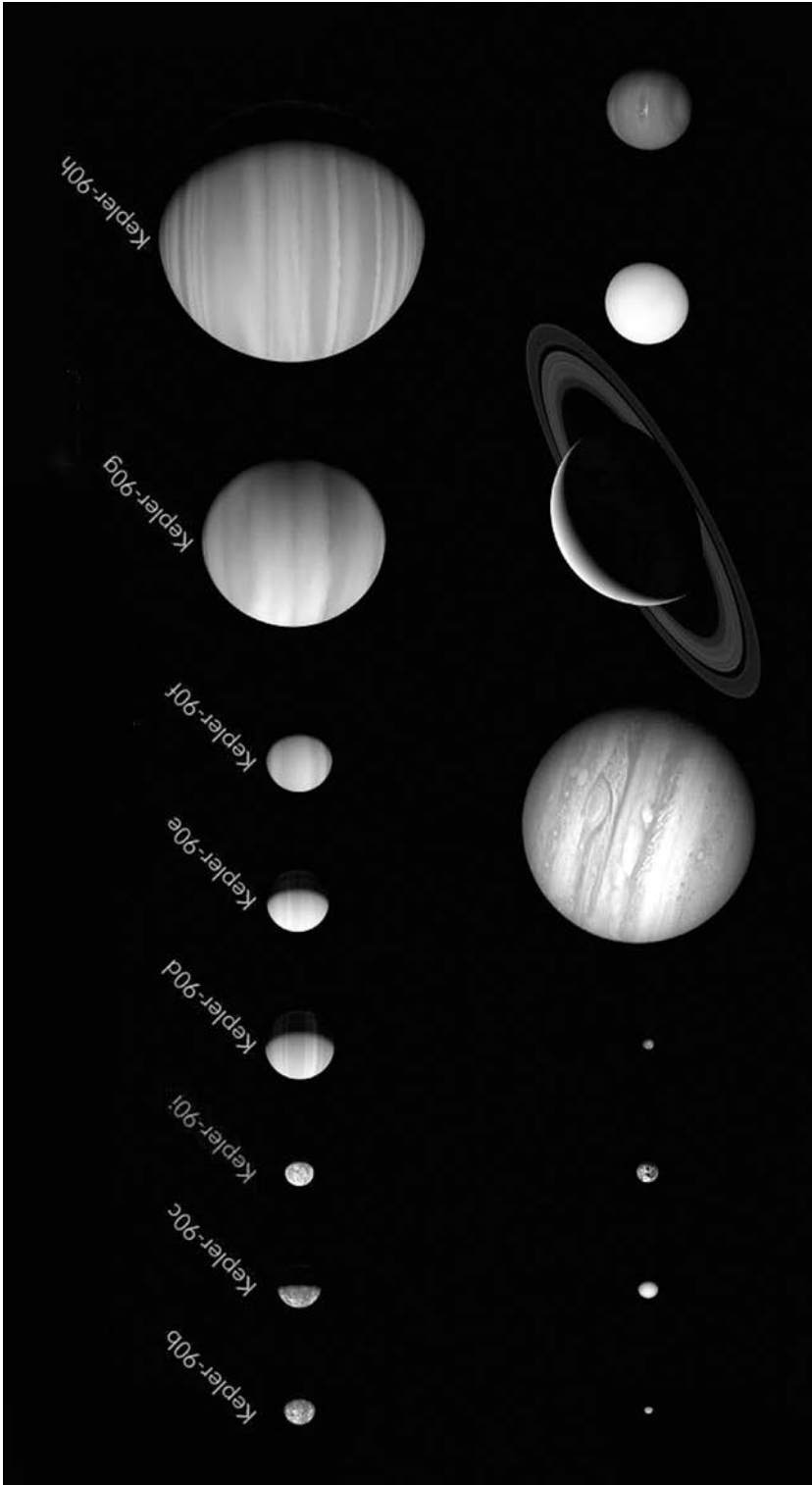
ма TRAPPIST-1, открытая в 2016 г., представляет большой интерес для планетологов, поскольку она содержит, согласно данным наблюдений, семь планет размером примерно с Землю. Они получили обозначения от *b* до *h*, в направлении от звезды к периферии (см. 2-ю стр. обложки, вверху). Поскольку звезда TRAPPIST-1 (красный карлик возрастом $7,6 \pm 2,2$ млрд лет, размером немного больше Юпитера и массой $0,08 \pm 0,007 M_{\odot}$) –

В документальном сериале ВВС "Планеты" (1999 г.) подробно обсуждается работа В.С. Сафронова, приводится записанное интервью с ним.

