



Картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях

А.С. Варущенко¹✉, М.В. Нырцов¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
✉ asvar2000@mail.ru

цитирование

Варущенко А.С., Нырцов М.В. Картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 60–70. DOI:10.30533/GiA-2026-016.

ключевые слова

внеземная картография, малое тело Солнечной системы, математическая картография, многогранная проекция, трехосный эллипсоид

аннотация

Последние достижения в области исследований внеземного пространства, связанные с получением высокодетальных данных о малых телах Солнечной системы, ставят перед картографами задачу по наглядному отображению этих объектов. Обычно для картографирования крупных небесных тел достаточно проекций, описываемых единым набором параметров и одним главным масштабом. Однако к малым телам данный подход может быть неприменим. Одним из решений этой задачи может стать использование многогранных проекций. В рамках статьи обосновывается применение многогранных проекций для картографирования малых тел Солнечной системы, а также описываются особенности составления таких карт. Предлагается методика составления карт в многогранных проекциях трехосного эллипсоида, состоящая из нескольких этапов: разработки математической основы, выбора перечня классов проекций, подготовки разграфки и номенклатуры карт. В результате представлена технология, основывающаяся на данной методике, опробованная при создании карт в многогранных проекциях трехосного эллипсоида на примере карт астероидов (4) Веста и (25143) Итокава. Эти карты состоят соответственно из трех (азимутальных, конических и цилиндрических) и из двух (азимутальных и конических) классов проекций.

1 Введение

Большинство современных карт Земли и других небесных тел составляются в проекциях, уравнения которых описываются одним набором параметров и характеризуются наличием одного главного масштаба картографируемой территории. Однако существуют случаи, когда подобных проекций с единым набором характеристик бывает недостаточно. Например, при значительном объеме полученных для картографирования данных с высокой детальностью целесообразно разделить карту на несколько листов, а территории, отображаемые на этих листах, следует показывать в разных проекциях. В подобных случаях для картографирования могут использоваться проекции, параметры которых подобраны для каждого отдельного листа или группы листов многолистной карты. Эти проекции называют многогранными. Возможность получения высокдетальных данных о поверхностях небесных тел сделала актуальным применение многогранных проекций для картографирования не только Земли, но и малых тел Солнечной системы [1]. Подобная проблематика ставит новые задачи для внеземной картографии¹.

2 Материалы и методы

В зависимости от физических характеристик небесных тел и способов получения информации о них можно выделить несколько групп внеземных объектов, для которых составлялись карты в многогранных проекциях.

К первой группе можно отнести планеты Солнечной системы. Самые первые карты в многогранных проекциях были составлены для этой категории небесных тел. Планеты — достаточно крупные внеземные объекты, поэтому на них были получены высокдетальные данные. В первую очередь объектами картографирования стали планеты земной группы. Поскольку большинство фигур планет (в том числе и Земли) достигли гидростатического равновесия, в геодезических и картографических целях они аппроксимируются референц-поверхностью сферы или эллипсоида вращения. Среди примеров карт планет в многогранных проекциях можно назвать американскую геологическую карту Меркурия, выполненную в 1983 году², и карту поверхности Венеры из советского Атласа поверхности Венеры 1989 года³.

Ко второй группе относятся естественные спутники. Поскольку они вращаются вокруг планет или астероидов, данные для их картографирования часто получают в рамках космических программ, связанных с изучением более крупных тел, т. е. самих планет или астероидов. Зачастую естественные спутники, подобно планетам, обладают сферическими фигурами, которые аппроксимируются точно так же референц-поверхностью сферы или эллипсоида вращения [2]. Однако существуют естественные спутники, характеризующиеся фигурой с двумя сжатиями: полярным и экваториальным. В этом случае Международный астрономический союз рекомендует применять для математического описания их фигур референц-поверхность трехосного эллипсоида [3]. К примерам карт естественных спутников в многогранных проекциях сферы можно отнести карты спутников Сатурна Рея и Диона, выпущенные Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического

1 Астрономия: век XXI / ред.-сост. В.Г. Сурдин. 3-е изд., испр. и доп. Фрязино: Век 2, 2015. 605 с.

2 McGill G.E., King E.A. Geologic Map of the Victoria Quadrangle of Mercury. U.S. Geological Survey, 1983. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usgs.gov/maps/geologic-map-victoria-quadrangle-mercury> (дата обращения: 20.11.2025).

3 Атлас поверхности Венеры / отв. ред. А.Ф. Золотов. 1 : 10 000 000, 1 : 4 000 000. М.: ГУГК, 1989. 328 с.

