Вісник Астрономічної школи / Astronomical School's Report

ISSN 1607–2855

Том 10 • № 1 • 2014 С. 31 – 36

УДК 523.6

Сближение космического аппарата Розетта с ядром кометы 67P/Чурюмова–Герасименко — первые научные результаты

К.И. Чурюмов

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

Представлены первые результаты исследования ядра кометы Чурюмова–Герасименко космическим аппаратом Розеттой.

ЗБЛИЖЕННЯ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ РОЗЕТТА З ЯДРОМ КОМЕТИ 67P/ЧУРЮМОВА–ГЕРАСИМЕНКО — ПЕРШІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ, Чурюмов К.І. — Представлено перші результати дослідження ядра комети Чурюмова–Герасименко космічним апаратом Розеттою.

APPROACH OF SPACECRAFT ROSETTA WITH COMET 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO NUCLEUS — THE FIRST SCIENTIFIC RESULTS, by Churyumov K.I. — The first results of the study of the nucleus of comet Churyumov–Gerasimenko by Rosetta spacecraft are presented.

Ключевые слова: комета Чурюмова–Герасименко; миссия “Розетта”.

Key words: comet Churyumov–Gerasimenko; Rosetta mission.

После 957 дней полета в спящем режиме космический аппарат Розетта был успешно выведен из «спячки» 20 января 2014 года, и после визуального обнаружения кометы и расчетов предварительной траектории сближения, аппарат стал приближаться к точке «свидания» с ядром кометы, которой он достиг в августе этого года. Одни из первых изображений кометы 67P/Чурюмова–Герасименко были получены 20 и 21 марта при помощи широкоугольной и узкоугольной камер инструмента Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System (OSIRIS). В это время аппарат и комету 67P разделяло расстояние в пять миллионов километров, и для получения четких снимков потребовалась съемка с выдержками от 60 до 300 секунд.

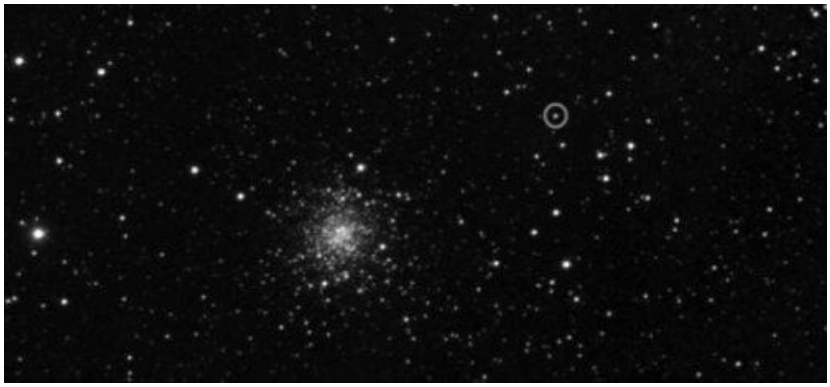

Рис. 1. 20 марта 2014 г. Безатмосферная комета 67P/Чурюмова–Герасименко

Рис. 2. 30 апреля 2014 г. Образование комы у кометы 67P/Чурюмова–Герасименко

На фото, полученном Осирисом 20 марта этого года, в кружке видно звездообразное изображение кометы, так как на таком расстоянии от Солнца, кометное ядро получает недостаточное количество тепла, чтобы вокруг него начала образовываться атмосфера. Однако если на поверхности ядра кометы имеются участки со льдом угарного газа CO, то такой лед может сублимировать на расстояниях в 4 а.е. и больше. Удивительно, что уже на изображении кометы 67P/Чурюмова–Герасименко полученное по данным наблюдений путем сложения серии 10-минутных экспозиций, полученных 30 апреля 2014 с узкоугольной камерой OSIRIS появилась протяженная атмосфера (кома), простирающаяся на расстояние 1300 км в противоположную сторону от Солнца. На снимках же, полученных Розеттой в начале июля, временная атмосфера у кометы исчезла и она вновь приобрела звездообразный вид. Неплохо, что временная атмосфера исчезла, — это будет благоприятствовать посадке модуля Филы на безатмосферное ядро кометы. Но атмосфера может появиться вновь, так как ее новое неожиданное появление предска-

зать трудно. Явно, что в конце апреля 2014 г. произошла вспышка блеска кометы. А какова ее причина, пока неясно.

