

“Розетта” исследует комету Чурюмова – Герасименко

К.И. ЧУРЮМОВ,
доктор физико-математических наук
Киевский национальный университет им. Т. Шевченко,
Киев

Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
академик

Л.В. КСАНФОМАЛИТИ,
доктор физико-математических наук
Институт космических исследований РАН



В статье представлены экспресс-материалы об исследованиях ядра кометы 67P/Чурюмова – Герасименко, выполненных орбитальным аппаратом “Розетта” (“Rosetta”) и спускаемым аппаратом “Филы” (“Philae”), входящим в состав миссии “Розетта”. Рассмотрены особенности проведе-

ния программы полета “Розетты” и состояние аппаратов после посадки “Филы” на ядро кометы. Газообразные составляющие ее комы включают ряд соединений, указывающих на особенности возникновения небесного тела. По измерениям приборов, установленных на “Розетте”, обнаружены

пары воды, окись, двуокись и дисульфид углерода, аммиак, метан, метанол, формальдегид, сероводород, цианистый водород, диоксид серы, сера, натрий и магний. Ядро кометы с размерами $1,3 \times 3,2 \times 4,1$ км имеет неправильную форму, оно состоит из двух частей, соединенных узкой пе-

ремычкой. На снимках “Розетты” видны грубые изломы поверхности, крутые горные склоны, испещренные провалами, хребтами и глыбами, покрытые

раздробленным материалом небольшие равнинные поля. Под верхним слоем обнаружена твердая порода, которая не поддавалась бурению и долблению.

Из-за неудачной посадки спускаемого аппарата “Филы” ряд экспериментов на поверхности ядра кометы выполнить не удалось.

МИССИЯ “РОЗЕТТА”

Комету 67P/Чурюмова – Герасименко открыли 23 октября 1969 г. астрономы К. Чурюмов и С. Герасименко из Астрономической обсерватории Киевского госуниверситета им. Т. Шевченко (КГУ) в ходе астрономической экспедиции КГУ в Алма-Атинскую обсерваторию. После патрулирования короткопериодических комет 9, 11 и 21 сентября 1969 г. на пяти фотопластинках, полученных К. Чурюмовым, С. Герасименко и Л. Чирковой, был обнаружен диффузный объект. Новую комету зарегистрировали как комету 67P/

Чурюмова – Герасименко (Земля и Вселенная, 2013, № 1). Она регулярно наблюдается астрономами и с момента открытия проходила перигелий шесть раз – в 1976 г., 1982 г., 1989 г., 1996 г., 2002 г. и 2009 г.

Комета Чурюмова – Герасименко была выбрана как новая цель исследований миссии “Розетта” (ESA) после неудачной первой попытки запуска “Розетты” к комете Виртанена в 2002 г. (в результате отказа двигателей европейской ракеты-носителя “Ариан-5”). Старт пришлось перенести на 2004 г., когда встреча с кометой Виртанена уже

стала невозможной. Несмотря на обилие кометных тел в Солнечной системе, выбор цели ограничен и определяется несколькими обстоятельствами. В частности, в момент встречи с аппаратом комета должна находиться близко к плоскости эклиптики, иначе резко возрастает расход топлива и сокращается масса полезной нагрузки. Именно комета Чурюмова – Герасименко оказалась такой целью.

Проект “Розетта” назван по имени Розетского камня (Египет) как символа познания. На знаменитой плите выбит идентичный текст на трех языках. Упоминание известных имен (Птолемей и Клеопатра) позволило прочесть древнеегипетскую клинопись. Название спускаемого аппарата также связано с древнеегипетскими надписями. На острове Филы на реке Нил был найден другой обелиск с иероглифической надписью, упоминающей



К.И. Чурюмов, Ж.-Ж. Дордэн (Генеральный директор ESA в 2004 г.) и С.И. Герасименко. 2004 г. Фото ESA.

ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТА “РОЗЕТТА”

Наименование	Параметры
Габариты	2,8 × 2,1 × 2,0 м
Габариты панелей солнечных батарей	14 × 2,3 м
Площадь панелей солнечных батарей	2 × 32 м ²
Размах панелей солнечных батарей	32 м
Полная масса космического аппарата	2900 кг
Масса топлива	1670 кг
Масса научной аппаратуры	165 кг
Масса спускаемого аппарата “Филы”	97,9 кг
Производительность панелей солнечных батарей	395 Вт на удалении 5,25 а.е. от Солнца, 850 Вт на удалении 3,4 а.е.
Ожидаемое время функционирования	12 лет

царя Птолемея VIII и цариц Клеопатру II и Клеопатру III.

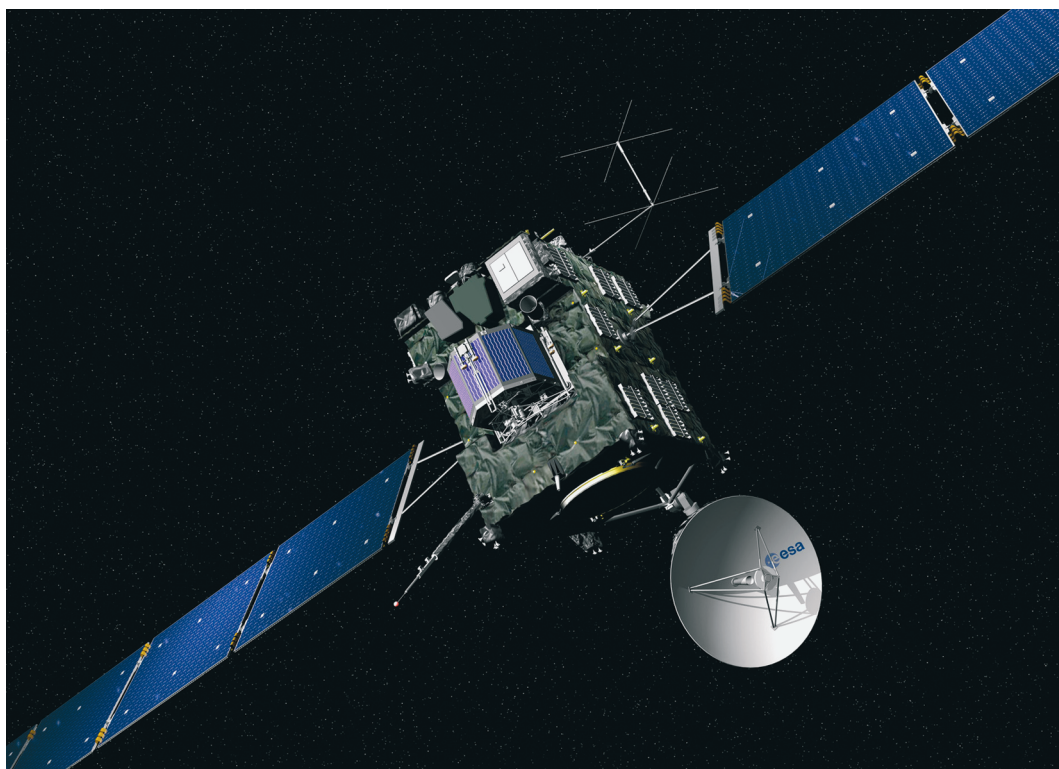
Космический аппарат “Розетта” был запущен с космодрома Куру во Французской Гвиане 2 марта 2004 г. (Земля и Вселенная, 2004, № 4, с. 47–50). На путешествие к цели – комете Чурюмова – Герасименко – ушло более 10 лет, причем во время полета аппарат сближался с астероидами Штейнс (5 сентября 2008 г.; Земля и Вселенная, 2009, № 2, с. 86) и Лютеция (10 июля 2010 г.; Земля и Вселенная, 2010, № 6, с. 67). Баллистика полета предусматривала четыре гравитационных маневра: три – с возвращением к Земле и один у Марса (Земля и Вселенная, 2015, № 1).

В создании аппаратов “Розетта” и “Филы” участ-

вовали: консорциум Немецкий аэрокосмический центр (DLR), Общество Макса Планка (MPS), Французское космическое агентство (CNES), Итальянское космическое агентство (ASI). Общее руководство было за DLR. Активная система посадки также создавалась в DLR, маховики угловой реакции были изготовлены в Великобритании. Гарпуны создавались в Австрийском институте космических исследований и в Институте исследований Солнечной системы им. Макса Планка (Германия).

“Розетта” получает электроэнергию от двух больших панелей солнечных батарей общей площадью 64 м², вырабатывающих в перигелии мощность до 1500 Вт. Их использование необычно для полетов в дальний

космос, но авторы проекта использовали накопленный опыт высоких технологий, чтобы избежать применения радиоизотопных термоэлектрических генераторов. Для коррекции траектории полета используется система RCS из 24 микродвигателей тягой по 10 Н каждый. Связь аппарата с Землей осуществляется через остронаправленные антенны от передатчиков, работающих на частотах 8 и 2 ГГц. Максимальная скорость передачи данных около 19 кбод (кбит/с). Во время спуска и посадки аппарата “Филы” сигнал от “Розетты” достигал Земли только через 28 мин, поэтому все операции выполнялись автономно, а составление программы конкретных действий требовало весьма высо-



кой квалификации специалистов.