института (*англ.* Jet Propulsion Laboratory)^{4,5}. Особого внимания заслуживает фотокарта спутника Марса Деймос, составленная Ф. Стуком⁶. В отличие от большинства карт подобных тел, она была создана с использованием проекции трехосного эллипсоида.

К третьей группе можно отнести малые тела Солнечной системы, картографирование которых в многогранных проекциях началось относительно недавно. Все остальные тела, кроме спутников, называются малыми телами Солнечной системы. Это большинство астероидов, комет и объектов пояса Койпера, некоторые из них являются кандидатами в карликовые планеты [4, с. 24–28]. Их фигуры в большинстве своем значительно отличаются от сферы и нерегулярны. В соответствии с рекомендациями Международного астрономического союза, для их аппроксимации следует применять референц-поверхность трехосного эллипсоида [3]. Как и в случае с естественными спутниками планет, из-за сложности вычислений использование данной референц-поверхности достаточно ограничено, а для большинства карт подобных небесных тел применяют, как и прежде, референц-поверхности сферы или эллипсоида вращения.

Важно отметить, что из-за отсутствия детальных данных о малых телах Солнечной системы количество исследований, посвященных их картографированию в многогранных проекциях, меньше, чем работ о планетах и естественных спутниках. Однако в последние годы в связи с увеличением количества научных программ, направленных на изучение малых небесных тел (например, полеты межпланетных станций DART в 2021 году, Psyche в октябре 2023 года и Hera с октября 2024 года), объем высокодетальных данных для этих небесных тел неуклонно растет, а картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях трехосного эллипсоида становится актуальным вопросом для внеземной картографии.

Остановимся на особенностях составления карт малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях, рассмотрев их в сравнении с картографированием планет и естественных спутников. На этапе разработки математической основы будущей карты необходимо установить референц-поверхность. Для большинства фигур малых небесных тел трехосный эллипсоид выступает первичной поверхностью, а сфера и эллипсоид вращения рассматриваются как его частные случаи. При наличии данных Международный астрономический союз рекомендует использовать установленные параметры трехосного эллипсоида, которые определяются размерами полярной, а также больших и малых экваториальных полуосей. Некоторые из малых небесных тел обладают сдвоенной фигурой, сформировавшейся в результате соединения двух отдельных тел [5], поэтому необходимо использовать особый подход при их аппроксимации и картографировании. Единая фигура разделяется на отдельные крупные участки. Для каждого из них подбираются индивидуальные параметры референц-поверхности и своя картографическая проекция. Например, при картографировании ядра кометы 67P/Чурюмова — Герасименко были установлены референц-поверхности для большой, малой долей и шеи, а также соответствующие картографические проекции [6]. Здесь возникает задача выбора многогранных проекций как для тела целиком, так и для его частей.

При интеграции данных для карт малых тел необходимо учитывать разнообразие систем координат трехосного эллипсоида. Обычно данные находятся в системе планетоцентрических координат. Существуют также планетографические (геодезические) и условно-геодезические системы координат, различающиеся

4 The Rhea Atlas. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia12806-the-rhea-atlas> (дата обращения: 19.11.2025).

5 The Dione Atlas. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia12827-the-dione-atlas/> (дата обращения: 19.11.2025).

6 Stooke Small Bodies Maps. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sbnarchive.psi.edu/pds3/multi_mission/MULTI_SA_MULTI_6_STOOCKEMAPS_V3_0/document/m2deimos/layout.jpg (дата обращения: 19.11.2025).

по способам задания. Игнорирование пересчета координат из одной системы в другую приводит к ошибкам в отображении данных.

Выбор перечня классов проекций зависит от размеров небесного тела [7]. Если картографируемый объект является достаточно крупным (например, планета или относительно большой естественный спутник), то его поверхность обычно разделяют на три широтных пояса. В этом случае для полярных областей используют азимутальные проекции, для высоких (приполярных) областей и средних широт — конические, а для экваториальных и приэкваториальных — цилиндрические. Такой подход целесообразно применять и при картографировании малых тел Солнечной системы. Однако, в отличие от крупных внеземных объектов, эти небесные тела могут обладать весьма малыми размерами по отношению друг к другу. Тогда можно ограничиться двумя классами проекций, например азимутальными и коническими. В случае, когда малое тело Солнечной системы обладает сложной фигурой, проекции определяются для каждого крупного участка поверхности индивидуально [6]. В целом целесообразно придерживаться принципа минимальной достаточности: берется столько проекций, сколько минимально необходимо для отображения всей поверхности небесного тела.