В июне 2014 г. с помощью масс-спектрометра Модулус Птолемей был зафиксировано наличие водяного пара и других молекул вблизи ядра кометы (рис. 3). Объем выброса водяных паров не превышал 300 миллилитров в секунду, т.е. около 26 тонн в сутки. Но этого пока недостаточно, чтобы образовать вокруг ядра заметную атмосферу, насыщенную пылевыми частицами. Но и сама комета находилась достаточно далеко от Солнца, чтобы началась более интенсивная сублимация водяного льда из ее ядра.

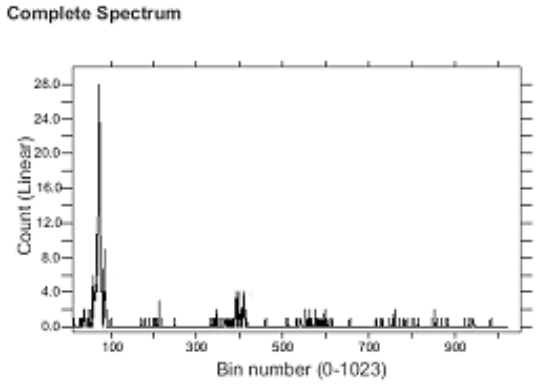

Рис. 3. Спектр кометы 67P, полученный масс-спектрометром Модулус Птолемей

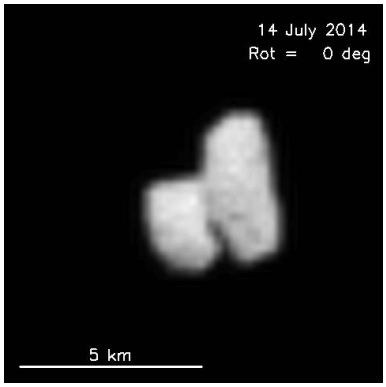

Рис. 4. Снимок двойного ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, полученный Осирисом Розетты 14 июля 2014 г.

На серии снимков 11 июля хорошо видна двойная структура вращающегося с периодом 12,4 часа ядра кометы. По первому впечатлению предполагалось, что мы имеем дело с отдельными двумя ядрами кометы, вращающимися вокруг общего центра масс, или с тесной двойной контактной структурой, вращающейся как единое целое.

Это казалось невероятным, поскольку модель формы ядра этой кометы на основании наблюдений с Земли и с помощью телескопа Хаббла не прогнозировало бинарную структуру.

После десятилетней одиссеи 6 августа 2014 года космический аппарат Розетта приблизился на расстояние около 100 км к своей главной цели — к ядру короткопериодической кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, принадлежащей кометному семейству Юпитера. Начался этап, который назвали этапом рандеву или встречи Розетты с ядром кометы 67P. 11 научных приборов на орбитальном модуле Розетты и 10 на посадочном модуле Филы были расчехлены и приведены в готовность к наблюдениям ядра и околоядерной области кометы сразу же после пробуждения Розетты 20 января 2014 г. Комета 67P/Чурюмова–Герасименко и КА Розетта находились в этот момент на расстоянии 2,7 а.е. от Земли, и на расстоянии 3,6 а.е. от Солнца, т.е. примерно на одинаковых расстояниях от планет Юпитера и Марса, и двигались со скоростью около 55 000 км/ч.