В течение многих лет Виктор Сергеевич был членом Редколлегий нескольких научных журналов по планетным исследованиям: отечественного журнала "Астрономический вестник" (англоязычная версия – "Solar System Research") и известных зарубежных журналов "Icarus" и "Planetary and Space Science". Он – автор и соавтор более 150 научных работ; двухтомник его избранных трудов опубликован в 2002 г. Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

*А.Б. МАКАЛКИН,
кандидат физико-математических наук
ведущий научный сотрудник
Института физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН*

очень старая и тусклая – поэтому поверхности планет ее системы имеют относительно низкие температуры, в диапазоне от 400 К (+127°С) и до 167 К (–106°С). Они обращаются очень близко к звезде по орбитам с периодами всего лишь в несколько суток и имеют заметный эксцентриситет (то есть их орбиты – эллиптические); поэтому планеты испытывают приливной нагрев, подобно спутникам Юпитера и Сатурна.



Сравнение размеров экзопланет системы Kepler-90 с планетами, входящими в Солнечную систему. Расстояния до центральной звезды указаны не в масштабе; радиус орбиты самой удаленной экзопланеты, Kepler-90h, примерно равен радиусу орбиты Земли. Рисунок NASA.

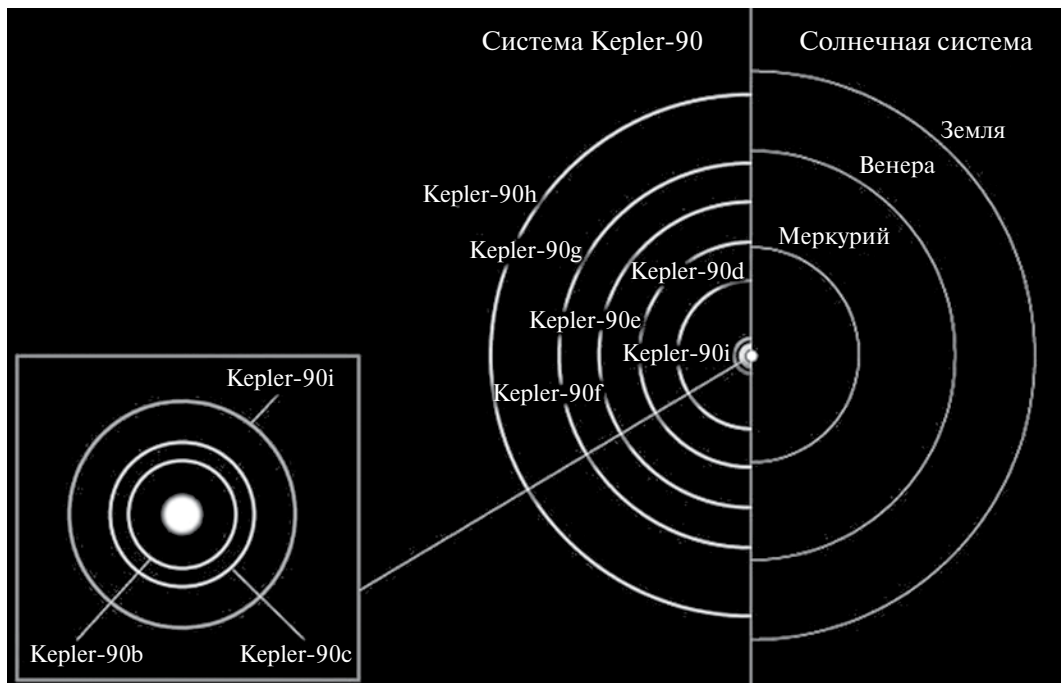


Схема расположения орбит планетной системы *Kepler-90* и планет земной группы в Солнечной системе. Рисунок NASA.