Вопрос разграфки и номенклатуры карт малых тел Солнечной системы также имеет свою специфику. Требуется определить границы листов многолистной карты в выбранной проекции и продумать общую схему компоновки всех листов. Выбор границ во многом зависит от размеров небесного тела и количества форм рельефа: не стоит допускать ситуаций, когда крупные формы рельефа попадают одновременно на несколько листов в различных проекциях. Допустим и так называемый арифметический подход к определению границ листов, когда они получаются путем разбиения на одинаковые трапеции протяженностью по широте, например в 30° . В этом случае для полярных областей в азимутальных проекциях можно выбрать в качестве границ поясов широты от -60° до -90° и от 60° до 90° , для экваториальных областей в цилиндрических проекциях — широты от -30° до 0° и от 0° до 30° , а для высоких и средних областей в конических проекциях в зависимости от размеров тела можно определить границы между широтами от -30° до -60° и от 30° до 60° (или от 0° до -60° и от 0° до 60° , если было принято решение не использовать цилиндрические проекции). Разбиение листов на трапеции протяженностью по долготе также производят, исходя из нагрузки карты формами рельефа или арифметического подхода и размера картографируемого объекта [8]. Необходимо также решить вопрос со взаимным перекрытием листов, чтобы обеспечить непрерывность показа поверхности. Для малых тел Солнечной системы после получения уточненных данных из космических полетов Международный астрономический союз может изменить положение нулевого меридиана, тогда возникает проблема по установлению новой разграфки и номенклатуры [9]. Такой случай будет рассмотрен ниже на примере карты астероида (4) Веста в многогранной проекции.

Для присвоения номенклатуры листам составляемой карты обычно рассматриваются ранее созданные карты в многогранной проекции. В этом случае номенклатура листов остается аналогичной им. Если таковые карты отсутствуют, то листу карты присваивается буквенно-цифровой индекс и название по определенным правилам [10]. Рассмотрим их на примере листов карт астероидов Юнона и Веста.

Вначале присваивается буквенный индекс, содержащий обозначения типа и названия небесного тела: например, *A* обозначает такой тип небесного тела, как астероид, *C* — комету и т. д., а следующая латинская буква берется из названия небесного тела (например, для астероида Юнона обозначение будет *AJ*). Далее указывается, с какой орбиты были получены данные, которые применялись при создании фотомозаики, использованной для составления карт: *H* — высокая (около 1950 км над поверхностью) картографическая орбита (*англ.* High Altitude Mapping Orbit, *НАМО*), *L* — низкая (до 850 км над поверхностью) картографическая орбита (*англ.* Low Altitude Mapping Orbit, *ЛАМО*). Космические изображения для составляемой фотомозаики могут быть получены с пролетающего мимо объекта космического аппарата в ходе исследования космического

пространства, тогда используется буква *S* (англ. Survey). Возможны и другие обозначения. Когда данные об источнике полученной фотомозаики отсутствуют, это обозначение в индексации листа пропускается. После буквенного индекса следует номер листа. Нумерация идет от положительного (северного) полюса с широтой 90° до отрицательного (южного) полюса с широтой -90° и от 0° до 360° по долготе (0° определяется Международным астрономическим союзом). Согласно рекомендациям Международного астрономического союза, долготы для карт малых тел Солнечной системы должны быть положительными. Первый лист обычно содержит участок поверхности в районе положительного полюса малого небесного тела, а последний — в районе отрицательного полюса. После индекса присваивается название идентифицируемого объекта (кратера, цепочки кратеров, гряды, борозды, равнины, уступа и т. д.), расположенного в пределах трапеции. Если такие значимые объекты на листе отсутствуют, то эта часть названия остается пустой. Таким образом, лист, названный Av-H-5 Bellicia, обозначает пятый лист с картой поверхности астероида (4) Веста, на котором расположен кратер Bellicia, а космические изображения для фотомозаики были получены по данным с высокой картографической орбиты.

Оформление карт малых тел Солнечной системы также имеет свои особенности. После трансформации фотомозаики в трапеции карты необходимо следить за отсутствием обратного эффекта на изображении поверхности, т. к. отдельные листы карты в многогранной проекции имеют разворот относительно исходной фотомозаики в квадратной цилиндрической проекции. Эффект проявляется в виде инверсии высот, когда положительные формы рельефа превращаются в отрицательные, и наоборот (например, кратер начинает выглядеть как холм и т. д.) [11]. В этом случае необходимо откорректировать изображение с помощью графических средств. Далее возможно нанесение тематической информации.

Актуальным является вопрос выбора шкалы для гипсометрических карт как малых небесных тел в многогранных проекциях, так и других типов небесных тел, для которых, с одной стороны, нет стандарта цветового решения, с другой — не принято использовать традиционные для Земли «природные» зелено-коричневые шкалы. Вместо них обычно выбираются такие цвета, которые ассоциируются с цветом поверхности небесного тела, определяемым по спектру отражения (например, шкала от светло- до темно-коричневого для Венеры или шкала серых оттенков для Луны). При отображении различных физических характеристик также принято использовать шкалы с «внеземными» или условными цветами: например, шкала с градацией от фиолетового к оранжевому или спектральная шкала для гравитационной карты небесного тела.