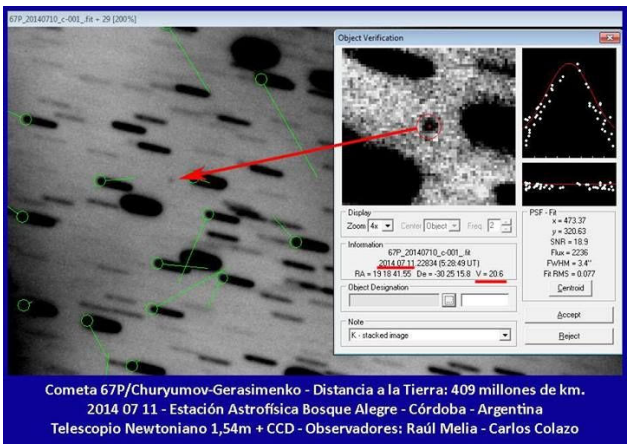

Рис. 5. Комета 67P/Чурюмова–Герасименко 11 июля 2014 г. Блеск кометы $V = 20.6^m$

Блеск кометы в этот момент составлял $19{,}6^m$, и многие профессионалы и любители, особенно южного полушария Земли, провели успешные ее наблюдения, о чем регулярно сообщали автору статьи по интернету. Ряд изображений кометы, по наблюдениям в июне–августе 2014 г. автор получил от любителей Бельгии, Австралии, Аргентины и других стран. Одно из изображений кометы 67P, полученное 11 июля 2014 г. мне прислали из Кордобы (Аргентина) наблюдатели Рауль Мелиа и Карлос Колаццо. С 7 мая по 6 августа 2014 г. Розетта совершила 10 навигационных маневров с кратковременным включением реактивных двигателей с целью погасить ее скорость относительно ядра кометы с 775 м/сек до 1 м/сек.

Каждый из этих маневров был критическим: незначительные ошибки могли бы сделать свершившееся свидание Розетты с ядром кометы 6 августа невозможным.

6 августа начался этап постепенного перехода Розетты на орбиту спутника ядра кометы 67P. С этой целью в 9:00 UTC на 6 минут 26 сек был включен реактивный двигатель и Розетта в течение последующих 6 недель совершила две трехугольные траектории вблизи ядра кометы — первую траекторию на расстоянии 100 км, вторую на расстоянии 50 км, а затем перешла на более тесную круговую орбиту вокруг ядра кометы 67P радиусом 30 км, с последующим уменьшением радиуса в зависимости от активности кометы. В этот период началось детальное сканирование поверхности ядра кометы с целью выбора на нем пяти наиболее плоских площадок, на одну из которых 12 ноября на ядро кометы будет посажен модуль Филы. Детальное сканирование всего рельефа поверхности ядра позволит впервые в мире создать глобус ядра кометы.

Гипотеза о двойном ядре кометы 67P/Чурюмова–Герасименко по наблюдениям Розетты в июле 2014 г. была опровергнута дальнейшими наблюдениями с Розетты при ее сближении с ядром в августе 2014 г. На этих снимках стало четко видно, что ядро монолитное и имеет удивительно сложную форму. Изображение, полученное 3 августа с расстояния 285 км, напоминает по форме башмак (рис. 6)

6 августа с расстояния 130 км узкоугольной камерой Осирис получен детальный снимок удивительного рельефа ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко. Изображение четко демонстрирует наличие разнообразных структур, включая валуны, кратеры, крутые стены и скалы, гладкие равнины и др. (рис. 7).

Продолжающиеся маневры Розетты и ее облет вокруг ядра привело к уменьшению радиуса орбиты в отдельных случаях до 9,7 км, что было сделано с целью детального фотографирования всей поверхности

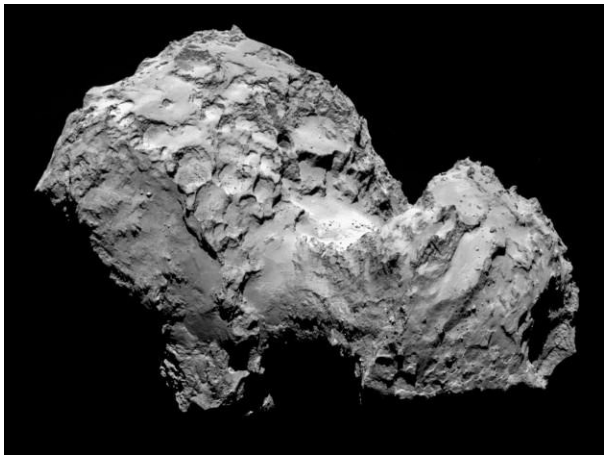

Рис. 6. Ядро кометы 67P/Чурюмова–Герасименко 3 августа 2014 г. Модный «башмак».

