

АСТЕРОИДНОЕ И ЛУННОЕ ВЕЩЕСТВО В ЗЕМНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

Минувший 2020 г. был богат событиями, связанными с доставкой на Землю грунта разнообразных небесных тел Солнечной системы. Самый большой ажиотаж вызвала китайская лунная миссия, но буквально за несколько дней до ее успешного завершения в Австралии приземлилась капсула с веществом астероида Рюгу. Ранее, в конце октября, после долгой подготовки наконец удалось сделать забор грунта с астероида Бенну. Этой миссии еще предстоит долгий путь домой. Пожелаем ей удачного возвращения. А теперь подробности.

Начнем, пожалуй, с астероидов. Бенну и Рюгу оба относятся к околоземным астероидам так называемой группы Аполлона. Их путь вокруг Солнца лежит в пределах, очерченных орбитой Марса, оба астероида представляют потенциальную угрозу для нашей планеты, так как их орбита пересекается с земной. За такими небесными телами нужен глаз да глаз. В моменты наибольшего сближения Рюгу отделяет от Земли менее чем 0,05 астрономических единиц (7,5 млн км). Бенну и вовсе считается самым опасным для человечества объектом Солнечной системы. Вероятность падения данного астероида на Землю равна 1/4000. Впрочем, угроза очень потенциальная. Так, ближайший опасный период, когда мы теоретически можем столкнуться с Бенну, приходится на 2169–2199 гг. Апокалипсис если и наступит, то не сегодня.

Это, конечно, не повод расслабляться, но время подумать, что с этим делать, есть. Вместе с тем астероиды группы Аполлон — сравнительно доступный объект для исследования непосредственно на месте. Лететь туда гораздо ближе, чем к главному поясу астероидов, чей путь лежит между орбитами Марса и Юпитера.

Астероиды — именно те небесные тела, на которых ученые рассчитывают найти вещество протопланетного облака, сохранившееся в практически первозданном виде. Рюгу — астероид класса С. Около 75 % всех астероидов Солнечной системы относятся к этому классу. Это очень древние образования, возрастом 4,5 млрд

Автор — Наталья Беспалова

и более лет. То есть они сформировались из протопланетного облака одними из первых. Химический состав астероидов класса С близок к составу Солнца, но отличается дефицитом летучих элементов — гелия и водорода.

Бенну относится к более редкому классу В. В целом такие небесные тела довольно близки к астероидам класса С. Как и первые, они богаты углеродом и имеют небольшой отражательный коэффициент. Но некоторые отличия в спектре поглощения указывают на отличия в химическом составе. На какие именно, как раз и помогут выяснить в деталях забранные пробы грунта. До сих пор изучение этого вопроса происходило либо дистанционно, с помощью спектрального анализа, либо на основе материала, который давали их осколки — хондритовые метеориты. Но эти последние, естественно, содержат в себе земные загрязнения. Кроме того, проходя через земную атмосферу, они испытывают на себе такое температурное воздействие, что это не может никак не сказаться на их структуре и минеральном составе. Пробы, привезенные непосредственно с астероида, должны дать гораздо больше информации о тонкостях их химического и минерального состава.

Надо сказать, именно в тонкостях кроются ответы на самые интересные вопросы. Как стало известно сравнительно недавно, уже самые древние из сохранившихся земных пород возрастом около 4 млрд лет содержат в себе останки бактерий. Бактерия, живая клетка, — это очень сложный, я бы сказала, запредельно сложный уровень развития органической химии. Воспроизводить процесс ее возникновения в химической лаборатории мы пока не умеем. Есть основания предполагать, что процесс этот был запущен еще в протопланетном облаке. Именно там могли возникнуть первые пребиотические системы, химические системы, способные проходить естественный отбор и самопроизвольно усложняться. Для таких процессов могут быть важны тончайшие нюансы химических и физических условий. Например, в ряде случаев, для того чтобы произошло усложнение, нужно присутствие веществ-стабилизаторов, сравнительно редких химических элементов. Тщательно изучив астероидное вещество в лаборатории, ученые смогут получить много новой информации о том, как возникают «кирпичики жизни» и приблизиться к разгадке тайны ее (жизни) возникновения. Возможно, даже смогут этот процесс воспроизвести.