3 Результаты и обсуждение

Методические особенности создания карт в многогранной проекции были апробированы на примере составления карт малых тел Солнечной системы, различных по параметрам фигуры: относительно небольшого, но обладающего достаточно сложной фигурой астероида (25143) Итокава и крупного астероида (4) Веста, чья форма близка к сфероиду [12].

Международным астрономическим союзом были определены параметры референц-поверхности трехосного эллипсоида, аппроксимирующего фигуру астероида (4) Веста⁷: большая экваториальная полуось составила 289 км, малая экваториальная полуось — 280 км, полярная полуось — 229 км [3]. Принятая система координат планетоцентрическая, отсчет долгот идет на восток E^+ от 0° до 360° .

⁷ Recommended Coordinate System for (4) Vesta / IAU WGCCRE, 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usgs.gov/media/files/iau-wgcre-coordinate-system-vesta> (дата обращения: 20.11.2025).

При выборе классов проекций и компоновки составляемых карт (4) Весты было решено опираться на существующую фотокарту этого астероида в многогранной проекции сферы, выпущенную Институтом исследования Солнечной системы Общества Макса Планка (*англ.* Max Planck Institute for Solar System Research, MPS) при значительном участии Германского аэрокосмического центра (*нем.* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR)⁸, поэтому классы проекций было решено оставить прежними (азимутальными, коническими и цилиндрическими), но для трехосного эллипсоида. При выборе характера искажений использованы равнопромежуточные проекции и проекции, сохраняющие длины вдоль меридианов, как компромиссные варианты по искажениям между равноугольными и равновеликими. В связи с тем, что Международный астрономический союз обновил координатную систему для астероида, сместив нулевой меридиан на 30° , применение разграфки и названий листов ранее созданной фотокарты стало невозможным, т. к. многие объекты, названиями которых именовались листы, переместились [13]. Поэтому было решено предложить собственную разграфку и названия листов для новых фотокарт астероида (4) Веста с использованием арифметического подхода при определении границ листов. Там, где это возможно, использовались прежние названия и нумерация (например, лист Av-H-30 Rheasilvia, отображающий территорию вблизи отрицательного полюса, сохранил нумерацию и название). Если сохранение нумерации было невозможно, то применявшиеся названия объектов для листов были оставлены, но с другой нумерацией (например, название Marcia теперь используется для листа с номером 15, а не 12, как было на карте, составленной Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института). В случае, когда объекты, использовавшиеся ранее для названий, не попадали на вновь составленный лист, то выбирались иные хорошо различимые объекты (рис. 1). Если на лист вообще не попадали объекты, то именная часть названия листа оставалась пустой (лист Av-H-24). При картографировании все обратные эффекты были исправлены с помощью графических средств. В итоге для астероида (4) Веста были получены 30 листов с отдельными фотокартами в планетоцентрической системе широт:

- в равнопромежуточных вдоль меридианов цилиндрических проекциях для приэкваториальных областей в диапазоне широт от -30° до 30° ;
- конических проекциях, сохраняющих длины вдоль меридианов, для средних широт в диапазоне широт от -30° до -60° и от 30° до 60° ;
- равнопромежуточных вдоль меридианов азимутальных проекциях для полярных областей в диапазоне широт от -60° до -90° и от 60° до 90° .

Рис. 1

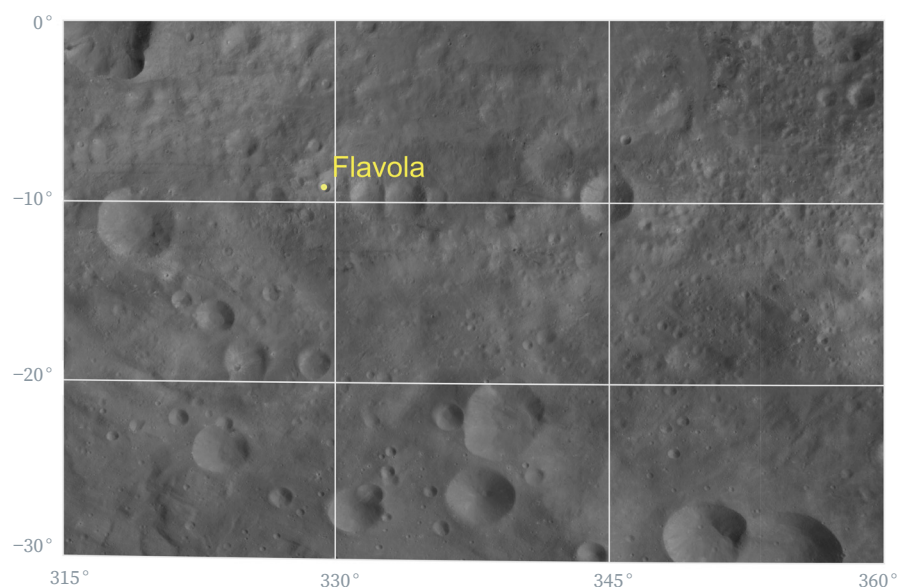
Лист Av-H-23 Flavola фотокарты астероида (4) Веста