Приборы, установленные на аппаратах “Розетта” и “Филы”, отвечают высоким требованиям современных космических исследований. Например, ультрафиолетовый изображающий спектрометр ALICE (масса – 3,1 кг, потребление энергии – 2,9 Вт) предназначен для поиска благородных газов в эмиссиях ядра кометы и измерения их содержания в образцах, что позволяет оценить температуру среды формирования кометы. Прибор работает в УФ-диапазоне, от 700 Å до 2050 Å. Детектирование излучения осуществля-

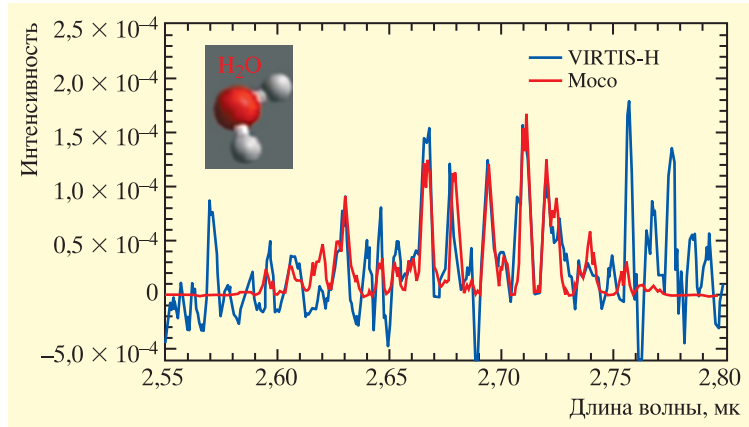
ется с помощью фотокатодной матрицы из бромида калия и йодида цезия. Версия этого же прибора используется в миссии “Новые горизонты”, в полете к Плутону (Земля и Вселенная, 2006, № 3, с. 108–109). В научную аппаратуру миссии “Розетта” входят прибор CONSERT – для радиозондирования ядра кометы; COSIMA – масс-спектрометр кометных вторичных ионов; GIADA – ударный анализатор и накопитель пылевых частиц; MIDAS – анализатор микроизображений пылевых частиц; MIRO – микроволновый спектрометр орбитального аппарата; OSIRIS – камера

*Аппарат “Розетта” со спускаемым аппаратом “Филы”.
Рисунок ESA.*

для получения спектров, снимков в видимом и ИК-диапазоне; ROSINA – спектрометр, анализирующий ионы и нейтральные частицы; RPC (пять детекторов и монитор) для плазменных экспериментов; RSI – прибор для радиоволновых экспериментов; VIRTIS – картирующий спектрометр оптического и теплового ИК-диапазона.

Дистанционное исследование кометы приборами “Розетты” проводилось в первой части полета на орбите вокруг

Спектр водяного пара на комете Чурюмова – Герасименко, зарегистрированный в октябре 2014 г. спектрометрами аппарата “Розетта” на орбите ее искусственного спутника. По данным ESA.



ее ядра и продолжилось в дальнейшем. Выбрасываемые ядром летучие, как и ожидалось, были в основном парами воды и углекислым газом. Но состав разреженной атмосферы кометы оказался богат и другими летучими. По данным измерений приборов VIRTIS и ROSINA, газовая смесь формирующейся комы включает воду, окись углерода, двуокись углерода, аммиак, метан, метанол, формальдегид, сероводород, цианистый водород, диоксид серы, дисульфид углерода и серу, а в пылевых частицах найдены натрий и магний. Предварительный анализ позволяет считать, что в газообразные составляющие комы входит ряд соединений, свидетельствующих о важных особенностях возникновения небесного тела. Например, сероводород содержит изотоп серы ^{32}S , а газообразная фаза – изотоп ^{34}S . Сероводород в коме-

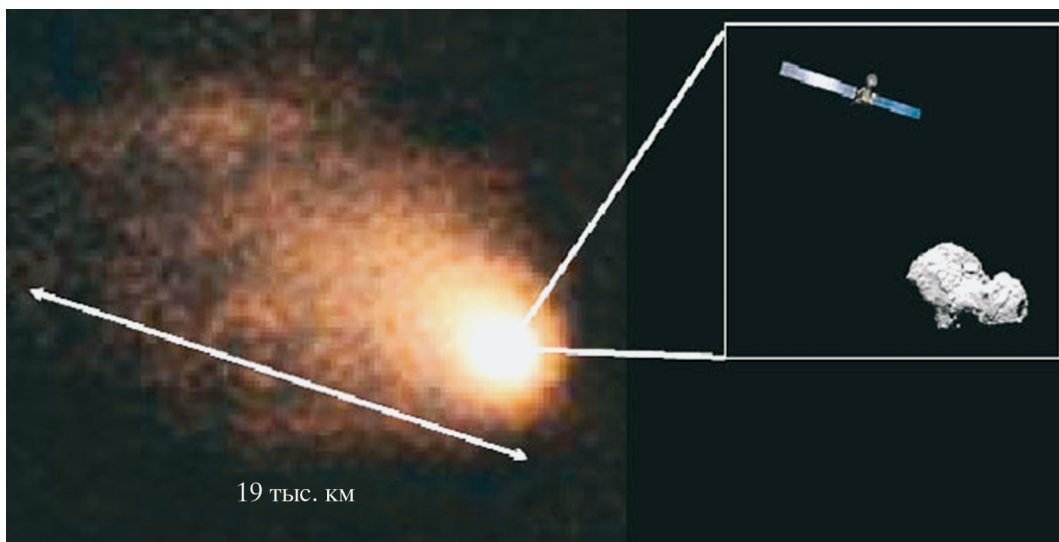
тах раньше не находили. По-видимому, вещество ядра кометы родилось в своеобразных условиях.

Комета Чурюмова – Герасименко классифицирована как пылевая с отношением пылевых и газовых выбросов примерно 2:1. Максимальная производительность пыли в 2002–2003 гг. оценивалась примерно в 60 кг/с, но в 2012–2013 гг. регистрировались выбросы до 220 кг/с. Размеры детектируемых пылинок – от нескольких десятков до нескольких сотен микрометров и более (COSIMA и GIADA). Данные, касающиеся газовых компонентов и пыли, продолжают уточняться. Температура поверхности ядра, дистанционно измеренная приборами “Розетты” на выбранных участках, оказалась около $-70\text{ }^\circ\text{C}$, что может соответствовать неплотному, “пушистому” пылевому слою. Но в дальнейшем выяснилось, что структура поверхности гораздо сложнее.

Солнце будет в зените над экватором кометы за 120 сут до перигелия, 13 августа 2015 г., в этот момент комета пройдет на расстоянии 1,29 а.е. (185 млн км) от Солнца. Если нарастание активности кометы будет таким, как в 2003 г. и 2009 г., развитие хвоста ожидается в середине июля 2015 г., а поздняя активность кометы положительно скажется на работоспособности “Розетты”.

В результате исследований “Розетта” получила предварительные данные о некоторых свойствах и параметрах ядра кометы, таких как альbedo, количество газовых и пылевых выбросов, магнитное и электрическое поля. Последующие наблюдения по мере приближения кометы к перигелию позволят их улучшить.

Многочисленные летучие в атмосфере кометы стали неожиданностью, так как она находится еще далеко от Солнца и

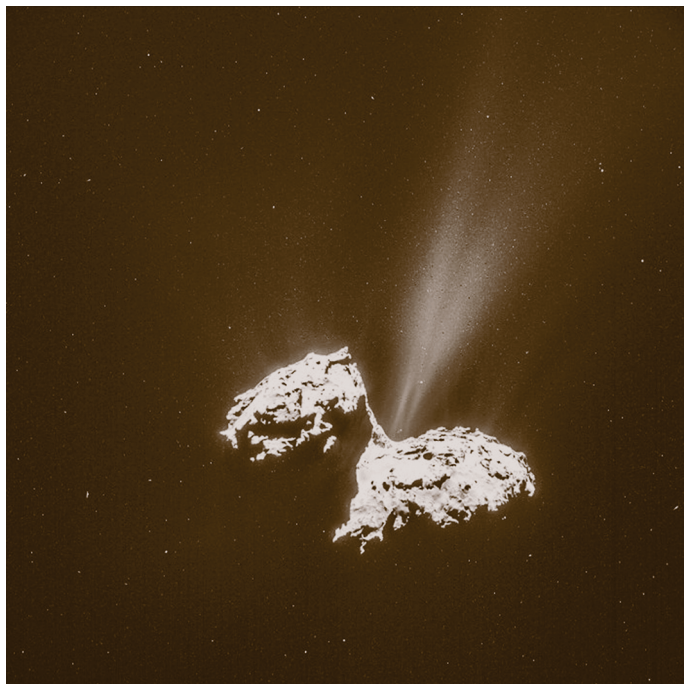


температура поверхности низка.

Для сравнения заметим, что в ядрах других комет также обнаружены сложные органические соединения. Исследования их спектров ука-

зывают на выделение летучих из ядер комет: CN, C₂, NH₂, C₃, OH, NO, NaI, OI, CH⁺, OH⁺, NH⁺ и в "хвостах" CO⁺, N₂⁺, CO₂, CH₃OH, CN и OH⁺. Как уже упоминалось, в коме кометы Чурюмова – Ге-

Хвост кометы 67P / Чурюмова – Герасименко. Во врезке – аппарат "Розетта" и ядро кометы. Фото и рисунок ESA.