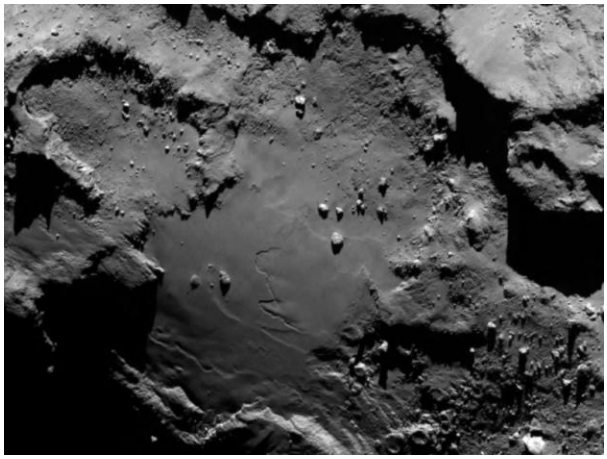

Рис. 7. Детальный рельеф одной из областей ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко (Розетта)

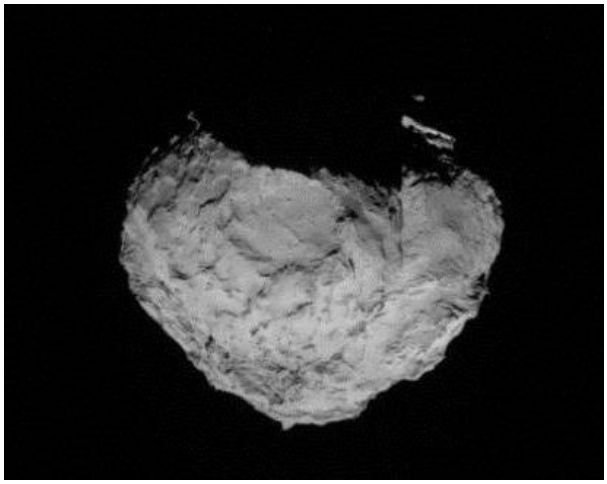

Рис. 8. Ядро кометы 67P с расстояния 100 км 14 августа — «макитра»

Рис. 9. Мозаичное изображение ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, составленное из четырех фрагментов ядра, снятых в течение 20 минут 19 сентября 2014 г. с расстояния 28,6 км. Напоминает двухголового монстра — левая часть напоминает голову льва с гривой, а правая — голову обезьяны.

ядра и особенно тщательного мониторинга двух выбранных основных мест посадки лендера Филы.

На рис. 9 представлено изображение ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко как суммарное мозаичное изображение всего ядра, составленное из четырех отдельных изображений частей ядра, последовательно полученных навигационной камерой NAVCAM в течение 20 минут 19 сентября 2014 г. с расстояния 28,6 км.

В настоящее время Розетта совершает сложные навигационные маневры в преддверии отделения от нее посадочного модуля Филы 12 ноября 2014 г. 1 октября 2014 года Розетта находилась на орбите на расстоянии около 19 км от кометы 67P/Чурюмова–Герасименко (все расстояния относятся к центру ядра кометы). 8 октября Розетта приблизилась к ядру на расстояние 16,9 км. Важный навигационный маневр был совершен в середине октября когда радиус орбиты Розетты составил около 10 км. А 15 октября оказалась уже на расстоянии от ядра в 9,9 км.

