



Е. Рыжков.
«Новости космонавтики»

«Хаябуса-2»: визит к Рюгу

27 июня JAXA зафиксировало прибытие японского межпланетного зонда «Хаябуса-2» (はやぶさ2, Hayabusa 2) в непосредственные окрестности астероида Рюгу (リュウグウ, 162173 Ryugu).

В пресс-релизе Японского аэрокосмического агентства, как всегда обстоятельно и аккуратно, было указано, что эта операция планировалась в период с 07:00 до 15:00 по японскому времени JST, то есть с 22:00 до 06:00 UTC. «Хаябуса-2» была отправлена программа работы с включением малых ЖРД для выдачи импульса TCM10 величиной 29 мм/с вдоль оси Z. Аппарат исполнил соответствующую команду в 09:35 бортового времени, а в 09:51 JST по сдвигу частоты принимаемого радиосигнала операторы увидели приращение скорости, близкое к расчетному.

По полученным от зонда данным JAXA установило:

- ♦ работа бортовых ЖРД прошла планово;
- ♦ расстояние до астероида Рюгу близко к 20 км;
- ♦ «Хаябуса-2» удается поддерживать это расстояние;
- ♦ аппарат работает в штатном режиме.

Итак, этап перелета к цели завершен, и «Хаябуса-2» приступает к выполнению программы исследований астероида класса С. Главная задача КА состоит в доставке на Землю образцов его вещества.

Отметим, что «Хаябуса-2» – это один из трех реализуемых проектов по доставке образцов вещества астероида. Пионером в этой области была первая «Хаябуса» (проект успешно завершен, но доставлены лишь считанные пылинки), 3 декабря 2014 г. в полет отправилась «Хаябуса-2» (НК № 2, 2015, с.9-17), а в сентябре 2017 г. – американский аппарат OSIRIS-REx, решающий данную задачу впервые в практике США и в настоящий момент движущейся в направлении астероида класса В под названием Бенну (НК № 11, 2017, с.62-63).

На конкурс ЕКА по программе Cosmic Vision, миссия МЗ, представлялся проект MarcoPolo-R, предусматривавший доставку грунта с астероида 2008 EV5 класса С, однако в феврале 2014 г. ЕКА предпочло ему проект Plato по поиску экзопланет.

На октябрь 2022 г. запланирован уникальный эксперимент по ударному воздействию на двойной астероид Дидим класса Хк, который осуществит американский аппарат DART (Double Asteroid Redirection Test).

ЕКА планирует дополнить его последующей миссией AIDA (Asteroid Impact and Deflection Assessment), в ходе которой европейский КА Hera пройдет вблизи Дидима в 2025 г. и изучит астероид как таковой и последствия нанесенного удара.

Космическая одиссея

С целью выхода к астероиду Рюгу «Хаябуса-2» совершил 3 декабря 2015 г. гравитационный маневр в поле тяготения Земли (НК № 3, 2016, с.58). О полученном при этом изменении параметров гелиоцентрической орбиты КА можно судить по таблице 1.

В период с 22 марта по 21 мая 2016 г. «Хаябуса-2» произвел первый этап разгона на ионных двигателях с целью сближения с Рюгу. В отличие от полета под тягой по пути от Земли к Земле, на этот раз задействовались не два, а три двигателя тягой по 10 мН из четырех – к ионникам А и D добавился С. За 798 часов их работы было получено приращение скорости 127 м/с.

Табл. 1. Эволюция параметров орбиты КА «Хаябуса-2»

Дата	Параметры гелиоцентрической орбиты			
	i	Вр, а.е.	Ра, а.е.	Р, сут
15.12.2014	6.82°	0.914	1.089	366.3
01.01.2016	5.95°	0.945	1.304	435.5
01.07.2016	5.91°	0.936	1.293	429.7
01.07.2017	5.89°	0.946	1.360	452.2
01.07.2018	5.88°	0.963	1.416	473.9

В июне и июле проводились совместные испытания каналов связи с американскими и европейскими станциями дальней связи. В середине июля европейские специалисты провели тестирование и оценку состояния посадочного аппарата MASCOT. С августа по октябрь был проведен эксперимент по ориентации КА в режиме солнечного паруса.

Второй этап разгона продолжался с 22 ноября 2016 г. по 26 апреля 2017 г. Три двигателя отработали 2593 часа и обеспечили приращение скорости 435 м/с.

В апреле 2017 г. навигационная камера ONC-T использовалась для поиска малых астероидов-троянец в районе точки либрации L5 системы Солнце–Земля.

10 января 2018 г. «Хаябуса-2» включил ионные двигатели еще раз – сначала два, а с конца февраля – три. Они проработали 2475 часов и были отключены 3 июня в 14:59 JST по бортовому времени, придав КА дополнительную скорость в 393 м/с. За все время путешествия приращение скорости зонда составило примерно 1015 м/с. На это

было израсходовано 24 кг ксенона, и еще 42 кг осталось на обратный путь. По сравнению с первым «Хаябусой», благодаря учетным ошибкам, среднее время непрерывной работы двигателей увеличилось с 376 до 1629 часов, причем тяга прерывалась всего четыре раза.