Fig. 1

Photomap of asteroid (4) Vesta, list Av-H-23 Flavola

Условные обозначения

Flavola Кратер



8 The Vesta Atlas. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia17480-touring-the-giant-asteroid-vesta/> (дата обращения: 20.11.2025).

Рис. 2

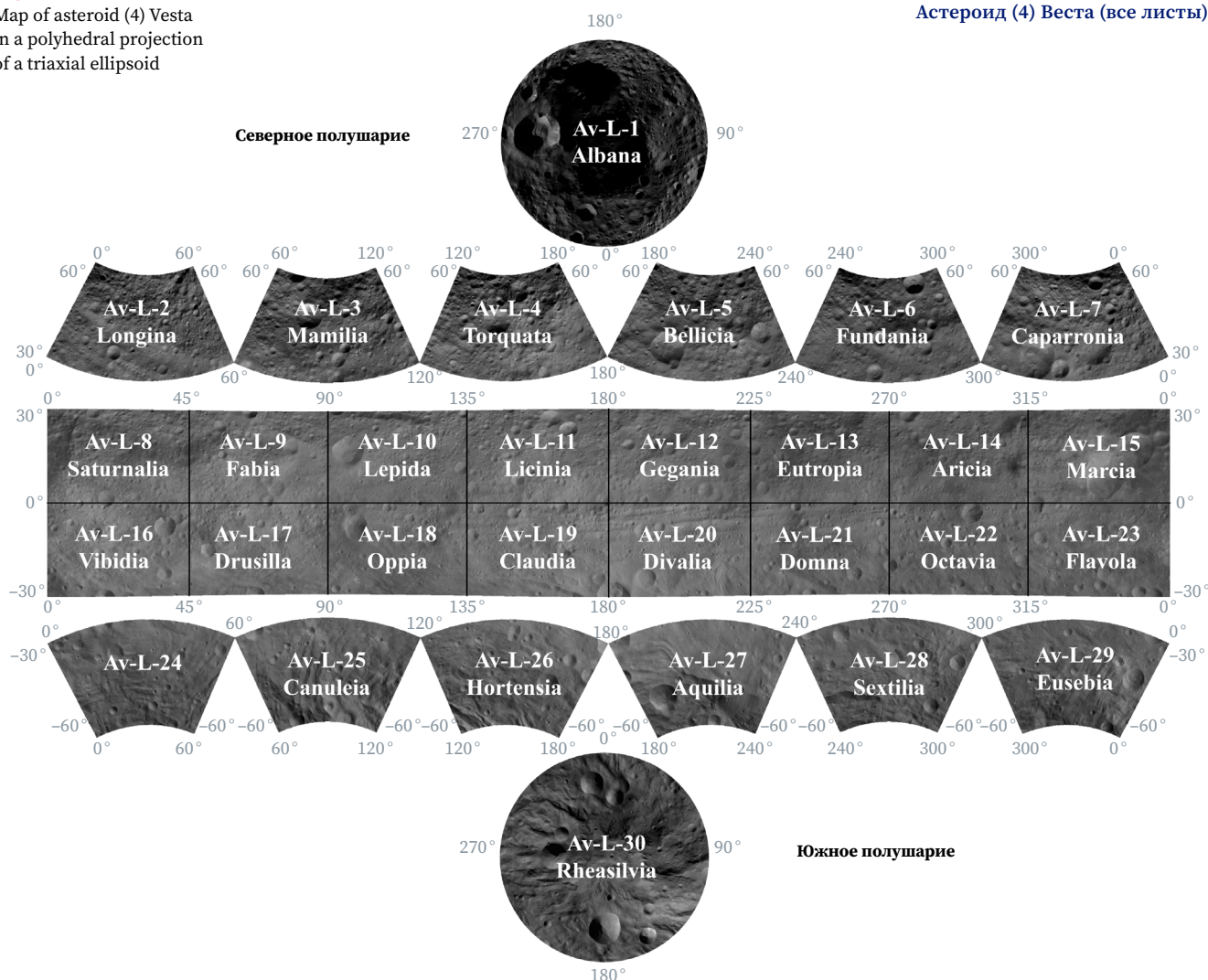
Карта астероида (4) Веста в многогранной проекции трехосного эллипсоида

Fig. 2

Map of asteroid (4) Vesta in a polyhedral projection of a triaxial ellipsoid

Была также создана одна общая карта в многогранной проекции (рис. 2) в планетоцентрической системе координат трехосного эллипсоида. Масштаб для разных листов многогранной карты был выбран согласно размеру небесного тела и классу проекции.