Ученые использовали метод компьютерного моделирования структуры планет – принимая, что они состоят из водяного льда, каменных пород и железа. Наиболее вероятные кандидаты на обитаемость – планета *d* (обращается вокруг родительской звезды за 4,05 сут, имеет радиус $0,77 R_3$ и массу $0,33 M_3$) и планета *e* (обращается за 6,1 сут, имеет радиус $0,92 R_3$ и массу около $0,5 M_3$) системы – так как у них зафиксированы умеренные температуры поверхности ($d = +15^\circ \text{C}$, $e = -22^\circ \text{C}$) и достаточное количество получаемого тепла за счет “приливногo” разогрева от близко расположенной родительской звезды. Вероятно, поверхность планеты *d* покрывает глобальный водный океан и она обладает плотной атмосферой.

14 декабря 2017 г. NASA объявило об открытии астрономом Э.Вандербургом (Техасский университет) и его коллегами восьмой планеты на орбите вокруг звезды Кеплер-90 (KOI-351). Эта звезда – желтый карлик возрастом около 2 млрд лет и массой $1,2 M_\odot$; находится в $2,54 \pm 0,33$ тыс. св. лет от нас в созвездии Дракона. Кеплер-90 отличается от Солнечной системы: в ней все восемь планет располагаются слишком близко к родительской звезде, а земледобные – располагаются ближе к звезде и дальше от газовых гигантов. Шесть внутренних планет системы – это суперземли (*b*, *c*, *i*) или мини-нептуны (*d*, *e*, *f*); две внешние (*g* и *h*) – газовые гиганты, размером с Сатурн и Юпитер. Самая удаленная, Кеплер-90h, обра-

щается вокруг своей звезды примерно на таком же расстоянии, на каком Земля находится от Солнца. Температура на поверхности 8-й планеты – Кеплер-90h – очень высока и достигает $+450^\circ \text{C}$ (как на Венере); она обращается вокруг родительской звезды с периодом в 14,4 сут.

Система Кеплер-90, состоящая из 8-ми планет, – рекордная из известных (кроме солнечной). Первые планеты этой системы были обнаружены транзитным методом в ходе обзора неба, выполненного в 2009–2013 гг. космической обсерваторией “Кеплер” (Земля и Вселенная, 2009, № 4, с. 44–45; 2011, № 6; 2015, № 6, с. 13).

*Журнал
“Astronomy &
Astrophysics”,
2017. Т. 608. № 2.*

“Доун”: пятна на Церере

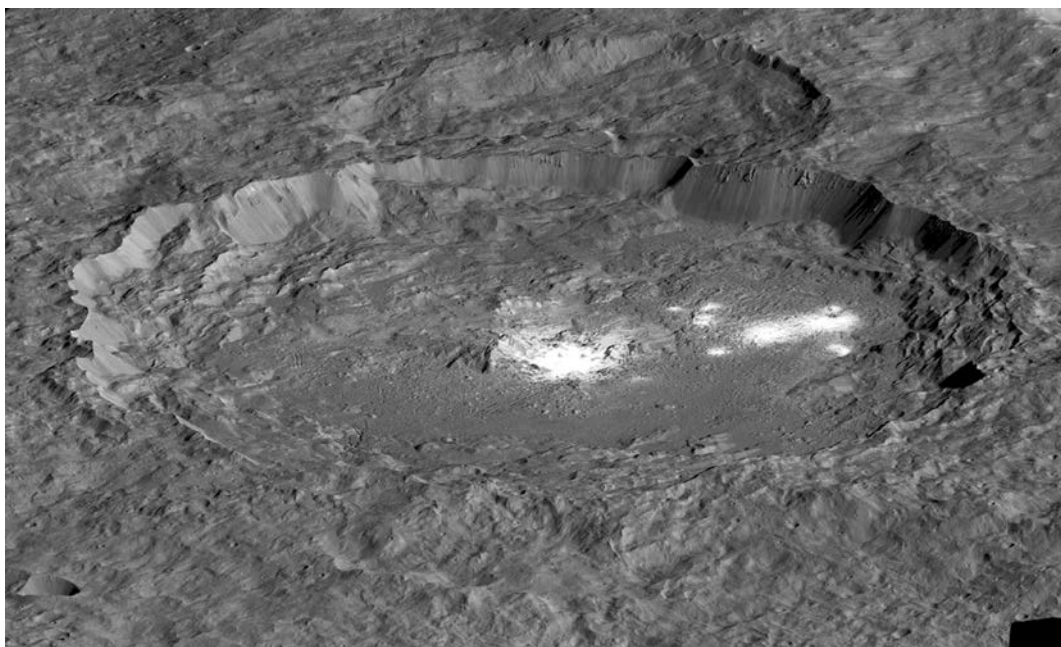
С момента прилета АМС “Доун” (“Dawn”) к Церере, в марте 2015 г., ученые обнаружили на поверхности этой довольно темной карликовой планеты (размером $446 \times 481 \times 483$ км) более 300 ярких пятен (Земля и Вселенная, 2015, № 4, с. 102; 2017, № 1, с. 94; 2017, № 4, с. 54), свидетельствующих о том, что на ней до сих пор протекают активные геологические процессы. Миллиарды лет назад Церера была покрыта тысячами ярких пятен; на протяжении сотен миллионов лет материал пятен постепенно смешивался с темным веществом, слагающим ее поверхность, а также с обломками, выброшенными во время падения метеоритов. Светлые