БЕННУ

Миссия NASA отправилась к Бенну 8 сентября 2016 г. Космический аппарат носит имя Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security Regolith Explorer (OSIRIS-REx). В декабре 2018 г. он добрался до места назначения.

Планетка оказалась странная, с причудливыми фокусами гравитации. Баланс центростремительных и центробежных сил на бешено вращающемся Бенну очень хрупок. В астрономии есть такое

понятие — полость Роша. Французский астроном Эдуар Альбер Рош ввел ее для системы двойных звезд. Грубо говоря, она означает область, в которой собственное притяжение звезды гораздо существеннее, чем притяжению звезды-компаньонки. Но этот термин может быть применен шире. В отношении Бенну говорят о вращательной полости Роша, области, где векторы гравитационных сил распределены привычным для нас образом, перпендикулярно поверхности. Она так мала, что не охватывает астероид со всех сторон, а составляет лишь ограниченную область в районе экватора. Для наглядности исследователи предлагают представить, что, находясь на поверхности Бенну, вы поскользнетесь на банановой кожуре. Вам очень повезет, если такая неприятность случится в пределах полости Роша. В этом случае вы просто шлепнетесь на его поверхность. А вот за ее пределами все может кончиться куда печальнее. Вас понесет в направлении экватора, причем не исключено, что экватор вы с разгону проскочите, и вас вынесет на орбиту и дальше в космос. Мало того, похоже, что полость Роша на Бенну постоянно сужается. От такой жизни и так небольшой (0,56 км в диаметре) астероид постоянно теряет свое вещество, так что не исключено, что со временем проблема исходящей от него угрозы рассосется сама собой.

Отметив все эти странности, OSIRIS-REx приступил к поиску площадки для забора грунта. Задача оказалась очень непростая. Мало того, что гравитация выделяет фокусы, так еще и грунт оказался не таким, как предсказывали. Исходя из суточного изменения температуры, думали, что там повсюду песок, а оказалось — астероид покрыт крупными валунами, и с ровными посадочными



Аппарат OSIRIS-REx



Астероид Бенну постоянно теряет свое вещество

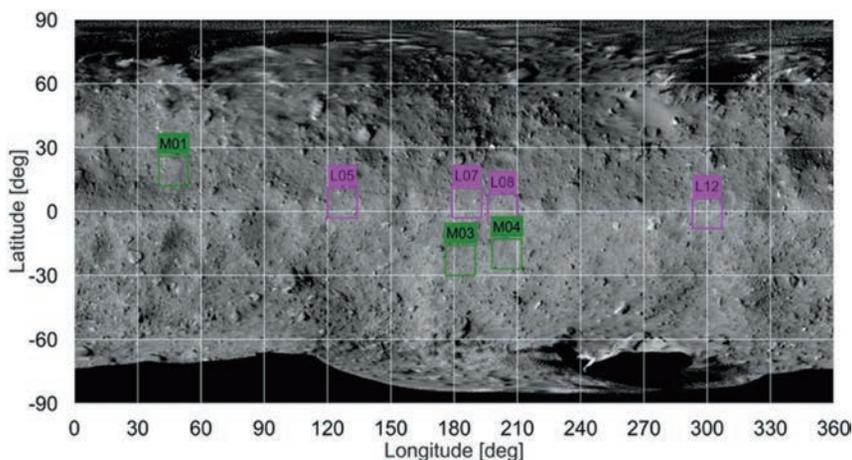
площадками, на которых можно легко забрать небольшую порцию грунта, на нем очень неважно. К середине лета 2019 г. выбрали четыре потенциальных места посадки, получили их детальные снимки. Всем четырем, как и всему астероиду, дали птичьи имена: Скопа, Кулик, Зимородок, Соловей. Но кто из них будет счастливым избранником, долго оставалось неясным. Сложности везде ожидали немалые. Выбранные для посадки пятячки все были крохотные, не более 20 м в ширину, хотя изначально рассчитывали на «аэродром» не меньше 150 м.