расименко замечены новые, ранее не регистрировавшиеся составляющие. Связано ли это с ее необычным элементарным составом, относительно малой массой ее ядра (в 22 раза меньше массы ядра кометы Галлея) или с особенностями ее происхождения?

Газопылевые выбросы над седловиной ядра кометы Чурюмова – Герасименко усиливаются по мере приближения ее к перигелию. Снимок получен 6 февраля 2015 г. навигационной камерой "Розетты" с расстояния 124 км от кометы. Фото ESA.

**ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЯДРА КОМЕТЫ
ЧУРЮМОВА – ГЕРАСИМЕНКО**

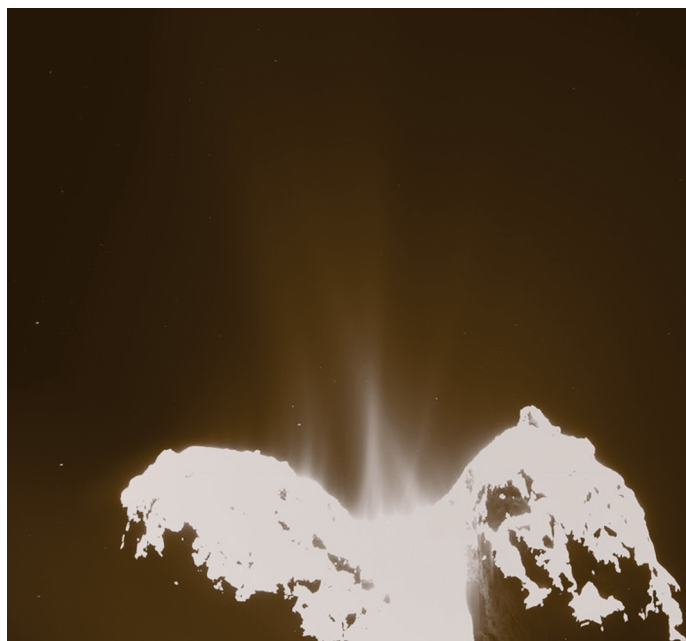
Наименование	Параметры	Приборы, выполнившие измерения
Размеры (“голова” – меньшая часть)	2,0 × 2,5 × 2,5 км	OSIRIS
Размеры (“тело” – большая часть)	1,3 × 3,2 × 4,1 км	OSIRIS
Период вращения	12,4043 ч	OSIRIS
Ось вращения	$\alpha = 69^\circ$, $\delta = +64^\circ$	OSIRIS
Масса	10^{13} кг	RSI
Объем	25 км ³	OSIRIS
Плотность	0,4 г/см ³	RSI/OSIRIS
Скорость выделения водяного пара	300 мл/с (июнь 2014 г.); 1–5 л/с (июль – август 2014 г.)	MIRO
Температура поверхности (1)	205–230 К (июль – август 2014 г.)	VIRTIS
Температура поверхности (2)	25–160 К (июль – август 2014 г.)	MIRO

Перигелий еще далеко, но уже в 2014 г. можно было заметить газообразные и пылевые выбросы, достигающие 100-км орбиты “Розетты”. В конце 2014 г. – начале 2015 г. активность кометы Чурюмова – Герасименко была невелика, а длина ее хвоста не превышала 20 тыс. км. Продолжение спектроскопических исследований позволило в начале декабря 2014 г. установить, что регистрируемые пары воды, выбрасываемые ядром, значительно обогащены дейтерием по сравнению с водой на Земле (Земля и Вселенная, 2015, № 3). В земной воде на 10^6 молекул обычной воды (H₂O) приходится 156 мо-

лекул “тяжелой” воды (D₂O) – 156 ppm. У кометы Чурюмова – Герасименко “тяжелой” воды больше – около 500 ppm. Вместе с другими сюрпризами этот относится к факторам, вызывающим постоянные дискуссии о происхождении воды на Земле. Откуда она взялась, принесли ее планетезимали (“заготовки” планет) или кометы? По ряду оценок, вода комет на Земле составляет 30–40% в каждом стакане. Разумеется, источников воды было много, и земные океаны представляют их смесь. Отношение “тяжелой” воды к обычной (D/H) в других телах Солнечной системы при-

мерно такое же, как на Земле.

Предполагается, что комета 67P/Чурюмова – Герасименко пришла из пояса Койпера, расположенного за орбитой Нептуна (Земля и Вселенная, 1995, № 2). Пока исследованы только две кометы этой группы – 103P/Хартли-2 и 67P. Отношение D/H у кометы Хартли-2 полностью совпадает с земным, поэтому комета 67P отличается своим химическим составом и, по-видимому, происхождением, тем более что у нее самое высокое D/H из всех комет. Малые тела, пришедшие из самых удаленных окраин Солнечной системы – Облака Оорта, своими отно-



Выбросы из ядра кометы Чурюмова – Герасименко. Снимок получен 10 сентября 2014 г. Аппарат “Розетта”. Фото ESA.

шениями D/H также отличаются от земных, хотя и не столь значительно. В процессе испарения воды с поверхности ядра кометы и ее переноса к орбите аппарата, отношение D/H может несколько изменяться. Тем более опасно делать на основании единственного объекта прозвучавшие категорические выводы о том, что доставка воды на Землю кометами исключается.

После посадки на ядро кометы спускаемого аппарата “Филы” связь с Землей должна была осуществляться через “Розетту”, обращающуюся вокруг ядра кометы. Возможная продолжительность радиоконтакта между зондом “Филы” и “Розеттой” определяется положением послед-

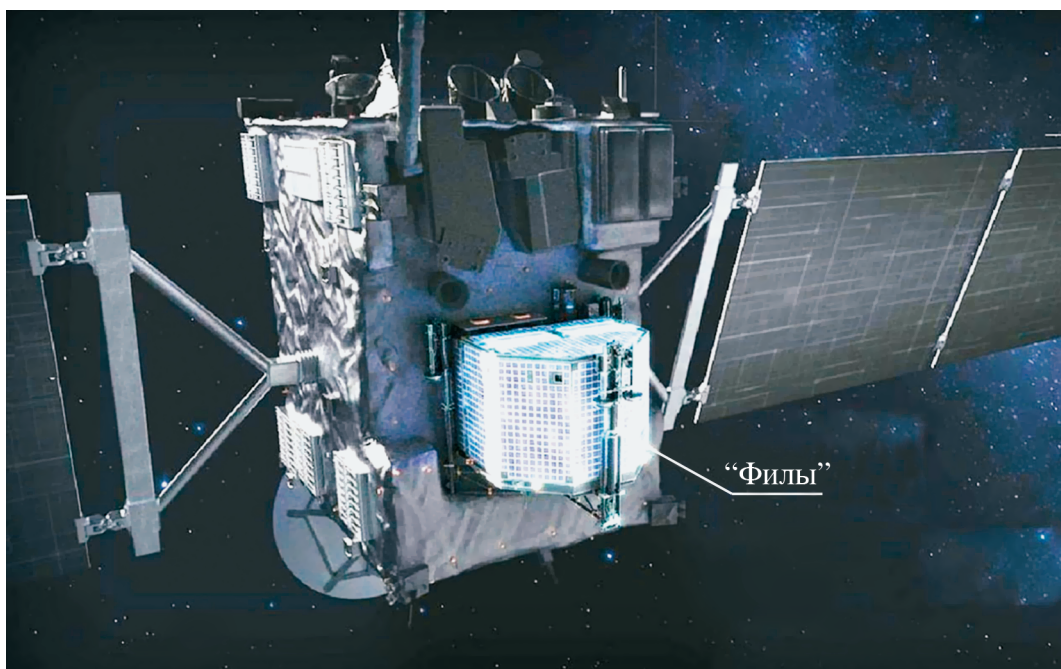
ней на орбите с весьма длительным орбитальным периодом. На высоте 20 км от ядра, где “Филы” отделились от “Розетты”, орбитальный период составлял 191 ч. На рабочих орбитах “Розетты” высотой 100, 30, 12 и 8 км ее периоды обращения вокруг кометы были 620, 350, 88 и 48 ч соответственно. Каждый маневр аппарата требовал тщательной оценки видимости спускаемого аппарата “Филы”, поскольку период вращения ядра составляет 12,4 ч.

ВЫБОР МЕСТА ПОСАДКИ

До отделения спускаемого аппарата “Филы” находился в специальном гнезде на аппарате “Розетта” и оставался там до 12 ноября 2014 г. Коман-

да на отделение была отдана после анализа возможных мест посадки. Первые снимки показывали, что ядро кометы представляет собой раздвоенное тело неправильной формы размерами около $1,3 \times 3,2 \times 4,1$ км. Последующие изображения демонстрировали как крутые горные склоны, испещренные провалами, хребтами и глыбами, так и равнинные поля. Неправильная форма ядра с узким перешейком допускает предположение, что ядро может разделиться на две половины. Такое предположение и соответствующие расчеты были сделаны в отношении кометы Хартли-2, но ядро кометы Чурюмова – Герасименко – это более сложный случай. После изучения нескольких вариантов специалисты одобрили место посадки “Фил” на небольшом равнинном участке меньшей части ядра, на внешней его стороне.