пятна в кратерах Цереры подтверждают существование (возможно даже в настоящее время) неглубокого резервуара, заполненного жидкой соленой водой. Сейчас ученые уже лучше понимают, как эти пятна сформировались и как меняются с течением времени (см. 2-ю стр. обложки, внизу).

Пятна на Церере делят на четыре вида. Пятна первого вида, с наиболее ярким веществом, встречаются на дне кратеров. Например, кратер Оккатор, диаметром 92 км и глубиной 4 км, мог образоваться во время удара астероида; из недр по трещинам “рассол” поднимался к поверхности, вызывая гидротермальную активность. Самая яркая область – *Cerealia Facula* – расположена в центре кратера; она представляет собой яму диаметром 10 км с небольшим куполом. К востоку от *Cerealia Facula* находится группа диффузных областей *Vinalia Faculae*. Насыщенная газами

вода через трещины поступала на поверхность, вскипала из-за низкого давления и выбрасывала частицы солей, создавая ореолы *Vinalia Faculae*. Обе области покрыты смесью различных солей, выглядящих как грязный снег; но *Cerealia Facula* сформировалась иначе. По всей видимости, потоки ледяной лавы, поднимавшиеся по трещинам на дне Оккатора, постепенно напластовывали купол.

Более распространены пятна второго вида; они встречаются на краях кратеров и представляют собой осыпи светлого вещества, которые стекают на дно. Вероятно, эти пятна появились в результате обнажения залежей светлого вещества под ударами астероидов. Пятна третьего вида расположены вблизи кратеров – это выброшенный из них материал. В четвертую группу входит только один объект – гора Ахуна; по ее склонам медленно стекают ледники. Криовулкан



Яркие пятна в кратере Оккатор на Церере: в центре – область *Cerealia Facula*, ближе к правому краю – *Vinalia Faculae*. Снимок получен 12 декабря 2017 г. с помощью АМС “Доун”. Фото NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA/PSI.

Ахуна – единственная яркая область на Церере, не связанная ни с одним из ударных кратеров.

Станция выполнила, кроме съемок поверхности Цереры, гравиметрические измерения ее внутренней структуры. Обнаружена отрицательная корреляция между топографическими деталями и гравитационными аномалиями (см. 2-ю стр. обложки, внизу). Простейшая модель внутреннего строения Цереры содержит всего два слоя – кору и мантию, простирающуюся до центра. Плотность коры (толщиной 41 ± 3 км) близка к плотности водяного льда; однако, вещество коры оказывается в сотни раз жестче и прочнее льда. Возможные компоненты вещества коры: водяной лед, гидратированные сульфаты магния и натрия (мирабилит), карбонаты магния и кальция, оливин и ме-

тан. Обилие водяного льда, гидратированных минералов и солей объясняется наличием в прошлом на Церере глобального океана (или больших участков поверхности), покрытых водой с растворенными в ней солями. После того как часть воды испарилась (а остальная замерзла), это привело к концентрации солей и формированию коры.

