КАРТОГРАФИЯ

УДК 528.9 DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-4-000-000

Картографирование небесных тел со сдвоенной фигурой в проекциях трёхосного эллипсоида на примере бинарного ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко

©2018 М.В. Нырцов[1]*, М.Э. Флейс[2], Д.Д. Николаева[3], А.В. Орендарчук[3]

[1]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*
[2]*Институт географии РАН*
[3]*Московский государственный университет геодезии и картографии*
**nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru*

Mapping of celestial bodies with bi-lobate shape in triaxial ellipsoid projections on example of binary nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko

©2018 M. Nyrtsov[1]*, M. Fleis[2], D. Nikolaeva[3], A. Orendarchuk[3]

[1]*Lomonosov Moscow State University, Russia*
[2]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
[3]*Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russia*
**nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru*

Received June 01, 2018 *Accepted October 01, 2018*

Keywords: comet 67P/Churyumov–Gerasimenko, extraterrestrial cartography, map projection, small Solar System body, triaxial ellipsoid

Summary. In the Solar system there are celestial bodies which have been formed due to collision and merging of two distinct objects. The objects are called binary objects or objects with bi-lobate shape. They consist of several parts - two lobes and a neck connecting them. The International Astronomical Union recommends to use individual triaxial ellipsoid for mapping each lobe of the body. But due to the lack of triaxial ellipsoid projections in the GIS software objects with bi-lobate shape up to this day were mapped in projections of a sphere. In this regard we were tasked with mapping of the nucleus of comet 67P / Churyumov-Gerasimenko in the projections of triaxial ellipsoid. In this case the data relating to the entire nucleus must be divided into three groups based on splitting of comet nuclei. Dividing celestial body of a complex shape into parts leads to blank areas or “holes” have appeared on the surface of each of them. In case of the neck of binary objects which after splitting has a shape of a cylinder. On the lobes “holes” are formed. Blank areas are well known to cartographers. The lack of information about certain areas of the surface of extraterrestrial bodies is also very common. Working with “holes” similar to those that appear on the body as a result of splitting process is a new problem for cartography. Equidistant projections were chosen for mapping the lobes. It is compromise decision because they have both distortions of angles and areas. The equidistant along meridians cylindrical projection for the triaxial ellipsoid is used for mapping of the areas near equator of each of the lobes. The equidistant along meridians azimuthal projection for the triaxial ellipsoid is used for mapping the “polar” region of each of the lobes. Cassini-Soldner transverse-cylindrical projection equidistant along verticals is used for mapping of neck region.

Citation: *Nyrtsov M.V., Fleis M.E., Nikolaeva D.D., Orendarchuk A.V.* Mapping of celestial bodies with bi-lobate shape in triaxial ellipsoid projections on the example of binary nucleus of the 56P/Churyumov-Gerasimenko comet. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying». 2018, 62 (5): 000–000. [In Russian]. DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-4-000-000

Поступила 01 июня 2018 г. *Принята к печати 01 октября 2018 г.*

Ключевые слова: внеземная картография, комета 67P/Чурюмова–Герасименко, картографическая проекция, математическая картография, малое тело Солнечной системы, трёхосный эллипсоид

В Солнечной системе существуют небесные тела, которые образовались путём соединения ранее существовавших по отдельности космических тел. Их называют бинарными или объектами со сдвоенной фигурой. В связи с отсутствием проекций трёхосного эллипсоида в ГИС-пакетах подобные тела картографируются с использованием референц-поверхности сферы несмотря на рекомендации Международного астрономического союза использовать трёхосный эллипсоид. Нами предлагается методика картографирования небесных тел со сдвоенной фигурой на примере бинарного ядра кометы 56P/Чурюмова–Герасименко с учётом их специфических особенностей.

Для цитирования: *Нырцов М.В., Флейс М.Э., Николаева Д.Д., Орендарчук А.В.* Картографирование небесных тел со сдвоенной фигурой в проекциях трёхосного эллипсоида на примере бинарного ядра кометы 56P/Чурюмова–Герасименко // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62. № 5. С. 000–000. DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-4-000-000

Введение

Анализ современных данных о малых телах Солнечной системы (МТСС) позволяет прийти к выводу, что некоторые из них образовались путём соединения ранее существовавших по отдельности космических тел. Такие объекты называются бинарными или объектами со сдвоенной фигурой. К ним относятся различные типы МТСС — это ядра комет, астероиды и прочие тела. Примерами сдвоенных тел могут служить астероиды (4179) Таутатис, (4769) Касталия, (216) Клеопатра. Даже тела, которые раньше считались едиными, теперь рассматриваются как состоящие из двух частей — это астероиды (433) Эрос и (25143) Итокава [1]. Самым типичным представителем бинарных объектов считается ядро кометы 56P/Чурюмова–Герасименко. С пересмотром сведений о строении тел изменяются и подходы к их картографированию. Благодаря миссии «Розетта» Европейского космического агентства (ЕКА) в нашем распоряжении оказались данные, которые позволяют выполнить картографирование ядра кометы. На примере этой кометы рассмотрим проблемы и задачи, стоящие перед картографом на пути создания карт подобных тел.