На гладкой, запыленной пылью части шейки ядра разбросаны крупные глыбы. У примыкающего к ней склона четко выделяется слоистая структура с резкой границей у более глад-



Аппарат “Розетта” со спускаемым аппаратом “Филы” до разделения. Рисунок ESA.

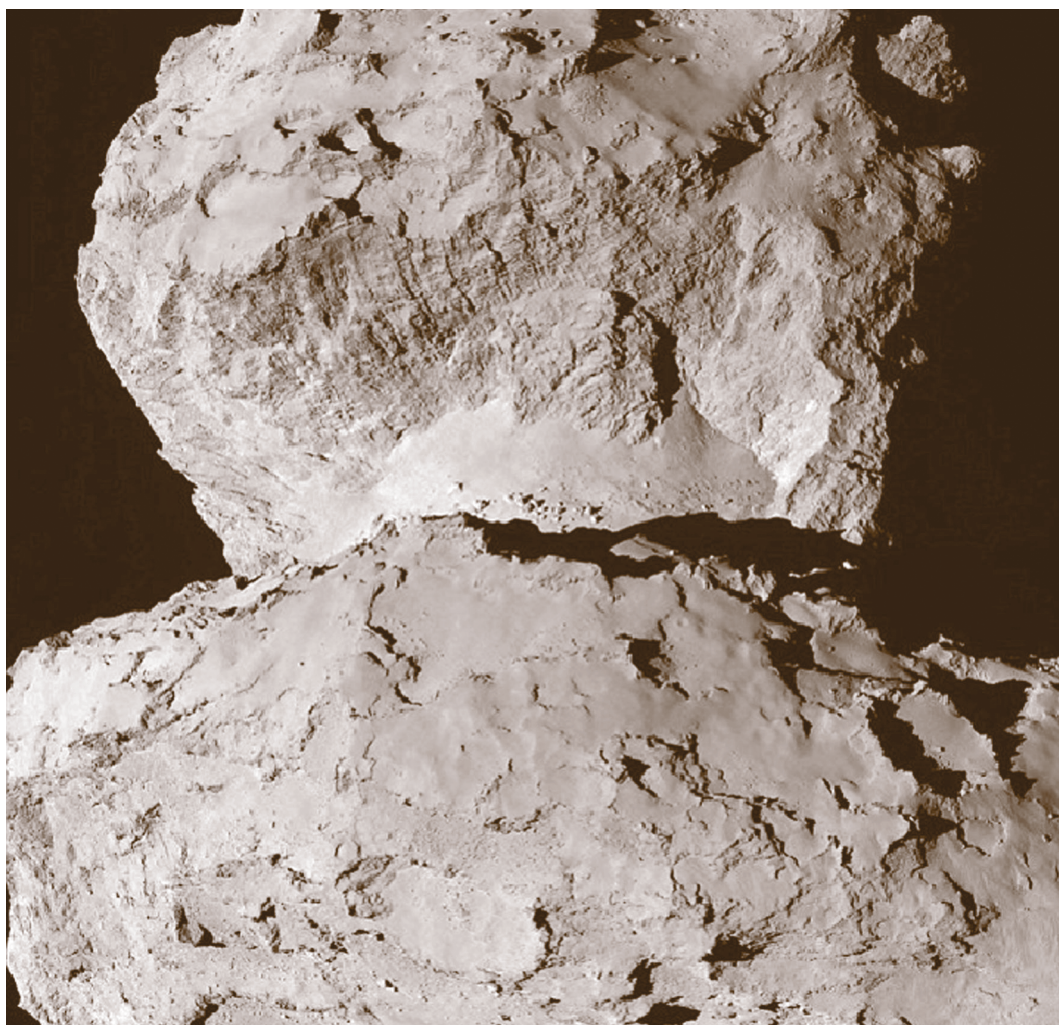
кой поверхности. В обеих частях замечены многочисленные следы ударных кратеров разной глубины и сохранности, грубые изломы. Светлые оттенки обманчивы, поверхность очень темная, альbedo около 3% (темнее сажи). Глубокие тени не обязательно указывают на провалы: поверхность освещена прямыми солнечными лучами, рассеянного света практически нет. Так выглядит поверхность тела, мало изменившегося за 4,5 млрд лет, прошедших с возникновения Сол-

нечной системы. Если не учитывать происхождение слоистой стены и странной сдвоенности ядра, такое его строение соответствует ожиданиям ученых. Но, как выяснилось, тонкий пылевой слой скрывает новые неожиданные.

“Филы” – это первый аппарат, предназначенный для мягкой посадки на ядро кометы (Земля и Вселенная, 2004, № 4, с. 47–50). 12 ноября 2014 г. в 8 ч 35 мин (здесь и далее время по Гринвичу) была подана команда на его отделение и баллистический (неуправляемый) спуск на комету. Высота орбиты “Розетты”, на которой произошло отделение, составляла 20 км. С одной стороны, предполагалась возмож-

ность удобного обзора примыкающих деталей, с другой – поверхность казалась достаточно безопасной для посадки. Благодаря низкой гравитации время спуска (фактически – падения на комету) достигло 7 ч, скорость при посадке – около 1 м/с (точное значение зависит от высоты места над барицентром).

Посадочная система зонда “Филы” была снабжена устройствами для предотвращения отскока и удержания аппарата на поверхности. В систему входили ледобуры на опорах, гарпуны и прижимной ракетный двигатель. Ледобуры, установленные на каждой из трех опор, приводились в действие энергией удара при



посадке. Затем гарпуны, отстреливаемые пиропатронами, должны были вонзиться в поверхность со скоростью 70 м/с. Прижимной двигатель должен был предотвратить отскок аппарата при ударе и отдачу от стрельбы гарпунами. Двигатель работал на холодном газе, чтобы не загрязнять исследуемую поверхность. К сожалению, ни одно из трех устройств свою задачу не выполнило.

Энергопитание зонд “Филы” получал от двух батарей. На первом этапе первичная батарея с напряжением 28 В, рассчитанная на 1000 Вт·ч, при посадке обеспечивала электроэнергией все приборы и служебные системы в течение 60 ч. На втором этапе, после ожидаемой зарядки от солнечных панелей вторичной аккумуляторной Ni-Cd батареи (на 140 Вт·ч), бортовые

Фрагмент ядра кометы Чурюмова – Герасименко в районе перешейка. Один из лучших снимков, сделанный 7 августа 2014 г. (разрешение – 30–40 см). Фото ESA.

приборы переключались на нее. Вторичная батарея включалась только после исчерпания энергии первичной. Панели солнечных батарей площадью 2,2 м² покрывают пять из шести сторон

ХАРАКТЕРИСТИКИ СПУСКАЕМОГО АППАРАТА “ФИЛЫ”

Наименование	Масса, кг
Конструкция	18,0
Система контроля терморегулирования	3,9
Система энергоснабжения	12,2
Активное управление посадкой	4,1
Маховики угловой реакции	2,9
Посадочный механизм	10,0
Гарпуны	1,4
Центральная система управления данными	2,9
Телеметрия и связь	2,4
Блок общей электроники	9,8
Механическая система, кабели, балансировочная масса	3,6
Научные приборы	26,7

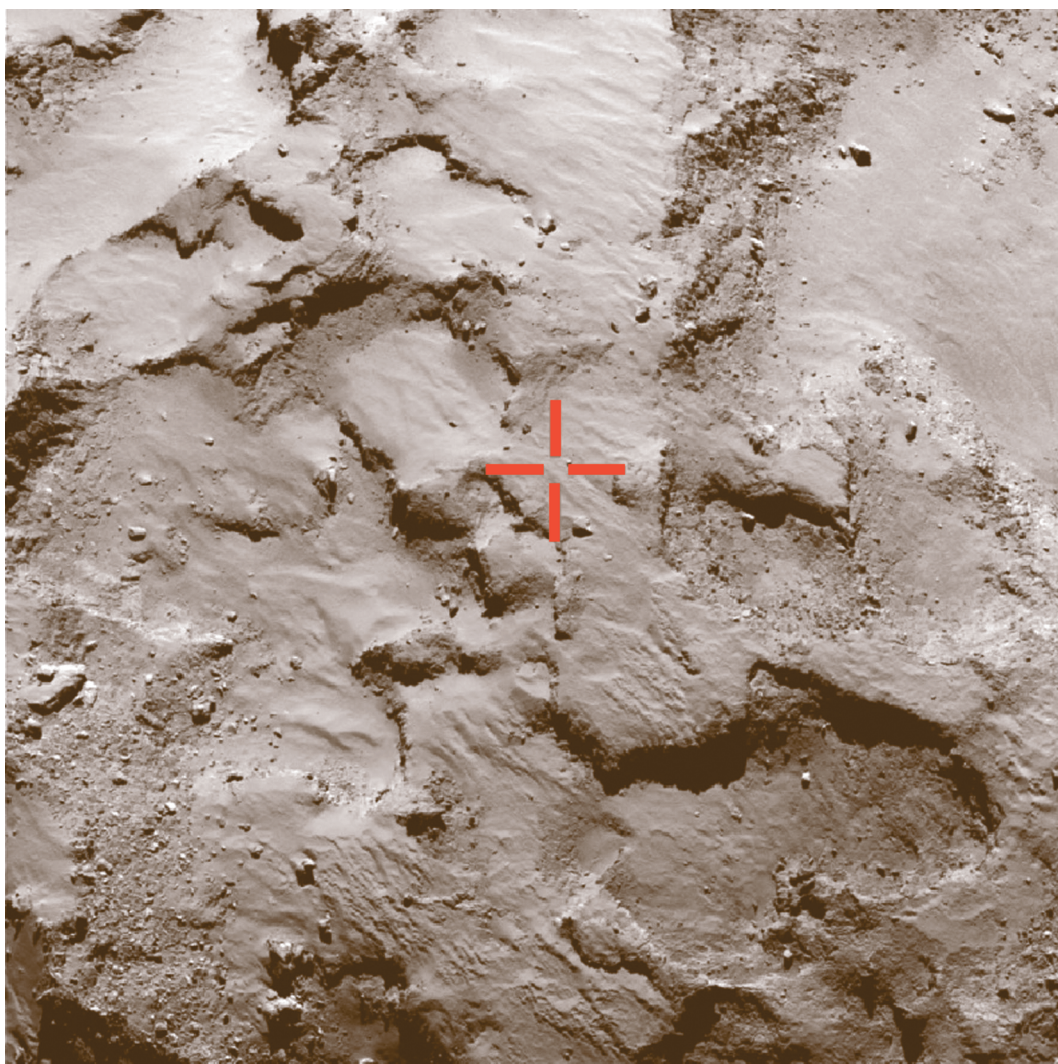
аппарата, они обеспечивают мощность до 32 Вт на расстоянии 3 а.е. от Солнца при условии прямого освещения.