В день посадки, 12 ноября, Rosetta совершит решающий маневр за 2–3 часа до отделения от нее модуля Филы, чтобы перейти на 22,5 километровую орбиту вокруг ядра кометы, с целью повернуться модулем Филы к его посадочной площадке J на ядре (рис. 10). Тогда будет отправлена команда на отделение Филы, которое должно произойти в 10 часов 35 минут по киевскому времени. После отделения модуля начнется его семичасовой спуск на ядро. Так как время прохождения сигнала от Розетты до Земли составляет 28 мин. 20 с, то об историческом событии в космосе — о факте «прикометения» модуля Филы — станет известно в Украине примерно в 18 час 00 мин. по киевскому времени.

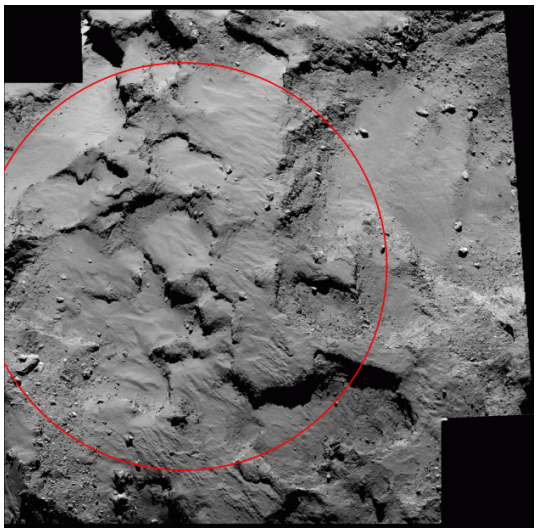

Рис. 10. Кольцевой район на ядре кометы 67P/Чурюмова–Герасименко в области J, в центре которого находится относительно ровная площадка, на которую должен быть посажен модуль Филы. Это изображение было получено узкоугольной камерой НАВКАМ ОСИРИСА с орбитального модуля Розетты 14 сентября 2014 г. с расстояния 30 км. Кольцевой участок имеет радиус 500 м. Автором было предложено назвать этот район в честь города Киева.

Если же возникнет внештатная небезопасная ситуация, то будет немедленно принято решение о прикометении Филы на запасной аэродром, т.е. на на площадку C. Тогда разделение аппарата Розетта и научного модуля Филы будет произведено в 15 час 04 мин киевского времени с расстояния 12,5 км от центра ядра кометы, а само «прикометение» совершится после 4-часового баллистического спуска. Сигнал о совершении посадки Филы на ядро в этом случае прийдет в Украину и другие страны примерно в 18 час 30 мин 12 ноября 2014 года по киевскому времени.

После этого Розетта сделает еще один навигационный маневр, чтобы поддерживать прямую видимость с посадочным модулем ФИЛЫ. Затем начнется серия специальных навигационных маневров с переходом Розетты на более высокую орбиту — сначала на 50-км орбиту, затем на 30-км орбиту и позднее в начале декабря 2014 г. на орбиту около 20 км.

На фото хорошо виден преобладающий горный ландшафт ядра с разрушенными кратерами с высокими почти вертикальными стенками, долины, усеянные валунами внушительных размеров, глубокие провалы и другие структуры. С точки зрения автора, эта область представляет собой довольно плоское дно разрушенного кратера с параллельными слегка извилистыми холмистыми структурами (которых довольно много на подобных площадках в области J и которые, вероятно, образуются в виде потоков в результате таяния сильно запыленных подпочвенных льдов и их последующего замерзания). Хотя наклоны отдельных участков в этой области и не превышают 30 градусов, однако нельзя считать это место посадки Филы идеальным.