Астероид (4) Веста (все листы)



Согласно отчету Международного астрономического союза, для аппроксимации фигуры астероида (25143) Итокава был принят трехосный эллипсоид со следующими параметрами: большая экваториальная полуось составляет 268 м, малая экваториальная полуось — 147 м, полярная полуось — 104 м [14].

Система координат и направление отсчета долгот оставлены аналогично принятому для астероида (4) Веста на восток $E+$ от 0° до 360° . Поскольку ранее не было создано карт, которые можно было бы использовать в качестве источника при выборе классов проекций и компоновки для астероида (25143) Итокава в многогранной проекции, выбор проекций, разграфки и номенклатуры был сделан самостоятельно. Астероид (25143) Итокава является относительно небольшим внеземным объектом, который на порядок меньше астероида (4) Веста [15], поэтому было решено ограничиться не тремя, а двумя широтными поясами и двумя классами проекций: азимутальными для отображения полярных регионов и коническими для остальных широт. Введение цилиндрических проекций является избыточным и не сказывается на минимизации искажений в пределах экватора. При выборе проекций по характеру искажений предпочтение было отдано равнопромежуточным проекциям и проекциям, сохраняющим длины вдоль меридианов, как и для астероида (4) Веста, чтобы можно было сравнить полученные результаты. При определении границ листов был использован арифметический подход, т. к. на астероиде (25143) Итокава не так

много крупных кратеров, которые могут быть разделены на отдельные листы при данном подходе. В итоге были выбраны:

- конические проекции, сохраняющие длины вдоль меридианов, для средних и приэкваториальных широт в диапазоне широт от 0° до -60° и до 60° ;
- азимутальные проекции, равнопромежуточные вдоль меридианов, для полярных областей в диапазоне широт от -60° до -90° и от 60° до 90° .

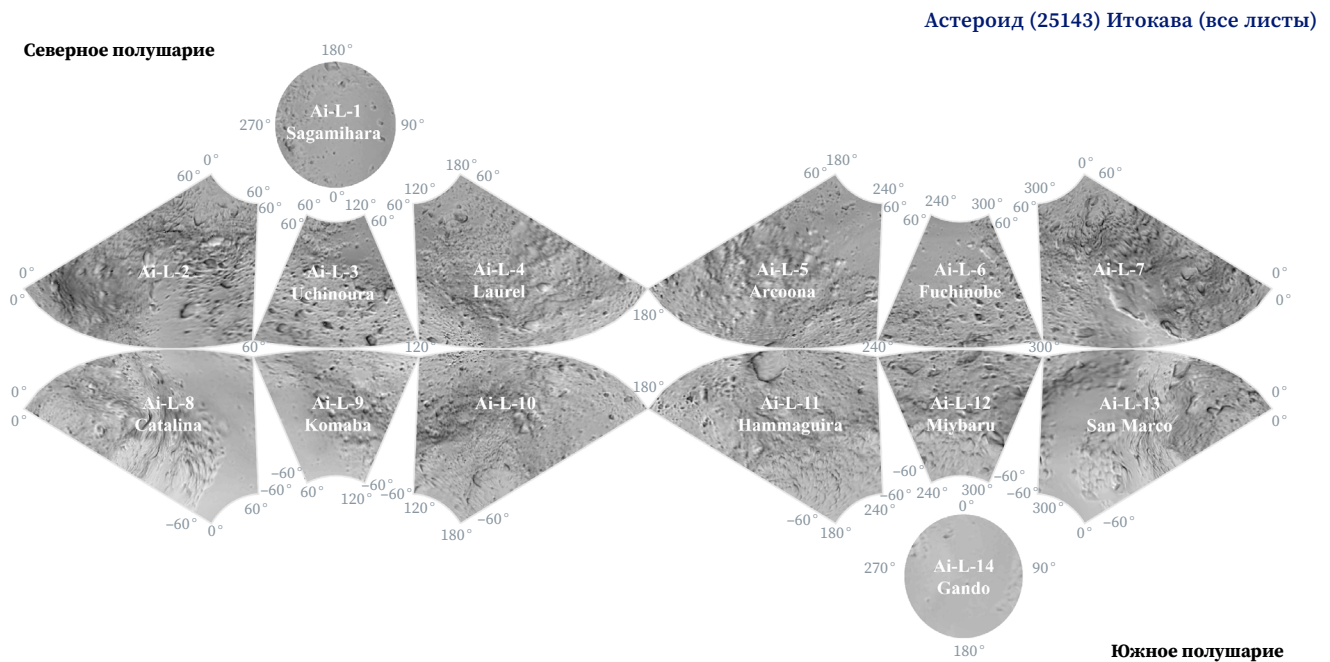
Поскольку на поверхности астероида (25143) Итокава расположено большое количество валунов, то обратные эффекты после трансформации космических изображений проявились в большом количестве, но были исправлены с помощью графических средств и приемов. В итоге для астероида (25143) Итокава были составлены 12 листов в конических проекциях, 2 листа в азимутальных проекциях и 1 общая карта в многогранной проекции (рис. 3) в планетоцентрической системе координат трехосного эллипсоида. Как и в случае с картами для астероида (4) Веста, масштаб для разных листов многогранной карты был выбран в соответствии с размером небесного тела и классом проекции.