На зонде “Филы” были установлены следующие научные приборы: APXS – спектрометр альфа-частиц и рентгеновского излучения; COSAC – комбинированный газовый хроматограф и масс-спектрометр, анализирующие образцы пород и летучие компоненты комы, включая органические вещества; PTOLEMY – детектор, измеряющий изотопные отношения в легких летучих компонентах ядра кометы; CIVA – шесть одинаковых микрокамер панорамной съемки поверхности с матрицами по 1024 × 1024 пикселей; ROLIS – ПЗС-камера для

съемок во время спуска с разрешением 1024 × 1024 пикселей; CONSERT – радар для зондирования внутреннего строения ядра; MUPUS – датчики измерения плотности, температурных и механических свойств поверхности до глубины 0,23 м; ROMAP – магнитометр и детектор плазмы для изучения магнитного поля ядра кометы и его взаимодействия с солнечным ветром; SESAME – три прибора, определяющие свойства внешних слоев кометы (CASSE – акустическое зондирование поверхности кометы, PP – исследование диэлектрической проницаемости поверхности кометы, DIM – измерение количества пыли, оседающей на поверхность); SD2 – буровая установка

для извлечения образцов горных пород с глубины до 0,23 м, их анализ проводился в приборах PTOLEMY, COSAC и на изображениях камер CIVA.

Среди других запланированных экспериментов следует отметить исследование хиральности органических соединений, присутствующих на комете. Несимметричная молекула может иметь “двойника” с зеркальной структурой. Вся биота Земли – левосторонняя. Предполагалось, что на комете Чурюмова – Герасименко будет исследована хиральность органики. У нас нет сведений о том, знали ли авторы исследования об аналогичных работах, выполненных 30–40 лет назад, причем не в космосе, а



в обычной лаборатории. Материал метеорита с высоким содержанием органических веществ тщательно измельчили и высадили в него растение (картофель). До эксперимента измерения показывали, что оба органических изомера присутствуют поровну. Когда куст картофеля вырос, выяснилось, что он усвоил только левый изомер. Земная биота полностью

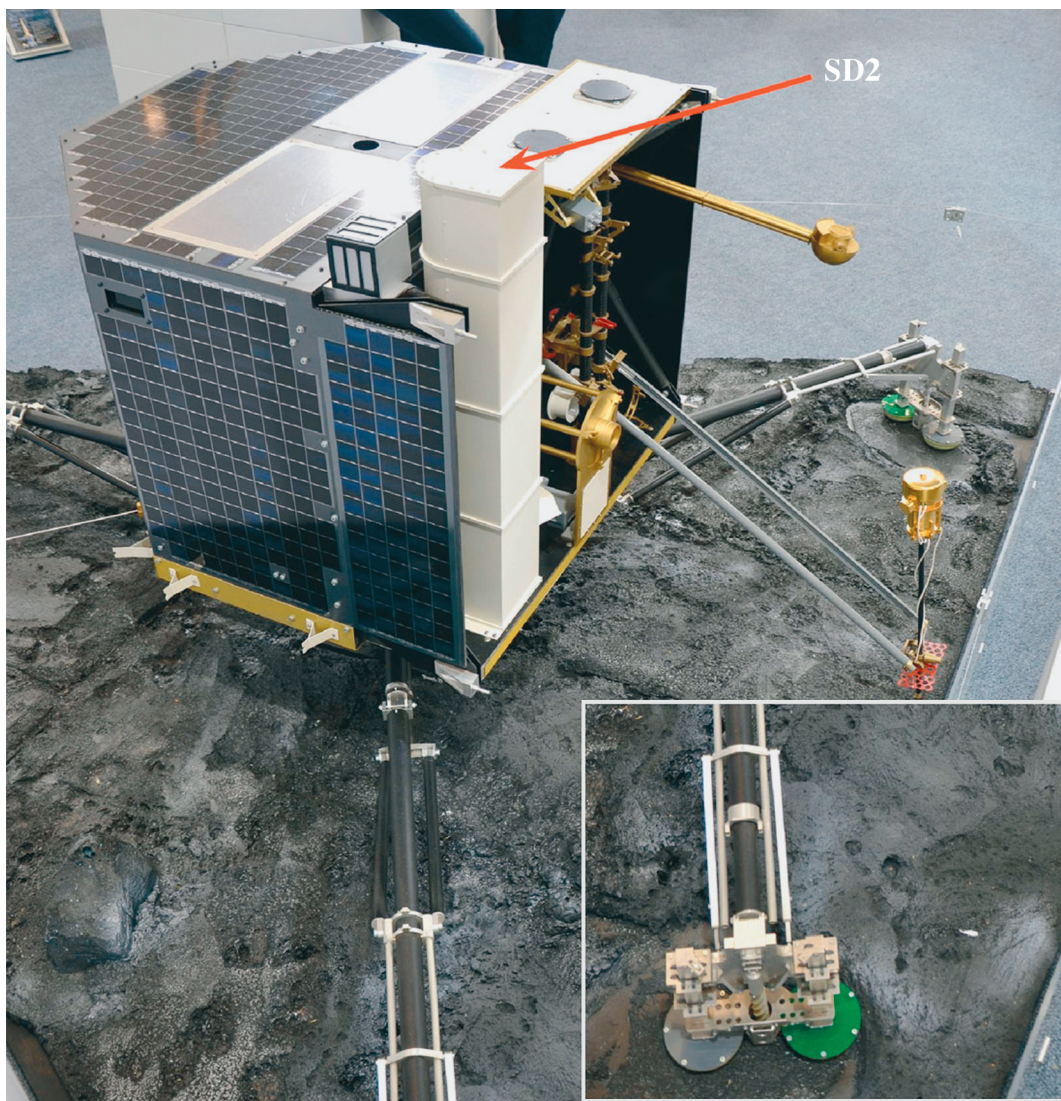
игнорирует правосторонние изомеры; если такие встречаются, питаться ими невозможно.

СЛОЖНАЯ ПОСАДКА “ФИЛ”

После завершения исследований на ядре кометы с помощью аппарата “Филы” было много противоречивых сообщений и комментариев ESA и участников экспериментов. Так, ESA сообщи-

Намеченное место посадки спускаемого аппарата “Филы” в области меньшей части ядра кометы Чурюмова – Герасименко. Снимок сделан 15 сентября 2014 г. Фото ESA.

ло, что после семичасового спуска зонд “Филы” приземлился всего в 50 м от намеченной точки, идеально подходившей для работы. После сиг-