Напомним, что 30 июня 2016 г. завершилась основная программа исследований АМС “Доун”, за время которой в общей сложности она пролетела 5,6 млрд км, совершила 2450 оборотов вокруг Весты и Цереры, отправила на Землю 132 Гб данных (в их числе – 69 тыс. изображений этих двух тел), а ионный двигатель станции работал 48 тыс. часов. 6 июля 2016 г. в NASA была принята программа расширенной миссии.

29 октября 2016 г. окончена программа наблюдений на круговой орбите высотой 1480 км, в ходе которой получено порядка 3 тыс. фотографий поверхности и спектров Цереры. 19 октября 2017 г. во второй раз продлена расширенная программа по исследованию Цереры. В 2018 г. продолжена фотосъемка поверхности Цереры, получение спектров, изучение гравитационного поля, детектирование нейтронов и гамма-излучения. Предполагается, что станция будет продолжать наблюдения с орбиты Цереры до второй половины 2018 г., – пока окончательно не иссякнут запасы топлива. После завершения миссии, для того, чтобы избежать загрязнения поверхности Цереры, станцию оставят навечно на орбите карликовой планеты.

*Пресс-релиз NASA/JPL,
12 декабря 2017 г.*

Информация

Новый обзорный снимок Марса

С целью дополнительной калибровки стереокамеры высокого разрешения HRSC с помощью АМС “Марс Экспресс” 19 июня 2017 г. получен снимок Марса в необычном ракурсе – так как станция летела с севера на юг (см. 3-ю стр. обложки, сверху). Обычно работу всех 9-ти каналов камеры планируют так, чтобы она снимала область поверхности планеты, имея примерно одинаковые условия освещенности; однако, во время калибровки камеру направили на линию горизонта. В результате получился редкий обзорный снимок Марса, в верхней части которого оказалась экваториальная область, находящаяся у лимба планеты, а в нижней части – погруженный в ночную тень северный полюс. Весной в Северном полушарии – когда была

сделана фотография – полярная шапка состоит в основном из водяного льда, перемешанного с пылью. Замороженная углекислота, покрывающая околополярные области зимой, уже испарилась, – для того чтобы с наступлением зимы на Южном полушарии сконденсироваться вокруг южного полюса. Водяной лед также испаряется, пополняя атмосферу Марса паром, который атмосферными течениями переносится к южному полюсу и там откладывается.

На изображении – южнее и выше северной полярной шапки – можно видеть поднятие Фарсиды (*Tharsis region*) – крупнейшее вулканическое нагорье к западу от долин Маринера в районе экватора, чья площадь превышает площадь Европы. Фарсида приподнята относительно среднего уровня Марса примерно на 5 км, вулканические конусы поднимаются над ней еще на 10–22 км; самый знаменитый вулкан Олимп (*Olympus Mons*) оказался “за кадром”, но в центре снимка запечатлена гора