26 февраля «Хаябусу-2» развернули в направлении астероида, и навигационная камера ONC-T на протяжении девяти часов сделала около 300 снимков. На следующий день на Землю было передано девять из них, что позволило увидеть Рюгу, заметить его смещение среди звезд и определить звездную величину (блеск) в 9^m. Расстояние до цели в этот день составляло 1.3 млн км, относительная скорость была еще очень велика – 560 м/с.

11 мая, когда расстояние сократилось до 67 000 км, а скорость снизилась до 64 м/с, ионные движки приостановили свою работу для съемки Рюгу с помощью звездного датчика. 12–14 мая КА трижды с интервалами около суток провел фотографирование астероида, блеск которого достиг 5^m. За три часа каждого сеанса специалисты получили по три изображения. Полученные данные позволили определить местоположение астероида относительно «Хаябусы».

По наземным данным положение Рюгу прогнозировалось лишь с точностью 220 км, а аппарату нужно было прийти в заданную точку над ним с ошибкой не более 1 км, так что сочетание радиотехнических методов определения положения КА и оптических наблюдений цели было насущной необходимостью. По итогам первой съемки ошибка определения положения Рюгу снизилась до 130 км. Заключительный импульс ионными двигателями был спланирован с учетом новых данных.

3 июня 2018 г. стартовал этап окончательного сближения с дистанции 3100 км при остаточной скорости 2.3 м/с. Началась

Комментируя прибытие к Рюгу, руководитель проекта Юити Цуда из Института космических и астронавтических наук ISAS рассказал, что на «Хаябусе-2» для определения положения аппарата в границах Солнечной системы используется режим навигационных измерений Delta-DOR. При возвращении к Земле для гравитационного маневра она позволила попасть в зону размером 200–300 м: «Была достигнута такая точность, как если бы из Токио на вершине горы Фудзи была распознана блоха».

Табл. 2. Подлетные коррекции КА «Хаябуса-2»

Номер	Дата и время, JST	Расстояние, км	Приращение скорости, м/с	Скорость, м/с
TSM01	08.06.2018, 12:30-13:40	1900	0.28	2.35
TSM02	11.06.2018, 09:30-10:40	1320	0.29	2.13
TSM03	14.06.2018, 12:40-13:50	750	0.40	1.74
TSM04	16.06.2018, 09:30-10:40	470	0.45	1.31
TSM05	18.06.2018, 11:00-12:10	220	0.62	0.71
TSM06	20.06.2018, 12:40-13:50	110	0.35	0.38
TSM07	22.06.2018, 09:30-10:40	45	0.31	0.09
TSM08	24.06.2018, 09:30-09:40	38	0.02	0.08
TSM09	26.06.2018, 10:10-10:20	23	0.10	0.02
TSM10	27.06.2018, 09:30-09:35	20.7	0.029	0.01

«гибридная» (оптическая и радиометрическая) навигация: 5 июня и в последующие дни Рюгу регулярно снимали телескопической и широкоугольной камерами ONC-T и ONC-W1.

6 июня были успешно включены два научных прибора – лидар и спектрометр ближнего ИК-излучения NIRS3. Из-за большой удаленности лидар пока не мог определить расстояние до астероида. 7 июня космический зонд провел ИК-съемку цели камерой TIR с измерением кривой блеска и поиск потенциальных спутников Рюгу, которые могли бы представлять опасность в ходе сближения. Объектов размером более 50 см найдено не было.

8 июня в 12:30-13:40 с помощью бортовых ЖРД (всего их 12) была проведена первая подлетная коррекция TSM01 с $\Delta v = 0.28$ м/с. Расстояние до цели составило 1900 км, относительная скорость – 2.35 м/с.

10 июня камера ONC-T сняла астероид с расстояния 1500 км. Он заметно сместился относительно звезд фона и вырос в размерах до 5–6 пикселей.

Вторую коррекцию с приращением скорости 0.29 м/с провели 11 июня на дальности 1320 км. После TSM02 астероид находился уже не сбоку, а точно по вектору скорости.

Семь последующих коррекций проводились с двухсуточными интервалами с 14 по 26 июня (см. таблицу 2).

13 июня оптическая камера ONC-T сделала снимок астероида с расстояния 920 км с разрешением до 10 пикселей. Блеск Рюгу вырос до -6.6^m .