Определение фигуры ядра кометы

На стадии планирования полёта космического аппарата «Розетта» в 2003 г. данные о форме ядра кометы получали с помощью кривой блеска. Была сделана первая приближенная трёхмерная модель кометы на основе фотоснимков кривой блеска, полученных космическим телескопом «Хаббл». Тогда же были определены приблизительные размеры ядра, составившие 3×5 км (рис. 1).

Запуск космического аппарата к комете состоялся 2 марта 2004 г., а в июле 2014 г. «Розетта» достигла своей конечной цели – кометы 67P/Чурюмова–Герасименко. Спускаемый зонд «Фила» отделился от «Розетты», когда она находилась на расстоянии 22,5 км от кометы. Этот путь «Фила» преодолел со скоростью 1 м/с за 7 ч, делая по пути снимки поверхности ядра кометы. По мере приближения космического аппарата «Розетта» к своей цели,

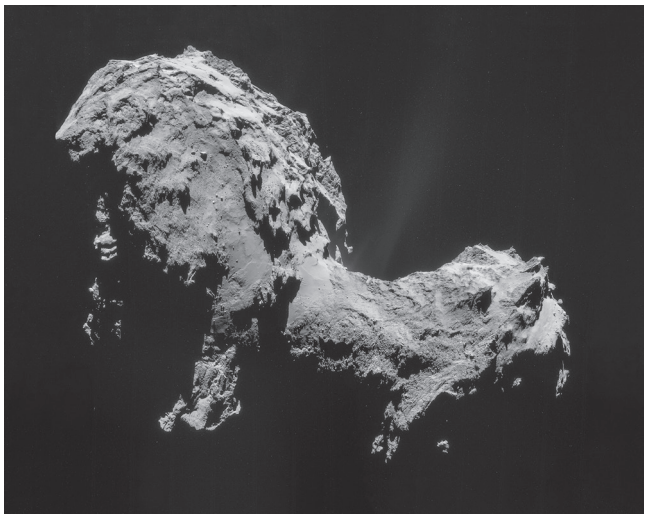

Рис. 1. Космическое изображение кометы 67P/Чурюмова – Герасименко [7]

Fig. 1. Space image of the 67P/Churyumov–Gerasimenko comet taken by the Rosetta spacecraft [7]

на Землю поступали новые и более детальные изображения кривых блеска, которые послужили основными данными для построения целостной трёхмерной модели ядра кометы в 2011 г. [2]. С помощью реконструкции фигуры ядра кометы способом фотоклинометрии по многочисленным изображениям с оптического стереоскопического прибора «Осирис» была получена окончательная трёхмерная модель тела. Метод фотоклинометрии, усовершенствованный Дэвидом Гаскеллом, применялся ранее для получения моделей фигур астероидов (2543) Итокава [3], (433) Эрос [4], (4) Веста [5]. С помощью трёхмерной модели кометы учёные определили, что площадь поверхности составляет 46,9 км^2, из которых 38,6 км^2 (около 82% всего тела) были смоделированы по снимкам, полученных с августа по октябрь 2014 г., а остальная часть (18%) — по снимкам, полученным после апреля 2015 г. В итоге в ядре кометы стали выделять три крупные части – большую и малую доли и, соединяющую их, шею. Большая доля аппроксимируется трёхосным эллипсоидом с полуосями 2,10×1,61×0,90 км, а малая соответственно 1,35×1,12×0,82 км [6].

Существующий опыт картографирования ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко

В 2015 г. группой учёных из Германского центра авиации и космонавтики и Лаборатории астрофизики в Марселе была выпущена работа [8], в которой они предложили разделить ядро кометы на три части (малую и большую доли, шею). Их картографирование рекомендовалось делать отдельно друг от друга, используя для каждой части собственную референц-поверхность трёхосного эллипсоида. При этом оси рефренц-поверхностей должны ориентироваться внутри каждой части индивидуально.

Окончательные рекомендации по картографированию кометы свелись к стандартным проекциям сферы. Выбор в пользу проекций сферы авторы обосновали, что тем самым исключаются разночтения в определении проекций эллипсоида вращения и трёхосного эллипсоида, которые применяются для картографирования несферических небесных тел. Отсутствие проекций этих референц-поверхностей в программном обеспечении, используемом картографами, выступило в качестве дополнительного аргумента. Таким образом, были рекомендованы следующие проекции.

Для показа всей поверхности ядра кометы в качестве референц-поверхности рекомендована сфера радиуса 1,5 км и равнопромежуточная вдоль меридианов цилиндрическая проекция (осевой меридиан 90°) с дополнительным показом «северного» и «южного» полушарий в нормальной азимутальной проекции Ламберта.

Для показа большой доли рекомендована сфера радиуса 1,5 км и равнопромежуточная вдоль меридианов цилиндрическая проекция (осевой меридиан 140° в системе отсчёта долгот для большой доли) с дополнительным показом «северного» и «южного» полушарий в нормальной азимутальной проекции Ламберта и полушарий с осевыми меридианами 50, 140, 230, 320° в поперечной азимутальной проекции Ламберта.