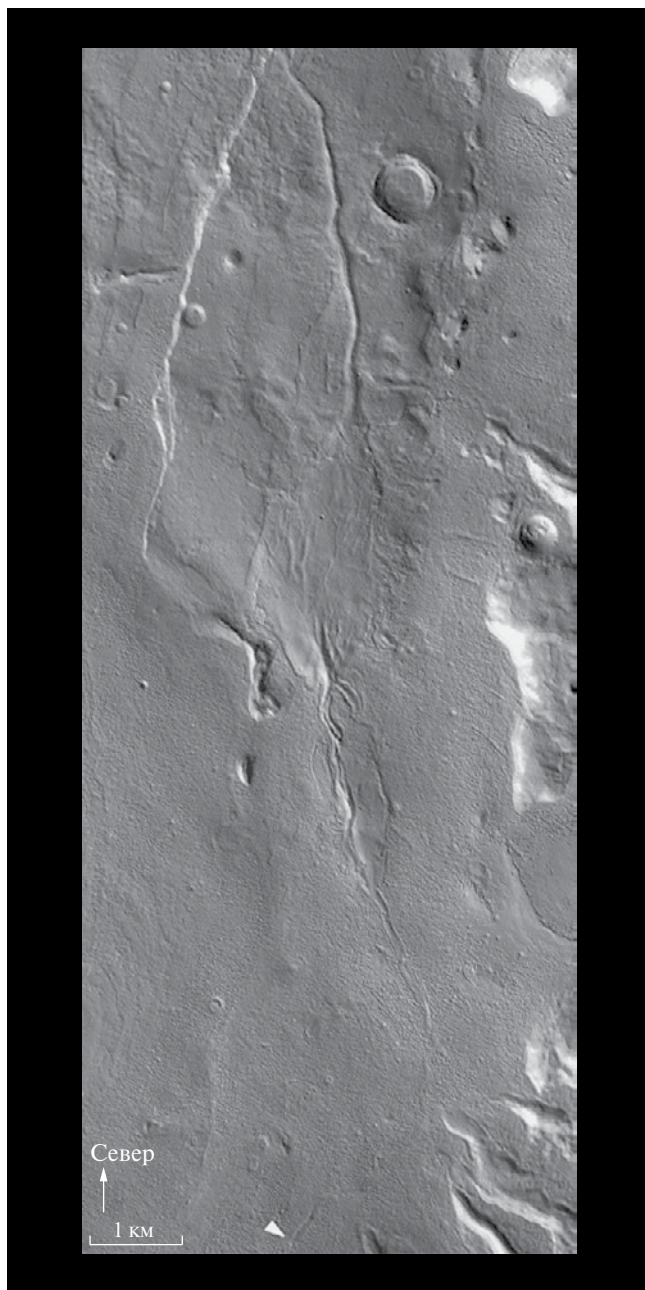
Альба (*Alba Mons*), чье основание превышает 1000 км. Она расположена на краю поднятия Фарсиды, поверхность вокруг горы покрыта длинными параллельными разломами, образовавшимися в первый миллиард лет формирования Марса, – когда подъем магмы из недр планеты “деформировал” кору и “формировал” Фарсиду. Позже обрушение сводов и стенок опустевших магматических каналов приводило к появлению новых трещин. На снимке, дальше к югу, можно видеть Аскрийскую гору (*Ascraeus Mons*) высотой 15 км, окутанную легкими облаками.

Из-за меньшей силы тяжести марсианские вулканы гораздо крупнее земных. Так, самый крупный земной вулкан Мауна-Кеа поднимается над своим основанием только на 10 км (из них – на 4,2 км – над уровнем моря). Тонкая слоистая дымка видна сверху снимка и над лимбом Марса.

*Пресс-релиз ESA,
14 декабря 2017 г.*

Вода текла на Марсе в эпоху динозавров

Планетологи нашли в Северном полушарии Марса крупные залежи и следы потоков талой воды, которая текла “совсем недавно” — примерно 110 млн лет назад, во времена расцвета эпохи динозавров. К такому выводу пришли ученые, изучая снимки умеренных широт планеты. Они получены фотокамерами американской АМС “Марсианский орбитальный разведчик” (“MRO”; Земля и Вселенная, 2005, № 6, с. 56; 2012, № 2, с. 110–111; 2016, № 1, с. 106–107). Например, на полученных “MRO” в январе 2018 г. снимках обнаружили восемь мест, где толстые слои отложений льда видны в Южном полушарии Марса, на крутых склонах эскарпов, на широте 55–58°. Эти отложения выглядят в поперечном разрезе как относительно чистый водяной лед, который сверху прикрыт “крышкой” толщиной 1–2 м, состоящей из каменных пород или пыли, сцементированной льдом (см. 3-ю стр. обложки, внизу). Вновь открытые эскарпы дают ценные сведения об истории климата Красной планеты: ранее считалось, что средние широты Марса слишком холодны для того, чтобы там могли формироваться потоки жидкой воды — средние температуры там не превышают –55°С. Наблюдения показали, что подземная вулканическая активность и столкновение ледников могли вырабатывать достаточно тепла в недавнем прошлом для того, чтобы часть из них растопить.