Рис. 3 📍

Карта астероида (25143) Итокава в многогранной проекции трехосного эллипсоида

Fig. 3

Map of asteroid (25143) Itokawa in a polyhedral projection of a triaxial ellipsoid



4 Выводы

Картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях связано с появлением высокодетальных данных об этих небесных телах. Для картографирования малых тел Солнечной системы Международный астрономический союз в большинстве случаев рекомендует применять референц-поверхность трехосного эллипсоида. Все это ведет к учету специфики картографирования подобных небесных тел в многогранных проекциях трехосного эллипсоида (особенности формы малых тел Солнечной системы, разнообразие систем координат трехосного эллипсоида, правила выбора разграфки и номенклатуры и т. п.). Полученные в результате карты для различных по своим параметрам малых тел Солнечной системы подтверждают необходимость использования многогранных проекций.

благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 121051400061-9.

библиография

1. Guo S., Li L., Zhu F., et al. Integrated Design Method for Laser Topographic Mapping and Navigation of Small Celestial Bodies // Journal of Deep Space Exploration. 2022. Vol. 9. Iss. 4. P. 417–426. DOI:10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20220041.

2. Карачевцева И.П., Савиных В.П., Коханов А.А. Атлас Фобоса: концепция, структура и принципы картографирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2015. № 4. С. 68–75.
3. Archinal B.A., Acton C.H., A'Hearn M.F., et al. Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2015 // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2018. Vol. 130. P. 22. DOI:10.1007/s10569-017-9805-5.
4. Артемьева Н.А., Баканас Е.С., Барабанов С.И. и др. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра. М.: Физматлит, 2010. 384 с.
5. Rickman H., Marchi S., A'Hearn M.F., et al. Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Constraints on Its Origin from OSIRIS Observations // *Astronomy & Astrophysics*. 2015. Vol. 583. P. A44. DOI:10.1051/0004-6361/201526093.
6. Нырцов М.В., Флейс М.Э., Николаева Д.Д. и др. Картографирование небесных тел со сдвоенной фигурой в проекциях трехосного эллипсоида на примере бинарного ядра кометы 67P/Чурюмова — Герасименко // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62, № 5. С. 507–516. DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-5-514-523.
7. Burbine T.H., Greenwood R.C., Zhang B., et al. How Many Vesta-Like Bodies Existed in the Asteroid Belt? // *Meteoritics & Planetary Science*. 2024. Vol. 59. Iss. 4. P. 878–894. DOI:10.1111/maps.14134.
8. Kessler F.C., Battersby S.E. Working with Map Projections. Boca Raton: CRC Press, 2019. 299 p.
9. Shingareva K.B. Nomenclature of Planetary Surface Details: Current State and Problems // *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*. Santiago de Chile: ICA, 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/26_5.pdf (дата обращения: 20.11.2025).
10. Савиных В.П., Карачевцева И.П., Родионова Ж.Ф. и др. Картографирование внеземных территорий: современные задачи космической топонимики // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. Т. 5. С. 63–67.
11. Hargitai H., Li C., Zhang Zh., et al. Chinese and Russian Language Equivalents of the IAU Gazetteer of Planetary Nomenclature: an Overview of Planetary Toponym Localization Methods // *The Cartographic Journal*. 2019. Vol. 56. Iss. 4. P. 335–354. DOI:10.1179/1743277413Y.0000000051.
12. Baer J., Steven R.C. Astrometric Masses of 21 Asteroids, and an Integrated Asteroid Ephemeris // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2008. Vol. 100. P. 27–42. DOI:10.1007/s10569-007-9103-8.
13. Raymond C.A., Asmar S.W., Konopliv A.S., et al. Geophysical Exploration of Vesta // *Proceedings of 43rd Lunar and Planetary Science Conference*. The Woodlands, 2012. P. 1007. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elib.dlr.de/76074/1/1007.pdf> (дата обращения: 20.11.2025).
14. Hirata N., Barnouin-Jha O.S., Honda C., et al. A Survey of Possible Impact Structures on 25143 Itokawa // *Icarus*. 2009. Vol. 200. Iss. 2. P. 486–502. DOI:10.1016/j.icarus.2008.10.027.
15. Susorney H.C.M., Johnson C.L., Barnouin O.S., et al. The Global Surface Roughness of 25143 Itokawa // *Icarus*. 2019. Vol. 325. P. 141–152. DOI:10.1016/j.icarus.2019.01.021.