Для показа малой доли рекомендована сфера радиусом 1,1 км и равнопромежуточная вдоль меридианов цилиндрическая проекция (осевой меридиан 0° в системе отсчёта долгот для малой доли) с дополнительным показом «северного» и «южного» полушарий в нормальной азимутальной проекции Ламберта и полушарий с осевыми меридианами 0, 90, 180, 270° в поперечной азимутальной проекции Ламберта.

Для показа области шеи рекомендована сфера радиусом 1 км и нормальная азимутальная проекция Ламберта с дополнительным показом полушарий с осевыми меридианами 60 и 240° в поперечной азимутальной проекции Ламберта.

Как пишут авторы статьи, в некоторых случаях для картографирования можно использовать стереографическую проекцию.

В работах [6, 8] приведены конкретные указания на параметры наилучших трёхосных эллипсоидов для аппроксимации долей ядра кометы, смещения центров этих эллипсоидов

Параметры наилучших референц-эллипсоидов для долей ядра кометы

Параметр	Большая доля	Малая доля
Уравнения секущей плоскости [6]	$0{,}787x - 0{,}554y + 0{,}270z = 0{,}290$	$-0{,}919x + 0{,}291y - 0{,}267z = -1{,}000$
Полуоси трёхосного эллипсоида [6]	2,10×1,61×0,90 км	1,35×1,12×0,82 км
Смещение центра эллипсоида [6]	(−0,673; 0,147; −0,049) км	(1,524; −0,391; 0,208) км
Смещение центра эллипсоида [8]	(−0,42; 0,26; −0,06) км	(1,48; −0,34; 0,25) км
Углы Эйлера [6]	(48,7°; 345,3°; 66,6°)	(270,0°; 68,8°; 16,6°)

относительно общего центра масс, уравнения секущих тело на три части плоскостей и значения углов Эйлера, на которые нужны повернуть эллипсоиды, а с ними и данные в виде радиус-векторов точек поверхности исследуемого тела. Эти параметры послужили исходными данными для картографирования ядра кометы в проекциях трёхосного эллипсоида (таблица). Следует отметить, что указанные параметры идентичны в обеих работах за исключением смещения центров эллипсоидов, которые несколько отличаются.

Предлагаемая методика картографирования ядра кометы 56P/Чурюмова-Герасименко

Подготовка исходных данных. Исходными данными для картографирования ядра кометы 56P/Чурюмова–Герасименко является цифровая модель тела [9] и параметры референц-эллипсоидов (см. таблицу). Модель представляет собой триангуляционную сеть (TIN) точек поверхности. Для каждой вершины треугольника определено её положение в пространственной прямоугольной системе координат *XYZ*. Координаты вершин содержатся в файле данных в цифровом виде. В процессе подготовки к работе были просмотрены девять различных моделей с разрешением — от 6 тыс. до 1 млн треугольников. Последнее разрешение было выбрано в качестве рабочего. Объясняется это оптимальным качеством отображения поверхности тела с помощью аналитической отмывки. Для предварительной оценки модель данных была визуализирована в ГИС-пакете QGIS, что позволило оценить правильность построения облака точек.

Разделение бинарного ядра кометы на части. Разделение ядра кометы на три части производится с использованием уравнений, приведённых в таблице. Данные уравнения плоскостей задавались в Microsoft Excel с помощью логических функций, определяющих, с какой стороны от заданных плоскостей лежит каждая точка поверхности.

Для каждой из долей функция описывалась следующими выражениями:

$$\begin{aligned} &0{,}787A_n - 0{,}554B_n + 0{,}270C_n < 0{,}290; \\ &-0{,}919A_n + 0{,}291B_n - 0{,}267C_n < -1{,}000, \end{aligned} \quad (1)$$

где A_n, B_n, C_n — соответственно значения координат *XYZ* точки *n*.

Для определения области шеи, находящейся между двумя секущими плоскостями, необходимо было выявить только те точки, которые одновременно не удовлетворяли указанным выше условиям (1). Оценка сечения ядра кометы была проведена в QGIS (рис. 2).

Переход от общей системы координат ядра кометы к частным. После разделения ядра на части их ещё нельзя рассматривать как отдельные пространственные тела вследствие того, что местоположение точек каждой из них отсчитывается от центра масс целого ядра кометы. Поэтому далее необходимо перейти от общей системы координат к индивидуальным, начало которых расположено в центре эллипсоидов, рекомендованных для каждой из частей. Смещения долей были взяты из таблицы, для шеи использовались значения смещений из работы [8] — это 0,66 км по оси *X*, 0,20 км по оси *Y*, 0,30 км по оси *Z*. Переход от одного центра к другим производится приращением координат и выполняется в среде Microsoft Excel. После того, как положение точек каждой доли заданы относительно собственного центра координат, части могут рассматриваться как отдельные тела.