14 октября был объявлен конкурс EKA на наименование места посадки модуля Филы, т.е. области J, который завершится 22 октября 2014 г. Автор послал свою заявку на сайт EKA, предложив назвать об-

ласть посадки Филы Kiev, в честь столицы свободной Украины, где 22 октября 1969 г., т.е. ровно 45 лет тому назад комета была открыта киевскими астрономами и пять ее точных положений были посланы 23 октября 1969 г. в Центральное Бюро Астрономических Телеграмм, тогда возглавлявшему его профессору Брайену Марсдену, который подтвердил и опубликовал в Циркуляре ЦБАТ первое сообщение открывателей об открытии новой кометы 1969h/Чурюмова–Герасименко. К сожалению, пожелание одного из первооткрывателей кометы было проигнорировано и область назвали в честь какого-то малоизвестного острова в дельте Нила «Агилкия».

Ядро кометы состоит из двух частей «головы» (малая доля) и «тела» (большая доля), соединенных более узкой по сравнению с этими частями «перемычкой». Основные размеры ядра представлены на его двух изображениях, полученных 19 августа с помощью навигационной камеры НАВКАМ (ОСИРИСА). Голова довольно симметричная размером $2{,}5 \times 2{,}5$ км, тело асимметрично размерами $4{,}1 \times 3{,}2$ км. Расстояние от вершины головы до перемычки 2,0 км.

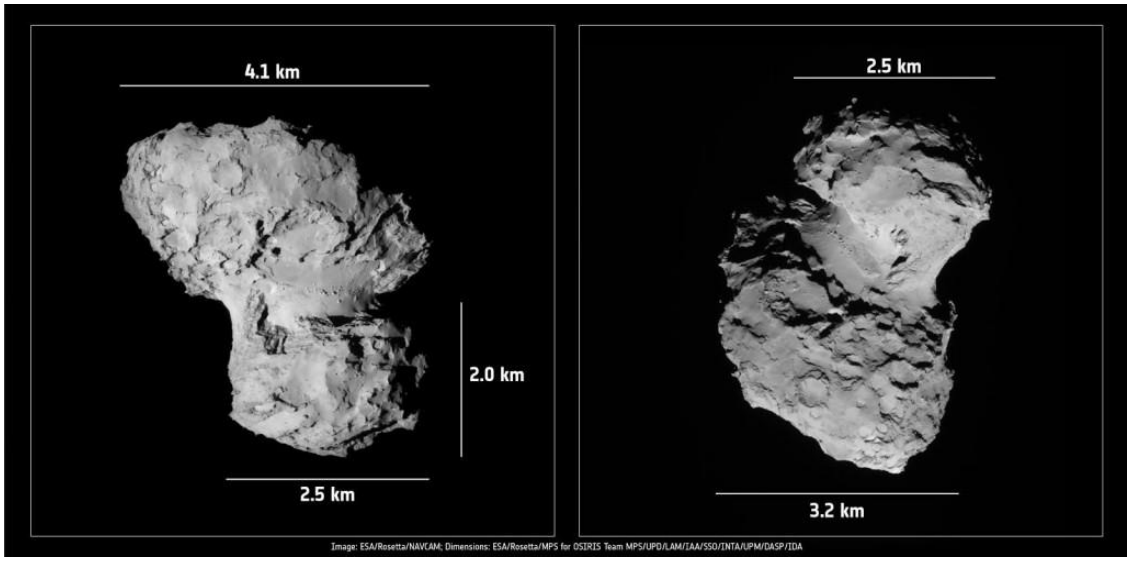

Рис. 11. Изображения ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, полученные навигационной камерой NAVCAM (19 августа 2014 г.), с указанными размерами.

К 19 августа около 30% темной стороны не было разрешено, поэтому полного представления о рельефе всего ядра и его анализе еще нет. Также нет окончательной модели формы ядра из-за отсутствия хороших изображений темной стороны.

Ниже приведены предварительные оценки некоторых параметров ядра, включая его объем и глобальную плотность, зависящую от оценок массы и объема фигуры ядра, и некоторые другие параметры, полученные с помощью работающей аппаратуры ОСИРИС, РСИ, МИРО, ВИРТИС, РОЗИНА, КОЗИМА, ГИАДА.