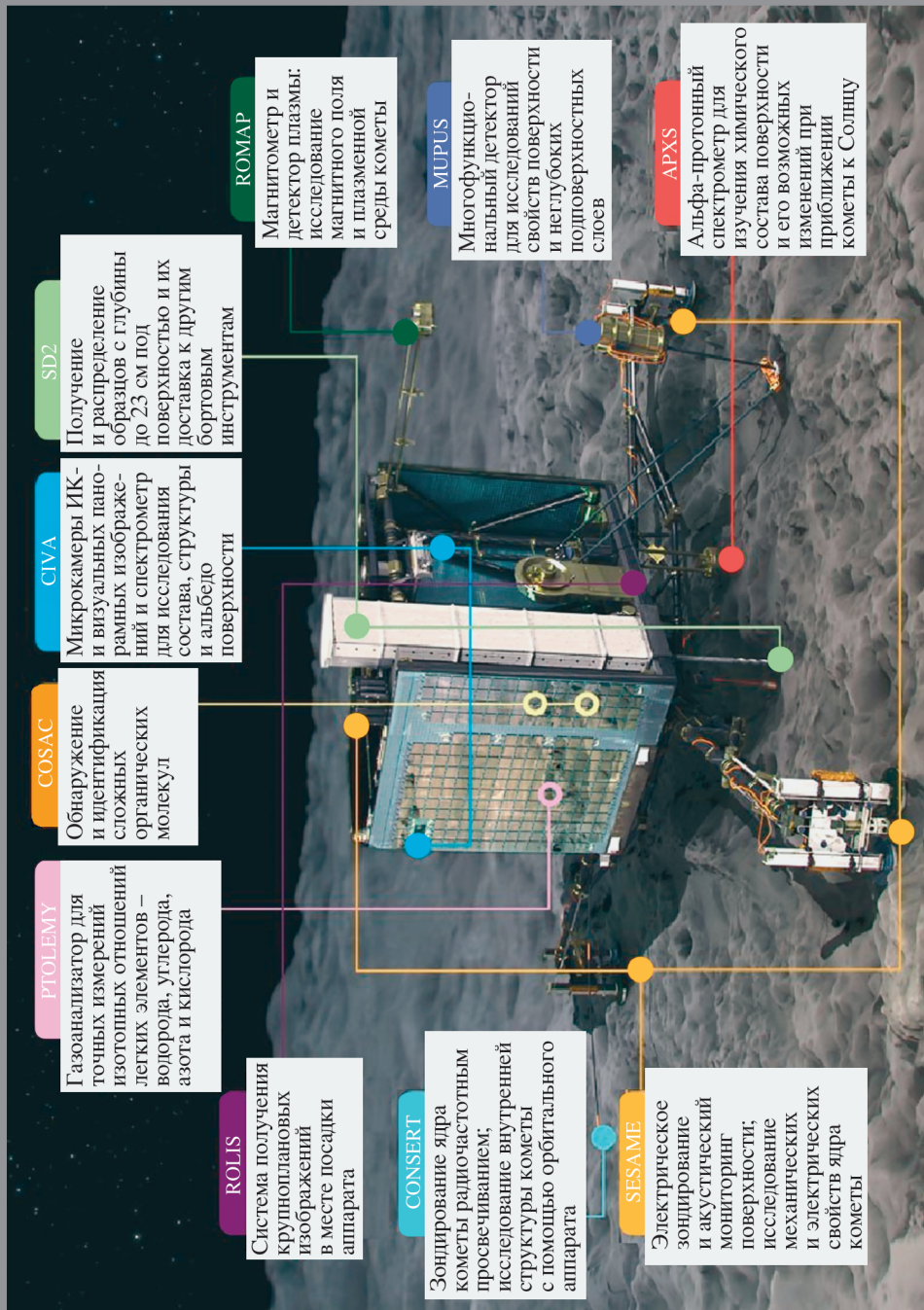
Спускаемый аппарат “Филы” во время лабораторных испытаний. На трех опорах установлены часть научных приборов и ледобуры (во врезке – буровое устройство SD2). Фото ESA.

нала о контакте “Фил” с поверхностью в соответствии с программой были приведены в действие два гарпуна, что-

бы через прикрепленные к ним тросы закрепиться на поверхности кометы. Пришел сигнал о включении всех приборов. Кажалось, что зонд сел, поэтому участники проекта в Европейском космическом центре в Дармштадте (Германия) начали торжествовать. Но на основе данных магнитометра, космические центры

в Тулузе и Кёльне сообщили, что дела обстоят не так блестяще, а зонд “Филы” все еще движется.

После сигнала о посадке оставалось около 50 ч, чтобы провести все намеченные научные эксперименты, так как время ограничивалось емкостью главной батареи “Фил”. В дей-



Научные приборы, установленные на спускаемом аппарате "Филе". Рисунок ESA.

ствительности батарея давала энергию даже немного дольше, она работала в течение 7 ч во время спуска и 57 ч на поверхности ядра кометы. Удачный выбор места посадки позволял бы получить достаточный ток от солнечных панелей для вторичной батареи (как ожидалось, в течение 7 ч за солнечные сутки кометы, 12,4 ч).

12 ноября 2014 г., еще до отделения аппарата, инженеры проекта сообщили, что система управления прижимным двигателем не отвечает на команды (как уже говорилось, прижимной двигатель должен был на какое-то время удерживать “Филы” на поверхности кометы и компенсировать силы реакции). Стало ясно, что без прижимного двигателя приземление будет рискованным. Тем не менее решение о посадке было принято. Вероятно, это было ошибкой, причем фатальной.

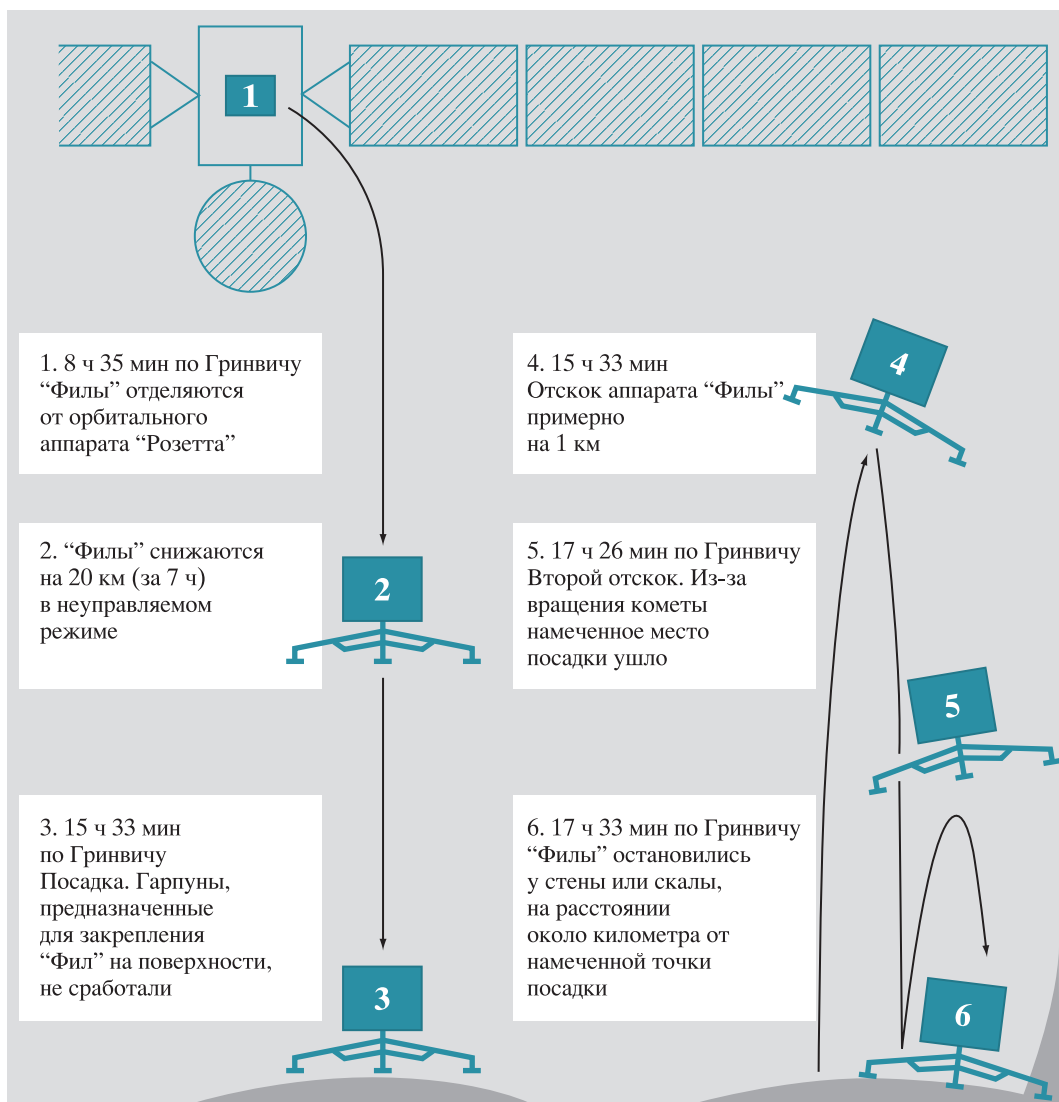
Аппарат приближался к цели и с высоты 40 м передал изображение поверхности ядра. Произошла посадка, но, к сожалению, оба гарпуна, которые должны были закрепить “Филы” на поверхности, почему-то не сработали, как и прижимной двигатель и ледобуры. На поверхности аппарат ничто больше не удерживало. Учитывая механическую реакцию от воздействия на грунт,

шансы “Фил” остаться на месте и на выполнение научных задач были ничтожными. Единственно, что удерживало “Филы” от прыжка, был небольшой вес аппарата. Если предположить, что от поверхности до гравитационного центра тела 1 км, ускорение свободного падения на комете при ее массе 10^{13} кг будет всего $6,8 \times 10^{-4}$ м/с², а вес аппарата при его массе 97,9 кг составит 6,8 г. Три опоры аппарата, слегка погрузившись в неплотный слой, на глубине около 20 см встретились с весьма плотной породой. Далее опоры спружинили и в 15 ч 33 мин отбросили аппарат со скоростью около 0,38 м/с. При столь низкой гравитации кометы скорости аппарата в момент посадки (около 1 м/с) и его кинетической энергии около 50 Дж оказалось достаточно, чтобы зонд “Филы” поднялся на высоту 1 км и спустился только почти через 2 ч, в 17 ч 26 мин. Аппарат затем поднялся снова, но невысоко, а окончательно остановился в 17 ч 33 мин. После первого контакта с ядром кометы на это ушло около 2 ч.