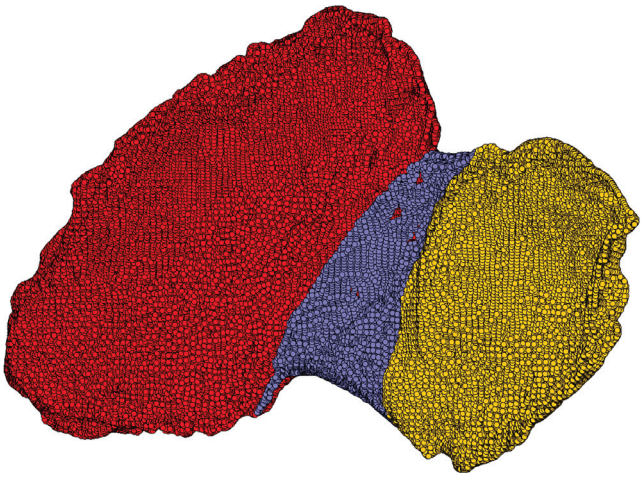

Рис. 2. Визуализация разделения ядра в QGIS
Fig. 2. QGIS visualization of splitting of a comet nucleus

Ориентирование эллипсоида в теле каждой из частей ядра кометы. Используя трёхосный эллипсоид в качестве референц-поверхности, необходимо его так ориентировать, чтобы максимально точно аппроксимировать фигуру тела. Для ориентации эллипсоида в пространстве используются углы Эйлера, указанные в таблице. Данные углы описывают изменение ориентации твёрдого тела по каждой оси системы координат. Имеющуюся в нашем распоряжении модель ядра кометы можно приравнять к твердому тел. Для поворота каждой из долей можно использовать матрицу результирующего поворота, соединяющую в себе решение трёх матриц поворотов по каждому из углов ΨθΦ [10]. Для области шеи, в качестве референц-поверхности которой используется сфера, повороты не предусмотрены. После пересчета координат и поворота в пространстве была проведена проверка корректности отображения фигуры в QGIS (рис. 3).

Переход от пространственной прямоугольной к планетоцентрической системе координат. При создании карт малых тел Солнечной системы принято использовать планетоцентрическую систему координат, поэтому для картографирования ядра кометы возникает необходимость перехода к этой системе координат. Цифровую модель тела необходимо конвертировать в вид доступный для картографирования, а именно в последовательность значений широты, долготы и значений радиус-вектора точек поверхности.

Перевод координат *XYZ* в планетоцентрические широты Φ и долготы λ, а также вычисление радиус-векторов *r* производится по формулам перехода:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2};$$
$$\Phi = \arcsin\left(\frac{z}{r}\right); \qquad (2)$$
$$\lambda = \mathrm{arctg}\left(\frac{Y}{X}\right).$$

Для дополнительного контроля данные визуализируются в равнопромежуточной вдоль меридианов цилиндрической проекции в QGIS (рис. 4)

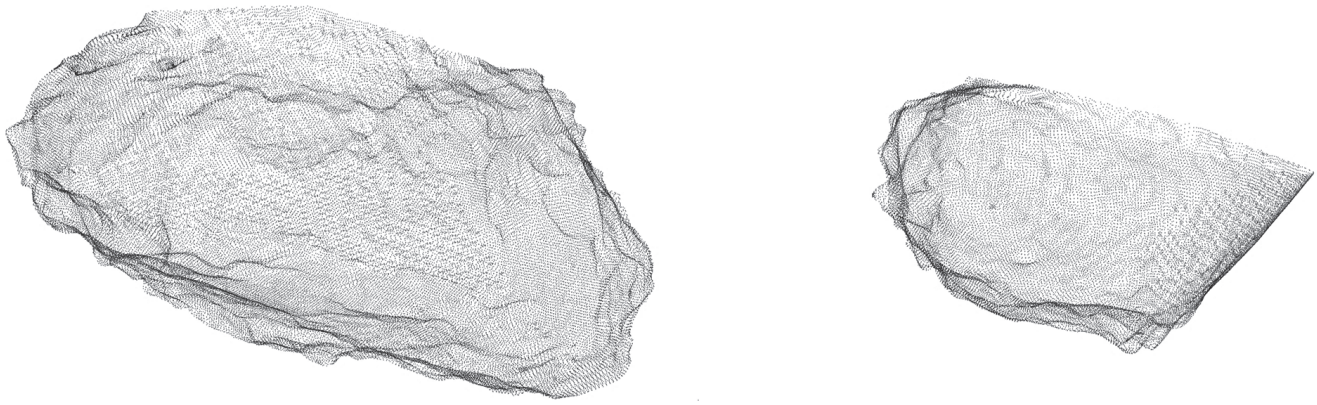

Рис. 3. Визуализация каждой из долей после поворотав QGIS
Fig. 3. QGIS visualization of the lobes after rotation

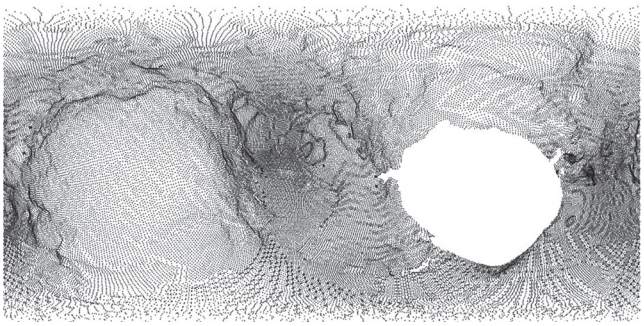

Рис. 4. Визуализация точек поверхности большой доли в квадратной цилиндрической проекции. Белое пятно — место разделения шеи и доли