Овраг длиной около 700 м на равнине Темпе. В центре снимка — след движения жидкой воды по поверхности Марса. Снимок получен с помощью камеры высокого разрешения HiRISE АМС “MRO”. Фото NASA/JPL.

За последние годы найдено множество примеров того, что на поверхности Марса в глубокой древности были во-

доомы: реки, озера и океаны, содержавшие в себе почти такое же количество жидкости, что и в Северном Ледовитом

океане (Земля и Вселенная, 2008, № 4). С другой стороны, даже в древние эпохи Марс мог быть слишком холодным для того, чтобы на нем постоянно существовали океаны – его вода могла находиться в жидком состоянии лишь после извержений вулканов. Открытие следов мощнейших океанических цунами на Марсе, а также некоторые другие данные о его геологии заставляют многих ученых считать, что жидкая вода могла существовать на Марсе не всегда, а лишь эпизодически – когда на планету падали крупные метеориты или когда “просыпались” его вулканы. Потоки такой талой воды могли “прорывать” гигантские каналы на его поверхности и образовывать временные океаны и озера, не замерзавшие, однако, сотни тысяч и миллионы лет. Ледники Марса постоянно движутся вниз по

склонам гор или по равнинам, отступая и наступая по мере повышения (или понижения) температур, создавая специфические формы рельефа. Они помогут понять, с какой скоростью движутся льды на Марсе. Анализируя снимки равнины Темпе (+24/+54 с.ш. и 51/93 з.д.), выполненные станцией “MRO”, расположенной к северу от вулканического плато Фарсида – неподалеку от современных ледников – удалось найти невысокие и очень длинные холмы, похожие по форме на валы, названные “озами”. В отличие от других ледниковых форм рельефа, озы формируются не в результате движения льдов, а потоками талой воды, которые возникают на границе между подножием ледника и грунтом и прокладывают здесь узкие, но длинные каналы длиной в несколько десятков кило-

метров. Та часть равнины Темпе, на которой находятся озы и связанный с ними ледник, сформировалась примерно 150–110 млн лет назад. Что могло растопить льды и заставить их отступить? – Как полагают ученые, источником тепла в данном случае служили подледные вулканы: под равниной Темпе проходит геологический разлом.

Озы и соседние ледники могут стать одним из мест, на которых будут построены обитаемые базы, по нескольким причинам: здесь не только сохранились большие запасы воды; сам ледник может скрывать в себе потенциальные “следы” марсианской жизни, существовавшей на поверхности планеты в далеком прошлом.

Журнал “Journal of Geophysical Research”, 2017. Т. 122. № 11.

Информация

“Новые горизонты” летит к тройному астероиду

АМС “Новые горизонты” (“New Horizons”) – первый космический аппарат, пролетевший 14 июля 2015 г. рядом с карликовой планетой Плутон на расстоянии 12,5 тыс. км (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1, с. 16–20). Благодаря собранному за несколько дней данным стало известно, что на Плуtone есть криовулканы, ледники, горные цепи, а также признаки подповерхностного океана. Сей-

час станция находится на пути к своей новой цели – транснептуновому объекту 2014 MU69 из пояса Койпера, к которому она прилетит 1 января 2019 г. Предполагается, что он может быть каменно-ледяным телом. Ранние наблюдения Космического телескопа им. Хаббла показали, что его поверхность имеет красноватый оттенок – как у Плутона. Предварительные оценки его размера показывают, что он – диаметром от 20 до 40 км, совершает оборот вокруг Солнца за 295 лет.

Несмотря на то, что “Новые горизонты” находится еще довольно далеко от этой цели, специалисты уже сейчас пытаются узнать о ней больше – в том числе,

для планирования сбора данных о 2014 MU69 при его пролете и для коррекции траектории полета станции. В июне–июле 2017 г., когда станция находилась в “спящем” режиме, была проведена масштабная кампания по наблюдению трех покрытий объектом 2014 MU69 далеких звезд с помощью летающей обсерватории “SOFIA”, Космического телескопа им. Хаббла и космической обсерватории “Гайя” (“Gaia”; Земля и Вселенная, 2014, № 3), а также командой “KBO Chasers”, состоявшей из астрономов, вооруженных наземными мобильными телескопами. На основе полученных данных была произведена оценка размеров и формы объекта: ока-

залось, что 2014 MU69 – не одиночное небесное тело, а система, состоящая из двух тел диаметром около 15–20 км, вращающихся вокруг общего центра масс на очень малом расстоянии

друг от друга (либо с сильно вытянутым одиночным телом длиной около 30 км). Однако, проанализировав данные обсерватории SOFIA об покрытии звезды 10 июля 2017 г., астрономы предпо-

ложили, что у 2014 MU69, возможно, есть небольшой спутник; поэтому объект может быть тройной системой.