Прыжки “Фил” поставили под сомнение всю программу исследований. Пока зонд взлетал и падал, комета продолжала довольно быстро вращаться. Вместо плоской открытой местности, освещаемой

Солнцем, под аппаратом оказались каменные склоны и провалы. Спускаемый аппарат остановился в крайне сложных условиях. ESA опубликовало панорамное изображение, свидетельствующее об его неустойчивом положении. Зонд находился в углублении, среди высоких зазубренных каменных глыб, у глухой стены, причем одна его опора была поднята, а почти весь аппарат оставался в тени (Земля и Вселенная, 2015, № 2).

Специалисты сделали попытку приподнять аппарат, выдвигая и вращая буровое устройство SD2, и повернуть “Филы”, но неясно, удалось ли в результате увеличить освещенность солнечных батарей. Имелись сообщения, что Солнце все же освещало какую-то часть батарей в течение 1,5 ч, но для зарядки аккумуляторов необходим минимум 5 ч. В дальнейшем сведения о какой-либо освещенности батарей не поступили. Контакт с “Филами” был потерян утром 15 ноября в 12 ч 30 мин, так как “Розетта” зашла за горизонт ядра кометы. На панорамных снимках заметны только одна или, может быть, две опоры, и одна из них, вероятно, не касается грунта. В дальнейшем на снимках “Розетты” удалось проследить районы, над которыми зонд находился до и после первого



отскока в 15 ч 33 мин, но это ничего не меняет.

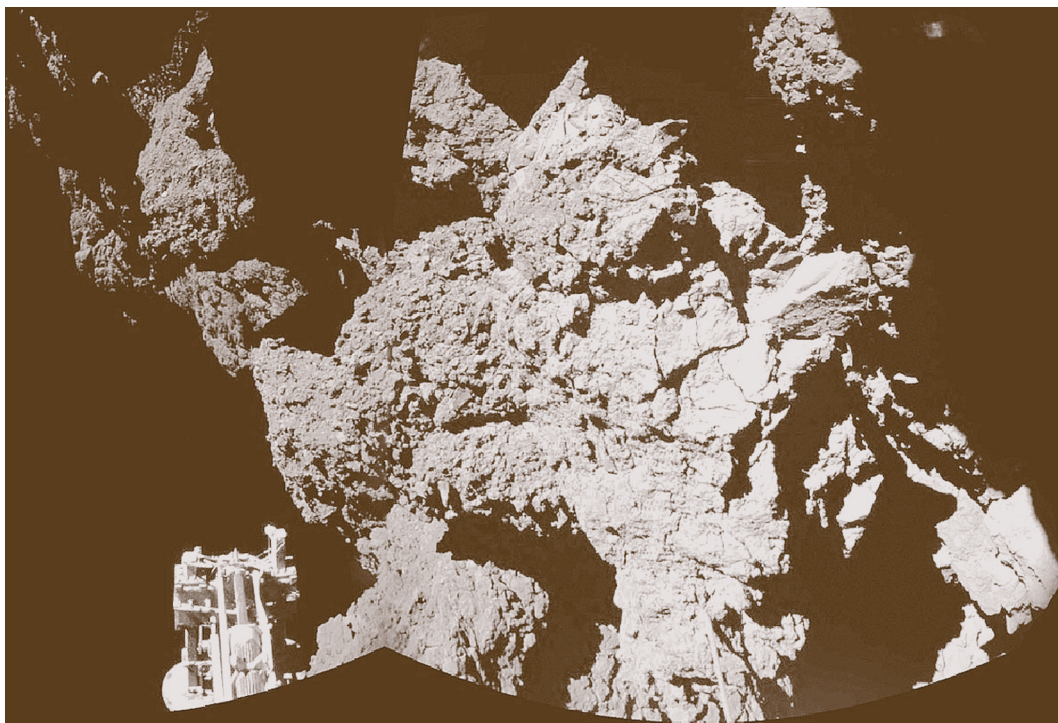
С целью получить данные о положении аппарата, прежде всего об освещенности его солнечных батарей, использовались снимки шести камер CIVA. Предполагается, что светлое пятно на снимке – это другая опора, которая упирается в черную стену. Короткая

белая линия – это штанга прибора MUPUS. Специалисты ESA попробовали понять, в каком положении оказался аппарат, и в своих комментариях 12 декабря 2014 г. отмечали, что место, где находится “Филы”, установить не удастся, несмотря на детальные снимки, получаемые с “Розетты”.

Последовательность событий при посадке 12 ноября 2014 г. спускаемого аппарата “Филы” на ядро кометы Чурюмова – Герасименко. Рисунок “The Guardian” и ESA.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ЗОНДЕ “ФИЛЫ”

Прежде чем выключиться, в первые часы работы 15 ноября 2014 г.

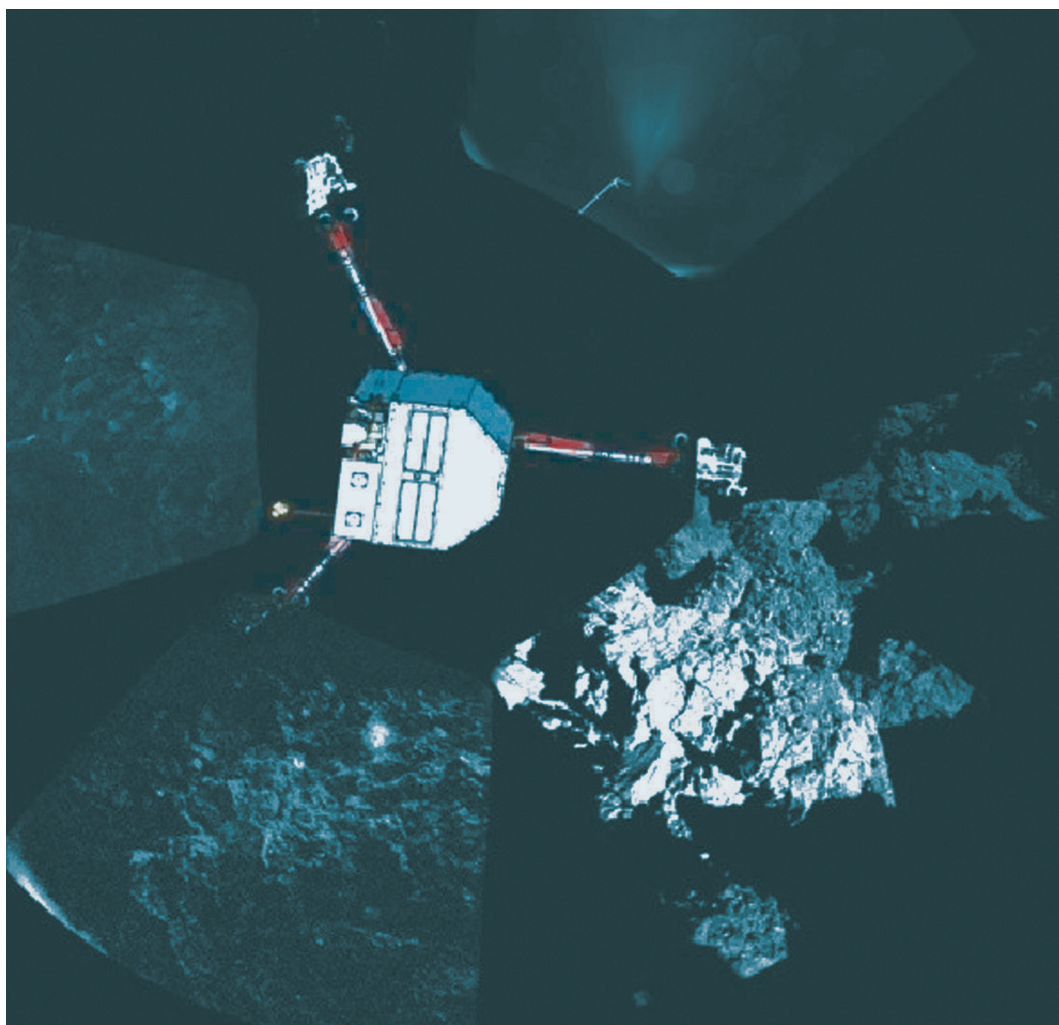


Часть панорамы поверхности кометы Чурюмова – Герасименко, окружающей “Филы”. Внизу слева видна одна из опор аппарата. Снимок сделан аппаратом “Розетта”. Фото ESA.