Fig. 4. Visualization of surface points of the big lobe in a simple cylindrical projection. Blank area is a place of separation the «neck» area and the big lobe

Проблемы появления «дыр» (пустых мест на карте)

Разделяя небесное тело со сложной фигурой на части, неизменно возникают пустые места, так называемые, «дыры» на поверхности каждой из них. Особенно эта проблема актуальна для шеи бинарных объектов, которая, после отсечения, представляет собой кольцо (цилиндр) неправильной формы, а на долях образуются «дыры». Понятие «белых пятен» картографам знакомо давно, отсутствие информации о тех или иных участках поверхности внеземных тел — тоже весьма распространенное явление, но работа с «дырами», подобными тем, что появляются на теле при рассечении, является новой проблематикой для картографии. В работах зарубежных учёных, упомянутых выше, данную проблему решают путем выбора такого осевого меридиана карты, чтобы центр «дыры» в такой системе находился на краях карты. Таким образом, пустое место разрывается на две части, а все структуры поверхности сохраняют непрерывность показа в центре карты [8].

Другой важной проблемой, возникающей из-за разделения тела на картографируемые участки, является сохранение и передача единого образа ядра кометы. Подобное требование в полной мере выполняется лишь на глобальной карте ядра кометы в квадратной цилиндрической проекции сферы, но в этом случае возникают большие искажениях как отдельных элементов поверхности, так и всей кометы в целом, особенно в высоких широтах. В нашем случае возможность сохранения единого образа поверхности ядра кометы обеспечивается с помощью перекрытия между частями карты. Свой отпечаток на проектирование карты накладывает и тот факт, что каждая из частей, на которые была разделена комета, помещается в собственную систему координат, поэтому необходима общая система оцифровки долгот на картах.

Выбор проекций для картографирования частей кометы

Выбор проекции для большой и малой долей. Особенностью каждой из долей является наличие крупных возвышенных и низменных форм рельефа, занимающих значительные участки поверхности. В пределах большой и малой долей основные формы рельефа находятся в регионах, за которыми закреплены утверждённые наименования. В высоких положительных широтах большой доли присутствуют многочисленные террасовидные образования.

Выбираемые проекции должны отвечать следующим требованиям:

отображать фигуру тела, аппроксимируемую трёхосным эллипсоидом, тем самым следуя указаниям Международного астрономического союза и подчеркивая отличие карт ядра кометы от земных карт;

передавать очертания глобальных форм рельефа, правильно отображать относительную протяженность форм рельефа, вытянутых вдоль меридианов;

обеспечивать отображение переходов одних форм рельефа в другие, заключающееся в выборе площади перекрытия между картами и выборе осевых меридианов.

Равнопромежуточные проекции являются компромиссным вариантом, в равной степени искажая углы и площади, поэтому для картографирования были выбраны следующие проекции:

равнопромежуточная вдоль меридианов цилиндрическая проекция трёхосного эллипсоида для картографирования «приэкваториальных» территорий каждой из долей;

равнопромежуточная вдоль меридианов азимутальная проекция трёхосного эллипсоида для «полярных» территорий каждой из долей.

Карты долей имеют «дыру», соответствующую месту отсечения шеи. В пределах большой доли «дыра» находится примерно в пределах параллелей –60° и +20°. В пределах малой доли «дыра» занимает намного больше места — практически от отрицательного полюса до +50° широты.

Учитывая опыт картографирования малых тел Солнечной системы с использованием нескольких проекций и особенности поверхности ядра, визуализированного с использованием квадратной проекции сферы, был сделан вывод о необходимости перекрытия карт протяженностью в 30°. Решено равнопромежуточную вдоль меридианов цилиндрическую проекцию давать с охватом по широтам от −60° до +60°, азимутальную равнопромежуточную вдоль меридианов давать с охватом по широтам от +30° до +90° для положительного полюса и от −30° до −90° для отрицательного. Долготы отсчитываются на запад от 0 до 360°. Осевой меридиан 0°.

В формулах проекций используется плоская прямоугольная система координат с осью x, направленной горизонтально вправо и осью y, направленной вертикально вверх.

Формулы равнопромежуточной вдоль меридианов цилиндрической проекции трёхосного эллипсоида:

$$x = b\int_0^{\lambda i} \frac{\sqrt{1-(2-e_1^2)e_1^2\cos^2\lambda}}{(1-e_1^2\cos^2\lambda)^{\frac{3}{2}}}d\lambda;$$
$$y = c\int_0^{\phi_i} \frac{\sqrt{1-(2-e_d^2)e_d^2\cos^2\Phi}}{(1-e_d^2\cos^2\Phi)^{\frac{3}{2}}}d\Phi, \qquad (3)$$