Наконец, после долгих колебаний, в качестве основного места посадки была выбрана область «Соловей», а область «Скопа» — в качестве резервной. Затем последовал еще ряд разведывательных полетов, каждый раз на меньшей высоте. 20 октября 2020 г. космический аппарат Osiris-Rex вплотную приблизился к намеченной площадке.

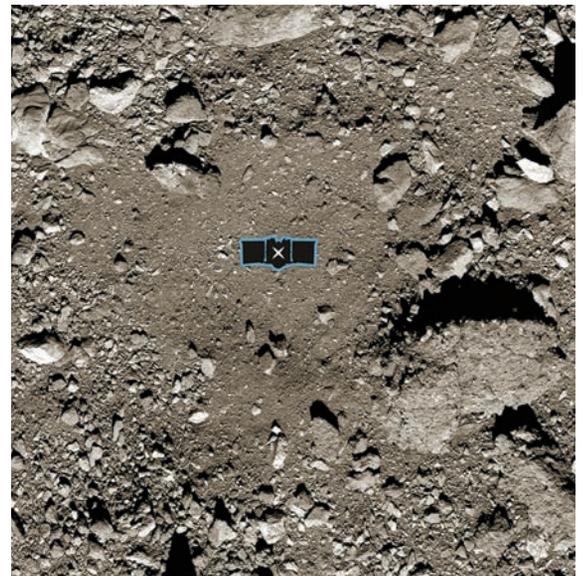
Операция не предполагала полноценной посадки на астероид. Процесс забора грунта проходил в автоматическом режиме, управлять им с Земли было невозможно, поскольку из-за большого расстояния (около 330 млн км) сигнал запаздывал на 18,5 минуты. Ученые опасались, удастся ли зонду забрать запланированные 60 г. Спустя два дня после операции на Земле были получены снимки коллектора проб. Он выглядел заполненным под завязку, астероидного вещества собрали сотни граммов. Контейнер погрузился в грунт глубже, чем рассчитывали, где-то на 48 см. Это не так хорошо, как может показаться на первый взгляд. Материала оказалось даже слишком много, так что контейнер не закрывался как следует. В связи с этим программу миссии решили изменить, так как любое лишнее перемещение могло привести к потере уже собранного астероидного вещества. Перенос проб в возвращаемую капсулу планировался на начало ноября, но его провели в срочном порядке. 29 октября NASA сообщило, что капсула приняла грунт с небольшими потерями, успешно запечатана и ждет отправки на Землю. Ближайшее окно, для того чтобы начать обратный путь, приходится на март 2021 г. Возвращение миссии ожидается в сентябре 2023 г.

РЮГУ

За изучение астероида Рюгу взялись японцы. Миссия «Хаябуса-2» является частью большой программы по изучению астероидов. Ее предшественница «Хаябуса-1» вернулась с астероида класса S Итокава в 2010 г. Он стал первым астероидом, с которого на Землю были доставлены образцы грунта. «Хаябуса-2», сбросив возвратную капсулу, не собирается уходить на покой, а направляется к новой цели.



Рюгу. На фото отмечены точки — кандидаты на место соприкосновения. Была выбрана точка L08



Область «Соловей»

Миссия стартовала с японского космодрома Танэгасима в декабре 2014 г., сближение с астероидом произошло в конце июня 2018 г. В первой половине июня зонд изучал поверхность астероида с расстояния примерно 20 км. Потом начал постепенно снижаться, чтобы высадить «пассажиров». В сентябре-октябре высадка трех роверов состоялась, и на Землю были переданы первые снимки с поверхности.

Два контейнера с роверами были сброшены 21 сентября 2018 г. с высоты 55 м. Поскольку гравитация на Рюгу очень невелика, свободное падение с такой высоты им не повредило. Обе машины относятся к серии MINERVA (Micro Nano Experimental Robot Vehicle for Asteroid). Они довольно миниатюрны, масса каждой составляет 1,1 кг, имеют форму цилиндра 18 см в диаметре и 7 см в высоту. Малый вес в условиях слабой гравитации позволил выбрать для них необычный способ передвижения. У роверов нет ни колес, ни гусениц, и они перемещаются с места на место прыжками, используя вращательный момент скрытого в корпусе механизма. При этом один-единственный прыжок может покрывать расстояние до 15 м. Снимки, переданные на Землю в день высадки, были сделаны в прыжке, отчего оказались смазанными.