В ночь на 15 июня с дальности от 700 до 650 км провели многочасовую съемку с по-

Год	Дата	Операция
2018	10 января	Начало третьего этапа работы ионных двигателей
	3 июня	Завершение работы ионных двигателей
	3 июня	Начало сближения с астероидом (с 3100 км)
	27 июня	Прибытие к астероиду (в точку 20 км от Рюгу)
	Конец июля	Первая фаза наблюдений со средней высоты (с 5 км)
	Август	Свободное падение до высоты 1 км для измерения гравитации астероида
	Сентябрь–октябрь	Первая посадка (забор образцов)
	Сентябрь–октябрь	Первая фаза сброса поверхностных зондов (часть роверов MINERVA II и/или посадочный аппарат MASCOT)
	Ноябрь–декабрь	Соединение с Солнцем (отсутствие связи)
	2019	Январь
Февраль		Вторая посадка
Март–апрель/март		Формирование кратера (выброс импактора SCI для создания лунки с целью получения подповерхностного материала)
Апрель–май		Третья посадка
Июль		Вторая фаза сброса поверхностных зондов
Август–ноябрь		Нахождение вблизи астероида
Ноябрь–декабрь		Отлет от Рюгу
«Хаябуса-2» вступила в активную и самую животрепещущую фазу своего существования. Остается только следить за развитием событий и ждать возвращения зонда на Землю.		

мощью ONC-T. В серии из 52 снимков впервые стала видна форма Рюгу: астероид диаметром около 0.9 км отчетливо напоминал огранный алмаз!

20 июня на расстоянии 90 км «Хаябуса-2» вошел в сферу действия астероида, где его гравитация преобладала над внешними возмущениями. 22 июня на отметке 45 км он резко затормозил и стал «подкрадываться» со скоростью менее 10 см/с.

23 июня с дистанции 40 км начались почти постоянные съемки Рюгу. Изображение астероида увеличилось до 400 пикселей, и снимки теперь показывали не только общую форму, но и кратеры и крупные камни на поверхности. Выяснилось, что «японский» астероид имеет коэффициент отражения 0.05.

26 июня на дистанции 22.4 км бортовой лидар впервые получил ответный сигнал от цели: появились измерения текущей дальности.

27 июня зонд провел коррекцию TSM10 и перешел в зависание на расстоянии 20.7 км от цели.

К 11 июля составлена предварительная 3D-модель астероида. Интересно, что разработка моделей в Университете Айдзу и Университете Кобэ велась двумя путями, но на основе одних и тех же фотографий. Первый способ подразумевал использование одного из методов стереоскопии – Structure-from-Motion, то есть структура из движения.



▲ Фото Рюгу от 26 июня 2018 г.

Он сейчас довольно часто используется для формирования форм таких объектов, как здания, сооружения, а также рельефа местности по результатам аэрофотосъемки с популярных в наши дни дронов. Второй способ – стереофотокинематрия – применялся в проекте первой «Хаябусы» для понимания формы астероида Итокава. В целом две модели дали одинаковую картину формы астероида Рюгу и воспроизвели впадины, похожие на кратеры, и горные образования.

Как сообщил руководитель проекта Юити Цуда, межпланетный «самурай» в ближайшие два месяца будет заниматься изучением рельефа и состава поверхности астероида и уточнением трехмерной карты Рюгу. Далее КА пустится в свободное падение и по скорости его определит силу гравитации и массу астероида.

В сентябре или октябре «Хаябуса-2» совершит посадку на астероид и определит зоны «выпуска» всех четырех роверов для сбора образцов грунта. Позднее будет проведено еще две посадки. Как и в предыдущем проекте, в астероидное тело будут пускаться «снаряды», однако теперь форма

4 июля появилась новость, которая, по всей вероятности, заинтригует меломанов. 70-летний гитарист британской рок-группы Queen Брайан Мэй (Brian H. May), являющийся «по совместительству» доктором в области астрофизики, на основе снимков камеры ONC-T построил стереоскопическое изображение астероида Рюгу.

А еще Брайан Мэй озабочен проблемами «планетарной защиты» и является центральной фигурой инициативы по учреждению Дня астероида (Asteroid Day), который начиная с 2015 г. отмечается 30 июня.



кончика устройства для забора грунта имитирует шестеренку, поэтому маленькие камешки или песчинки смогут зацепиться – и эффективность забора возрастет.

Юити Цуда объясняет значимость подобных исследований: это совершенствование технологий доставки образцов с внеземных тел на нашу планету, исследования в области планетологии, использование астероидных ресурсов в будущем, поиск способов защиты от столкновений с астероидами – изменение их орбит, разрушение малых небесных тел (японские специалисты надеются, что импакторы зонда внесут посильный вклад в эту тему) и т.п.

Японское агентство, не останавливаясь на достигнутом, уже приняло решение замахнуться на аппарат для доставки грунта с марсианских лун – MMX (Martian Moons eXploration), который в данный момент времени планируется запустить в сентябре 2024 г. Судя по всему, девиз японцев в XXI веке: «Дальше – интереснее!»

Космическая манга

Для популяризации зонда Японское агентство выпустило ряд комиксов («манга»). В центре сюжетов представлена вторая программа Японии по добыче грунта с астероида и следование зонда к заветной цели:

- ◆ «Первые наблюдения Рюгу» (номер от 20.03.2018);
- ◆ «Ионные двигатели не сблизил с правильной пути» (от 19.06.2018);
- ◆ «Навигация методами радиотехники и оптических систем» (от 22.06.2018).