где e_1^2 – квадрат эксцентриситета экваториального эллипса, вычисляемый по формуле $e_1^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2}$; e_d^2 — квадрат эксцентриситета эллипса меридианного сечения, вычисляемый по формуле $e_d^2 = \frac{d_{el}^2 - c^2}{d_{el}^2}$; d_{el} – большая полуось эллипса меридианного сечения, вычисляемая по формуле $d_{el} = \frac{b}{\sqrt{1-e_1^2\cos^2\lambda}}$; Φ, λ — планетоцентрические координаты точки; *a*, *b*, *c* — большая, малая экваториальные и полярная полуоси эллипсоида соответственно,

Формулы азимутальной равнопромежуточной вдоль меридианов проекции трёхосного эллипсоида:

для «северного» полушария

$$x = \rho\sin\delta; \quad y = -\rho\cos\delta; \qquad (4)$$

для «южного» полушария

$$x = \rho\sin\delta; \quad y = \rho\cos\delta. \qquad (5)$$

Полярный радиус вычисляется по формуле

$$\rho = c\int_{\Phi i}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{1-(2-e_d^2)e_d^2\cos^2\Phi}}{(1-e_d^2\cos^2\Phi)^{\frac{3}{2}}}d\Phi,$$

где δ — полярный угол; Φ — планетоцентрическая широта — угол между радиус-вектором из центра эллипсоида на данную точку поверхности эллипсоида и плоскостью экватора.

Выбор проекции для карты области шеи. Наиболее подходящей фигурой, которая описывала бы форму шеи после рассечения ядра кометы на части, является цилиндр (в более точном приближении однополостный гиперболоид). Учитывая, что для области шеи в качестве референц-поверхности рекомендуется выбрать сферу [8], то наилучшей проекцией для неё будет являться равнопромежуточная по вертикалам поперечно-цилиндрическая проекция, известная под названием проекции Кассини–Зольднера. Формулы проекции имеют следующий вид:

$$x = R\arcsin(\cos\Phi\sin\lambda);$$
$$y = R\,\mathrm{arctg}(\mathrm{tg}\,\Phi\sec\lambda). \qquad (6)$$

В данной проекции осевой меридиан прямолинейный, он совпадает с экватором поперечной системы координат, альмукантараты