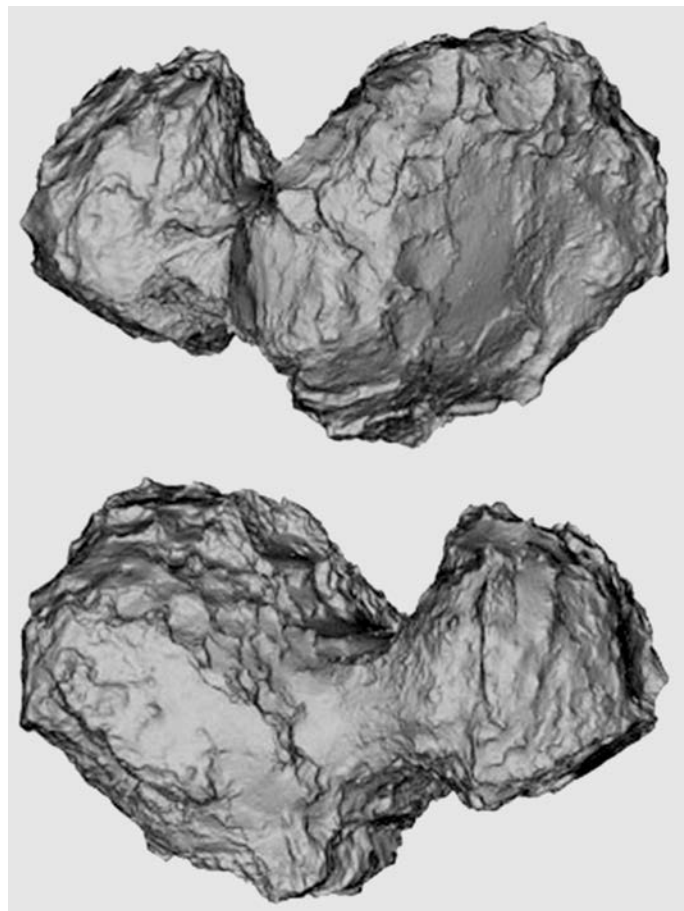
*Пресс-релиз NASA/JPL,
22 декабря 2017 г.*

Информация

Модель ядра кометы Чурюмова–Герасименко

На основе 1,5 тыс. снимков кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, полученных с августа 2014 г. по май 2015 г. с помощью двух камер инструмента OSIRIS AMC “Розетта” (ESA), специалисты под руководством Ф.Прейскера (Германский центр авиации и космонавтики, DLR) создали трехмерную модель ее ядра (размеры $1,3 \times 3,2 \times 4,1$ км) разрешением всего в несколько десятков сантиметров. Она позволила ученым оценить объем ($18,56 \text{ км}^3$) и плотность ($537,8 \text{ кг/м}^3$) небесного тела. Эти данные позволяют уточнить, как выглядела довольно сложная поверхность ядра кометы до перигелия – максимального сближения с Солнцем – в августе 2015 г.

Напомним, что за два года исследований с орбиты искусственного спутника “кометы станция” собрала огромный материал, это позволило ученым сделать немало открытий: так, на комете обнаружены газо-



Трехмерная модель ядра кометы Чурюмова–Герасименко в двух проекциях. По данным DLR/ESA.

пылевые гейзеры и балансирующие скалы, “сухой” и водный лед, иней и следы соединения морфологически разных регионов (Земля и Вселенная, 2015, № 1,

с. 42–44; 2015, № 2, с. 108–110; 2015, № 4; 2017, № 1, с. 36–37).

*Пресс-релиз DLR/ESA,
16 ноября 2017 г.*