3 октября «Хаябуса-2» высадила на Рюгу третий исследовательский аппарат, созданный аэрокосмическим центром Германии с участием Франции. Он носит название MASCOТ (Mobile Asteroid Surface Scout). MASCOТ несколько крупнее своих предшественников (масса 9,6 кг, размеры 29,5 см × 27,5 см × 19,5 см), но тоже передвигается прыжками.

Однако забор грунта осуществлялся не роверами, а непосредственно орбитальным аппаратом «Хаябуса-2», который вошел в соприкосновение с поверхностью 22 февраля 2019 г. При выборе площадки учитывался целый ряд факторов. Точка соприкосновения должна быть достаточно освещена Солнцем, чтобы обеспечить нормальную работу солнечных панелей, и в то же время поверхность не должна быть разогрета слиш-



Участок, выбранный для забора грунта

ностью автоматизированном маневре его точность не слишком велика. Следовательно, надо позаботиться о том, чтобы промах на десяток-другой метров не привел к неудаче.

С нужным количеством солнечной радиации особых проблем не возникло, а вот с ровными площадками на Рюгу, как и на Бенну, оказалось неважно. Пришлось даже вносить усовершенствование в навигационную систему. Изначально она предусматривала погрешность в 50 м. Но найти, как планировали, стометровую ровную площадку не получилось. Тогда стали вводить более точные методы навигации, добились погрешности в 15 м, принялись искать тридцатиметровую площадку и снова не преуспели. Финальный вариант навигационной системы давал погрешность всего 2,7 м и для него нашли площадку 6 м в диаметре, где не было валунов более 50 см в высоту. Зонд забрал грунт с поверхности и вернулся на околоастероидную орбиту, чтобы подготовиться к следующему этапу операции. Теперь предстояло добыть вещество из более глубоких слоев.

Для того чтобы добраться до пород, скрытых под поверхностью использовали не бурение, а решили создать небольшой искусственный кратер. Выбранный участок сначала тщательно засняли. Затем в поверхность астероида выстрелили с высоты 500 метров и тщательно проверили, какие изменения произошли с пейзажем. Выстрел был произведен 5 апреля 2019 г., а 11 июля зонд «Хаябуса-2» повторно сел на астероид в 20 метрах от кратера, который образовался при сбросе бомбы с аппарата, чтобы собрать обломки грунта и отвезти их на Землю. 13 ноября 2019 г. аппарат сошел с орбиты астероида и отправился в обратный путь, который занял гораздо меньше времени, чем дорога к Рюгу. 5 декабря 2020 г. капсула с грунтом успешно приземлилась. Сейчас образцы уже находится в лаборатории. Вскрыв внешний контейнер, ученые обнаружили частицы сажистого вещества, размером с песчинки. Во внутреннем контейнере, кроме черного астероидного песка, имеются еще и более крупные гранулы. И (большая удача) «Хаябуса-2» умудрилась захватить образцы газа, очевидно, образовавшегося в ходе каких-то геологических процессов на астероиде.



Фото поверхности, сделанное «Хаябусой-2» через минуту после забора грунта

ЛУНА

24 ноября 2020 г. с китайского космодрома Вэньчан стартовала очередная лунная миссия. Космический аппарат «Чаньэ-5» отправился к Луне, чтобы забрать около 2 кг лунного грунта и вернуться с этим грузом. Забор грунта произошел 1 декабря. 6 декабря восходящий аппарат миссии автоматически состыковался с кораблем, возвращающим образцы с орбиты Луны. Контейнер с лунным веществом был перенесен с восходящего устройства на транспортное средство для возврата на Землю. Чуть больше недели «Чаньэ-5» продолжала вращаться вокруг Луны, ожидая подходящего окна. 14 декабря аппарат начал свой путь на Землю, который благополучно завершился 16 декабря.

Впервые вещество с поверхности Луны было доставлено на Землю в 1969 г. американскими астронавтами на борту корабля «Аполлон-11». Тогда его привезли 21,7 кг. В ходе всей миссии «Аполлона» земные лаборатории получили в свое распоряжение 382 кг.