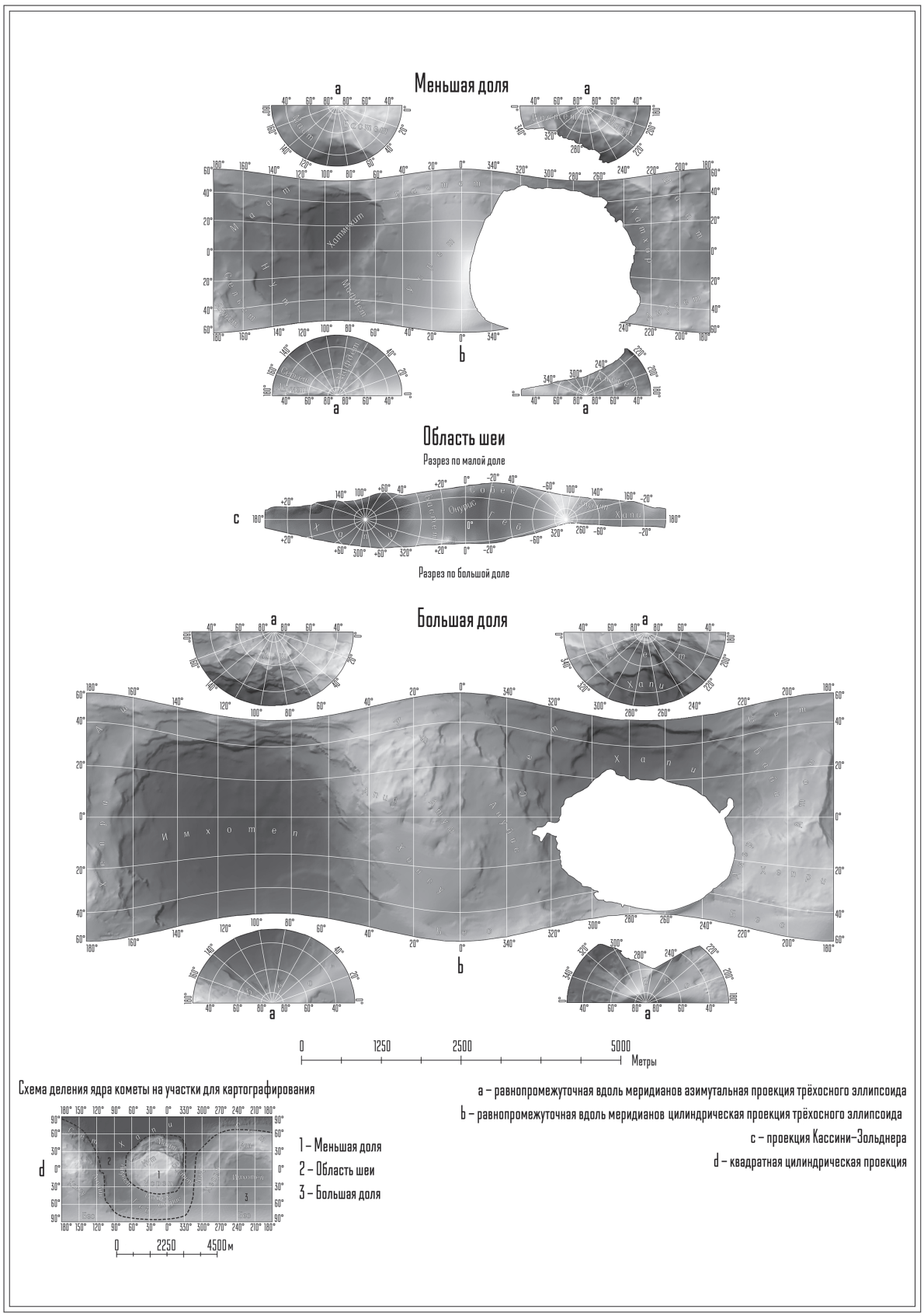

Рис. 5. Карта бинарного ядра кометы 67/РЧурюмова–Герасименко
Fig. 5. Map of the binary nucleus of the 67/P Churyumov-Gerasimenko comet

изображаются прямыми, параллельными осевому меридиану; вертикалы прямые, перпендикулярные к осевому меридиану, начальный вертикал совпадает с географическим экватором.

Создание карты

Создаваемая карта ядра кометы 67/P Чурюмова–Герасименко является обзорной. Она отображает основные структуры рельефа, которым Международным астрономическим союзом присвоены наименования. Карта является трёхчастной по числу частей, на которые разделено ядро. Каждая из частей картографируется в собственной проекции. Компоновка карт долей аналогична компоновке, предложенной профессором К.Б. Шингарёвой для карты Фобоса из Атласа планет Земной группы и их спутников [11]. Для вычисления проекций карт частей кометы используется инструментарий, размещённый на сайте Института географии РАН [12]. Для отображения поверхности используется аналитическая отмывка рельефа, построенная по цифровой модели тела [9]. Карта представлена на рис. 5.

Заключение

В соответствии с рекомендациями Международного астрономического союза большинство фигур малых тел Солнечной системы следует аппроксимировать трёхосным эллипсоидом. Тем не менее, из-за отсутствия проекций трёхосного эллипсоида в программном обеспечении ГИС, их продолжают картографировать с использованием референц-поверхности сферы.

Среди малых тел существуют тела со сдвоенной фигурой, для которых необходима собственная методика картографирования, заключающаяся в разбиении тела на отдельные части, аппроксимируемые с использованием собственной референц-поверхности. В методике картографирования учитывается требование непрерывности показа поверхности при переходе от одной части тела к другой, соблюдается единый отсчёт долгот и др.

Методика картографирования малых тел Солнечной системы со сдвоенной фигурой на примере бинарного ядра кометы 67/P Чурюмова-Герасименко изложена в статье. При этом используются проекции трёхосного эллипсоида.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нырцов М.В.* Актуальные проблемы картографирования внеземных объектов//Картография в цифровую эпоху/Под ред. В.М. Котлякова и др. Т. 144, Изд. дом «Кодекс», М., 2017, С. 42–51.

2. *Rickman H., S. Marchi, M. F. A'Hearn, C. Barbieri, M. R. El-Maarry, C. Güttler, W.-H. Ip, H. U. Keller, P. Lamy, F. Marzari, M. Massironi, G. Naletto, M. Pajola, H. Sierks, D. Koschny, R. Rodrigo, M. A. Barucci, J.-L. Bertaux, I. Bertini, G. Cremonese, V. Da Deppo, S. Debei, M. De Cecco, S. Fornasier, M. Fulle, O. Groussin, P. J. Gutierrez, S. F. Hviid, L. Jorda, J. Knollenberg, J.-R. Kramm, E. Kührt, M. Küppers, L. M. Lara, M. Lazzarin, J. J. Lopez Moreno, H. Michalik, L. Sabau, N. Thomas, J.-B. Vincent and K.-P. Wenzel*. Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Constraints on its origin from OSIRIS observations // Astronomy&Astrophisics — Vol. 583, November 2015.

3. *Gaskell, R., Saito, J., Ishiguro, M.* et al. Gaskell Itokawa Shape Model V1.0. NASA Planetary Data System, 2008a. 92 p.

4. *Gaskell, R.W.* Gaskell Eros Shape Model V1.0. NASA Planetary Data System, 2008. 96 p.

REFERENCES

1. *Nyrtsov M.V.* Actual problems of mapping extraterrestrial objects. Cartography in Digital epoch. Ed. by Kotlyakov V.M. Moscow: Voprosy geografii. Kodeks, 2017: 144. 42–51. [In Russian].

2. *Rickman H., S. Marchi, M. F. A'Hearn, C. Barbieri, M. R. El-Maarry, C. Güttler, W.-H. Ip, H. U. Keller, P. Lamy, F. Marzari, M. Massironi, G. Naletto, M. Pajola, H. Sierks, D. Koschny, R. Rodrigo, M. A. Barucci, J.-L. Bertaux, I. Bertini, G. Cremonese, V. Da Deppo, S. Debei, M. De Cecco, S. Fornasier, M. Fulle, O. Groussin, P. J. Gutierrez, S. F. Hviid, L. Jorda, J. Knollenberg, J.-R. Kramm, E. Kührt, M. Küppers, L. M. Lara, M. Lazzarin, J. J. Lopez Moreno, H. Michalik, L. Sabau, N. Thomas, J.-B. Vincent and K.-P. Wenzel.* Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Constraints on its origin from OSIRIS observations. Astronomy&Astrophisics. November 2015. 583.