зонд “Филы” сумел провести часть экспериментов и через “Розетту” ретранслировал на Землю полученные данные. В концевых частях опор располагались датчики SESAME, которые зарегистрировали толчок при первой посадке. Система автоматики была построена так, что сигнал датчиков SESAME включил все приборы “Фил” для исследования поверхности кометы. Но зонд в это время уже удалялся от нее, бес-

цельно расходуя энергию батареи и передавая несуществующие измерения. После окончательной посадки в третьем контакте с поверхностью, в связи с высоким потреблением энергии, буровую установку SD2 активировали в конце всех операций. Цель эксперимента SD2 состояла в том, чтобы провести бурение поверхности кометы для сбора, захвата и переноса образцов грунта в приборы COSAC и PTOLEMY, размещенные внутри спускаемого аппарата. Бур находится внутри конструкции и выдвигается вниз при работе. Грунт захватывается в трубку, присоединенную к буру, а затем доставляется к карусе-

ли с ячейками, распределяющей его потребителям. Руководитель эксперимента А. Финци (Италия) сообщила, что бур был развернут, как и планировалось, опущен до опорной точки на поверхности и приведен в действие. Затем бур с образцами подняли и переместили к карусели с 26 нагревательными пиролизными микропечами для разогрева образцов до 180 °С или 800 °С. Трубка с пробами остановилась над микропечами и должна была опустить пробы в микропечи, а карусель поворачивалась и доставляла их к прибору COSAC. Остается неизвестным, сколько материала попало в печи из трубки SD2, и во-

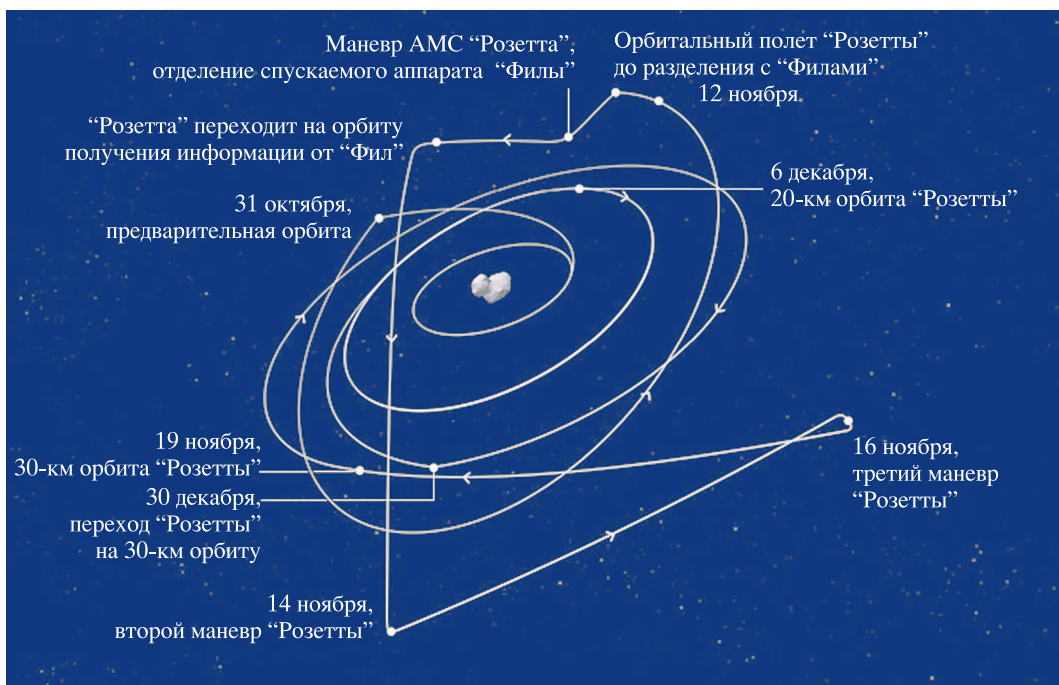


обще, удалось ли взять пробы пыли или газа во время посадки. А. Финци настаивает, что бур SD2 включился. Но на основе телеметрии прибора COSAC не удастся определить, присутствовала ли проба в приборе COSAC или просто выделение газа из образца было недостаточным. Получил ли COSAC образец грунта, еще изучается, но ответ, скорее, отрицательный. Между тем из

анализа данных COSAC можно заключить, что уже при первом касании получены первые сведения об атмосфере кометы, которые указывают на обнаружение органических молекул. Сообщается, что инструмент PTOLEMY успешно собрал газ из среды над поверхностью. Продолжаются анализ спектров и идентификация летучих, обнаруженных обоими инструментами.

Спускаемый аппарат "Филы" на поверхности кометы Чурюмова – Герасименко. Концевые части опор совмещены с рельефом поверхности, чтобы определить положение аппарата на комете. Снимок сделан 12 ноября 2014 г. панорамной микрокамерой CIVA. Коллаж ESA.

Тепловой картограф в составе прибора MUPUS был разработан в Институте планетологии



Траектория полета “Розетты” вокруг ядра кометы Чурюмова – Герасименко во время спуска на его поверхность и после завершения программы исследований “Фил”. Рисунок ESA.

университета Мюнстера (Германия) вместе с Центром космических исследований в Варшаве и другими международными партнерами. MUPUS управлялся международной командой в Институте планетных исследований в Берлине. Он оснащен многоцелевыми датчиками для исследования поверхности и подповерхностных слоев грунта. Его включили 12 ноября 2014 г. в момент разделения аппаратов (8 ч 35 мин). MUPUS

зарегистрировал первый контакт “Фил” с кометой в 15 ч 34 мин, но в дальнейшем выяснилось, что часть данных о температуре и ускорении была безвозвратно потеряна, так как датчики находились в гарпунах. MUPUS работал на протяжении спуска и во время всех трех посадок. По его данным, зонд “Филы” сел на запыленный лед.

В последнем месте посадки MUPUS зафиксировал температуру $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$, близкую к температуре консоли посадочного аппарата. Затем в течение примерно получаса датчики охлаждались еще примерно на 10° . Это могло произойти либо из-за лучистого теплообмена с холодной стеной, либо потому,

что аппарат попал в слой холодной пыли. Затем MUPUS начал долбить поверхность, но не смог продвинуться глубже, чем на несколько миллиметров, даже при максимальной мощности двигателя. Из сравнения с лабораторными данными сделан вывод, что пенетратор встретил твердую поверхность с прочностью низкотемпературного льда. Сравнение результатов теплового картирования и зондирования приводит к предварительному выводу, что верхние слои поверхности ядра кометы состоят из слоя пыли толщиной 10–20 см на механически прочной поверхности льда или смеси льда с пылью. На больших глубинах лед, вероятно, ста-

новится более пористым, на что указывает низкая средняя плотность ядра (0,4 г/см³), определенная с помощью приборов RSI и OSIRIS “Розетты”.

Судя по анализу полученных данных, прибору MUPUS не удалось получить пробу грунта. Вместо пушистого, как ожидалось, слоя пыли на податливой поверхности, грунт, по-видимому, был твердым, как лед, а образцы, полученные буром SD2, в прибор COSAC не поступили.

Пока обрабатывались и анализировались данные, “Розетта” продолжала исследовать комету, наблюдая, как изменяются ее поверхность и атмосфера с приближением к Солнцу. После завершения

первого этапа работы “Розетта” вернулась на 30-км орбиту вокруг кометы. В течение 2015 года она будет следовать за кометой, изучая ядро по мере того, как активность кометы возрастает на пути к перигелию (13 августа 2015 г.). Сближения с ядром и пролеты на высоте 8 км и даже 2–3 км требуют чрезвычайно сложного управления, и не только из-за неправильной формы ядра. Вмешаться в работу “Розетты” в реальном времени невозможно. В ноябре 2014 г. сигнал аппарата достигал Земли только через 28 мин, а узнать, выполнена ли отправленная команда, можно только через час.

Ожидается, что в мае – августе 2015 г. “Розетта”

сможет наблюдать краткосрочные и долгосрочные изменения, происходящие на комете при приближении к Солнцу.

Авторы экспериментов высказывали надежды на “оживление” спускаемого аппарата “Филы”, когда освещенность панелей солнечных батарей достигнет заданной величины. Но система электроснабжения, в том числе аккумуляторы, находится в очень тяжелых условиях, при крайне низкой температуре в затененном месте посадки. Поэтому работоспособность аккумуляторов после глубокого охлаждения может быть полностью потеряна.

Информация

“Мессенджер”: Равнина Жары

Огромную Равнину Жары (Caloris Planitia; 32,57° с.ш. и 162,31° в.д.) на Меркурии – одну из самых больших ударных структур в Солнечной системе – сфотографировала в марте 2015 г. АМС “Мессенджер” (см.

стр. 2 обложки). Через нее проходит меридиан 180°, где температура поднимается до рекордных для Меркурия значений – 350–427 °С. Кратер Равнина Жары сформировался на ранних стадиях образования нашей планетной системы 3,8–3,9 млрд лет назад после столкновения Меркурия с большим астероидом. Его заполняет слой лавы толщиной 2,5–3,5 км. Образовавшиеся после застывания лавы кратеры обнажили слои грунта синего цвета. Они состоят, скорее всего, из вещества, которое было на поверхности планеты до столкновения. Оранжевые пятна – это, возможно, жерла вулканов.

Равнина Жары выглядит на снимках светлым пятном, так как ее отражательная способность на 15–20% выше, чем в среднем на планете. Ее окружают валы и небольшие темные равнины. Вдоль восточного края тянутся горы Жары высотой 2 км. Поверхность равнины усеяна трещинами и крупными кратерами: 100-км Атже, 75-км По, 54-км Мунк, 41-км Аполлодор, 37-км Каннингем и 22-км Баланчин. Около центра находятся Борозды Пантеон – система узких впадин, тянущихся на сотни километров.

Пресс-релиз NASA,
5 марта 2015 г.