Размеры (голова — меньшая область) $2{,}5 \times 2{,}5 \times 2{,}0$ км — OSIRIS

Размеры (тело — большая область) $4{,}1 \times 3{,}2 \times 1{,}3$ км — OSIRIS

Период вращения ядра 12,4043 часов — OSIRIS

Ось вращения: прямое восхождение $\alpha = 69°$; склонение $\delta = +64°$ — OSIRIS

Масса ядра $= 10^{13}$ кг — RSI

Объем $= 25$ км^3 — OSIRIS

Плотность $= 0{,}4$ г/см^3 — RSI/OSIRIS

Скорость выделения водяного пара $Q_{H_2O} = 300$ мл/сек (июнь 2014); $Q_{H_2O} = 1 - 5$ л/сек (июль–август 2014) — MIRO

Температура поверхности 205–230 K (июль–август 2014) — VIRTIS

Подповерхностные температуры 30–160 K (август 2014) — MIRO

Газовый состав комы: обнаружена вода, окись углерода, двуокись углерода, аммиак, метан, метанол — ROSINA

Размеры пылинок от нескольких десятков микрон до нескольких сотен микрон (Cosima и Giada).

Последующие наблюдения позволят улучшить оценки этих параметров и других, таких как альбедо, газо и пылепроизводительность, параметры магнитного и электрического полей и т.п. и их изменения по мере приближения кометы к Солнцу.

Высокое разрешение масс-спектра при двойной фокусировке масс-спектрометра Розины (УФМС), полученное 10 октября на расстоянии 10 км от центра ядра кометы. График показывает пик сероводорода и

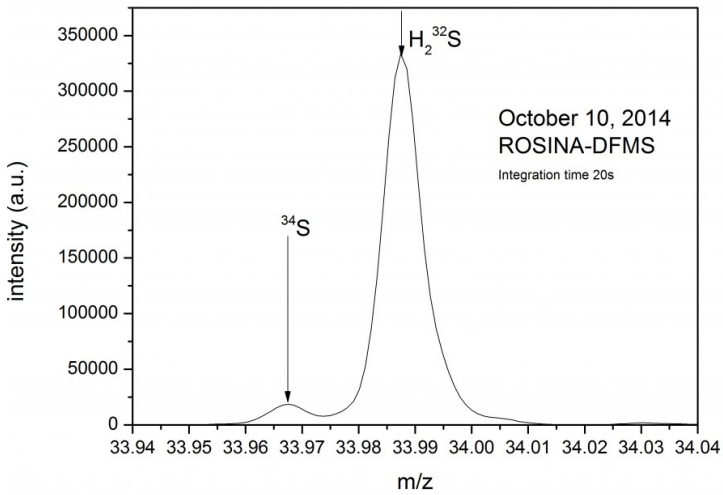

Рис. 12

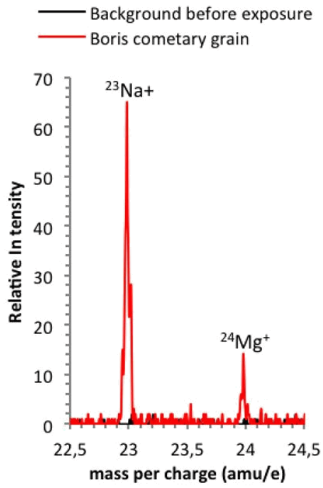

Рис. 13

более тяжелого изотопа серы ^{34}S. Из графика (рис. 12) видно распределение интенсивности относительно отношения массы к заряду. Изображение предоставлено К.Альтвегг (Бернский университет).

Спектр на рис. 13 показывает зависимость интенсивности от массы, разделенной на заряд, от 22,5 а.е.м./э до 24,5 а.е.м./э, одной из частиц (названной Борис), полученной 7 августа 2014 г. примерно в 80 км от кометы 67P/Чурюмова–Герасименко. Каждый спектр является суммой двух спектров, взятых в том же положении, каждый принимался по 2,5 минуты. Два четких пика в красной части спектра — это магний и натрий.

Поступила в редакцию 9.11.2014