3. *Gaskell, R., Saito, J., Ishiguro, M.* et al. Gaskell Itokawa Shape Model V1.0. NASA Planetary Data System, 2008a. 92 p.

4. *Gaskell, R.W.* Gaskell Eros Shape Model V1.0. NASA Planetary Data System, 2008. 96 p.

5. *Raymond C.A., Asmar, S.W. Konopliv A.S.* et al. Geophysical Exploration of Vesta. In: Lunar and Planetary Science Conference 43, 2012. 1007 p.

6. *Jorda L., R. Gaskell, C. Capanna, S. Hviid, P. Lamy, J. Durech, G. Faury, O. Groussin, P. Gutiérrez, C. Jackman, S.J. Keihm, H.U. Keller, J. Knollenberg, E. Kührt, S. Marchi, S. Mottola, E. Palmer, F.P. Schloerb, H. Sierks, J.-B. Vincent, M.F. A'Hearn, C. Barbieri, R. Rodrigo, D. Koschny, H. Rickman, M.A. Barucci, J.L. Bertaux, I. Bertini, G. Cremonese, V. Da Deppo, B. Davidsson, S. Debei, M. De Cecco, S. Fornasier, M. Fulle, C. Güttler, W.-H. Ip, J.R. Kramm, M. Küppers, L.M. Lara, M. Lazzarin, J.J. Lopez Moreno, F. Marzari, G. Naletto, N. Oklay, N. Thomas E, C. Tubiana, K.-P. Wenzel*. The global shape, density and rotation of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from preperihelion Rosetta/OSIRIS observations // Icarus 277. 2016. P. 257–278.

7. Электронный ресурс: http://m.esa.int/spaceinimages/Images/2014/09/Comet_on_19_September_2014_NavCam.

8. *Scholten Frank, Preusker Frank, Jorda Laurent, Hviid* Stubbe on behalf of the OSIRIS 3D Working Group and the entire OSIRIS. Reference frames and mapping schemes of comet 67P v2 (24 September 2015).

9. Электронный ресурс: https://pdssbn.astro.umd.edu/holdings/ro-c-multi-5-67p-shape-v1.0/dataset.html.

10. *Журавлев В.Ф.* Основы теоретической механики. М.: Физматлит, 2001. 320 с.

11. *Атлас планет* Земной группы и их спутников. М.: МИИГАиК, 1992. 208 с.

12. Электронный ресурс: http://geocnt.geonet.ru/ru/3_axial

5. *Raymond C.A., Asmar S.W., Konopliv A.S.* et al. Geophysical Exploration of Vesta. In: Lunar and Planetary Science Conference 43, 2012. 1007 p.

6. *Jorda L., R. Gaskell, C. Capanna, S. Hviid, P. Lamy, J. Durech, G. Faury, O. Groussin, P. Gutiérrez, C. Jackman, S.J. Keihm, H.U. Keller, J. Knollenberg, E. Kührt, S. Marchi, S. Mottola, E. Palmer, F.P. Schloerb, H. Sierks, J.-B. Vincent, M.F. A'Hearn, C. Barbieri, R. Rodrigo, D. Koschny, H. Rickman, M.A. Barucci, J.L. Bertaux, I. Bertini, G. Cremonese, V. Da Deppo, B. Davidsson, S. Debei, M. De Cecco, S. Fornasier, M. Fulle, C. Güttler, W.-H. Ip, J.R. Kramm, M. Küppers, L.M. Lara, M. Lazzarin, J.J. Lopez Moreno, F. Marzari, G. Naletto, N. Oklay, N. Thomas E, C. Tubiana, K.-P. Wenzel.* The global shape, density and rotation of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from preperihelion Rosetta/OSIRIS observations. Icarus 277. 2016: 257–278.

7. URL: http://m.esa.int/spaceinimages/Images/2014/09/Comet_on_19_September_2014_NavCam.

8. *Scholten Frank, Preusker Frank, Jorda Laurent, Hviid* Stubbe on behalf of the OSIRIS 3D Working Group and the entire OSIRIS. Reference frames and mapping schemes of comet 67P v2 (24 September 2015).

9. URL: https://pdssbn.astro.umd.edu/holdings/ro-c-multi-5-67p-shape-v1.0/dataset.html.

10. *Zhuravlyev V.F. Osnovy teoreticheskoy mekhaniki*. Fundamentals of theoretical mechanics. Moscow: Fizmatlit, 2001: 320 p. [In Russian].

11. *Atlas planet Zemnoy gruppy i ikh sputnikov*. Atlas of the Earth-type planets and their satellites. Moscow: MIIGAiK, 1992: 208 p. [In Russian].

12. URL: http://geocnt.geonet.ru/ru/3_axial.