В сентябре 1970 г. советская автоматическая станция «Луна-16» также доставила на Землю 101 кг лунного грунта. Всего советские миссии добыли 324 кг. Последняя партия — в августе 1976 г. (миссия «Луна-24»). С тех пор лунный грунт на Землю не доставляли ни разу. Изучение нашего естественного спутника перешло в вялотекущую фазу, которая, похоже, завершилась в связи с появлением на этом поле нового игрока.

Успехи лунной программы Китайской народной республики, безусловно, впечатляют. Миссия КНР «Чаньэ-3» начала работу в Море



Капсула с грунтом Рюгу

ком сильно. Высокая температура могла повлечь за собой неисправности аппаратуры. Нужно было выбрать площадку без крупных валунов, и она должна была быть достаточно обширна. При пол-



Пик Рюмкера

Дождей в декабре 2013 г., что положило конец сорокалетней паузе в истории лунной гонки. Она завершилась в августе 2016 г. Следующая миссия — «Чанъэ-4» — стала первым земным аппаратом, прилунившимся на обратной стороне нашего спутника. Миссия включает стационарную станцию и ровер «Юйту-2». С ее помощью провели ряд интереснейших геологических исследований, обнаружили частицы мантийного вещества и ударного стекла на лунной поверхности.

Также на борту «Чанъэ-4» провели биологический эксперимент. Там находится замкнутый контейнер с семенами хлопчатника, рапса, картофеля, резуховидки. Туда же поместили яйца дрожифилы и дрожжевые грибки. Камера была снабжена системой контроля тепла, поддерживающей температуру 25 градусов Цельсия. Сразу после прилунения семена были политы водой. В результате было зафиксировано прорастание одного из семян хлопка. Продолжения эксперимент не получил, поскольку при переводе модуля в спящий режим питание контейнера отключили.

И вот теперь — забор грунта и доставка его на Землю.

Задача, которую поставили китайцы, не сводится к тому, чтобы просто добыть свои собственные два килограмма лунного грунта, она шире. Во времена первых «Аполлонов» любой лунный грунт был исключительной ценностью, а его доставка невиданным успехом. Поэтому место посадки выбирали, исходя в основном из соображений ее безопасности. Геологические особенности района оценивались прежде всего с точки зрения рельефа. Во время последних пилотируемых миссий уже стремились заполучить древние породы, чтобы составить более полное представление о возрасте и происхождении нашего спутника. Китайцы же взяли добыть молодые породы. Для этого выбрали регион гор в северо-западной части видимой стороны Луны, хранящий следы бурной вулканической деятельности.

На сегодняшний день всякая геологическая активность на Луне отсутствует. Движение тектонических плит прекратилось там более трех миллиардов лет назад, но вулканическая деятельность продолжалась гораздо дольше. Есть даже не до конца проверенные гипотезы, что действующие вулканы существовали на нашем спутнике всего сотни, а то и десятки миллионов лет назад. Но достоверная дата наиболее молодого лунного вулканизма — 1,5 млрд лет. Для забора грунта выбрали регион с его отчетливыми следами.



Спускаемый модуль «Чанъэ-5»

Самый заметный геологический объект на местности — пик Рюмкера представляет собой щитовой вулкан до 70 км в поперечнике и высотой 1,3 км. Для посадки выбрали местность на равнине северо-восточнее пика, покрытой молодым вулканическим грунтом.

Возраст поверхности небесного тела чаще определяют по количеству на ней кратеров. После первого бурного миллиарда лет существования Солнечной системы интенсивность метеоритной бомбардировки в большом временном масштабе — величина более-менее постоянная. Следовательно, если на поверхности мало кратеров, значит, она новенькая, и кратеры просто не успели образоваться. Именно так определяли возраст равнины в районе пика Рюмкера. Но, заполучив вулканический грунт, ученые надеются разработать более надежный и точный метод датировки с помощью изотопного анализа. Также это исследование даст дополнительную информацию о лунном ядре, о силе магнитного поля, о вулканизме и в целом эволюции нашего естественного спутника.