авторы Варущенко Александр Сергеевич

ФГОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), Москва, Россия
кафедра картографии и геоинформатики, географический факультет
 0009-0003-0578-2785

Нырцов Максим Валерьевич

 nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru
ФГОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), Москва, Россия
кафедра картографии и геоинформатики, географический факультет
д-р техн. наук, профессор
 0000-0002-2428-4381

Поступила 25.11.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Usage of Polyhedral Projections for Mapping Small Solar System Bodies

Aleksandr S. Varushchenko¹✉, Maxim V. Nyrtsov¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
✉ asvar2000@mail.ru

citation Varushchenko AS, Nyrtsov MV. Usage of Polyhedral Projections for Mapping Small Solar System Bodies. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 60–70. DOI:10.30533/GiA-2026-016.

keywords extraterrestrial cartography, small Solar system body, mathematical cartography, polyhedral projection, triaxial ellipsoid

abstract Recent advances in the field of extraterrestrial space research related to obtaining highly detailed data on small Solar system bodies pose a challenge for cartographers to visually display them. Usually, projections described by a single set of parameters and one main scale are sufficient for mapping large celestial bodies. However, this approach may not be sufficient for small bodies, so one solution to this problem may be the use of polyhedral projections. The article substantiates the use of polyhedral projections for mapping small Solar system bodies, and also provides the specifics of making these maps. A method of mapping in polyhedral projections of a triaxial ellipsoid is proposed, consisting of several stages, including the development of a mathematical basis, the selection of a list of projection classes, and the preparation of a map layout and nomenclature. As a result, a technology based on this technique is presented, tested when creating maps in polyhedral projections of a triaxial ellipsoid using the example of asteroid maps (4) Vesta, consisting of 3 projection classes (azimuthal, conical and cylindrical), and (25143) Itokawa, consisting of 2 projection classes (azimuthal and conical).

acknowledgements The research was carried out according to the state assignment No. 121051400061-9.

references 1. Guo S, Li L, Zhu F, et al. Integrated Design Method for Laser Topographic Mapping and Navigation of Small Celestial Bodies. *Journal of Deep Space Exploration*. 2022;9(4): 417–426. DOI:10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20220041.

2. Karachevtseva IP, Savinykh VP, Kokhanov AA. Atlas Fobosa: kontseptsiya, struktura i printsiipy kartografirovaniya [Atlas of Phobos: Concept, Structure and Principles of Mapping]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2015;4: 68–75 (In Russian).
3. Archinal BA, Acton CH, A'Hearn MF, et al. Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2015. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2018;130: 22. DOI:10.1007/s10569-017-9805-5.
4. Artem'eva NA, Bakanas ES, Barabanov SI, et al. *Asteroidno-kometnaya opasnost': vchera, segodnya, zavtra* [Asteroid-Comet Hazard: Yesterday, Today, Tomorrow]. Moscow: Fizmatlit Publ.; 2010. 384 p. (In Russian).
5. Rickman H, Marchi S, A'Hearn MF, et al. Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Constraints on Its Origin from OSIRIS Observations. *Astronomy & Astrophysics*. 2015;583: A44. DOI:10.1051/0004-6361/201526093.
6. Nyrtsov MV, Fleis ME, Nikolaeva DD, et al. Kartografirovaniye nebesnykh tel so sdvoennoi figuroi v proektsiyakh trekhosnogo ellipsoida na primere binarnogo yadra komety 67P/Churyumova – Gerasimenko [Mapping of Celestial Bodies with Bi-Lobate Shape in Triaxial Ellipsoid Projections on the Example of Binary Nucleus of the 67P/Churyumov-Gerasimenko Comet]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2018;62(5): 514–523. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-5-514-523.
7. Burbine TH, Greenwood RC, Zhang B, et al. How Many Vesta-Like Bodies Existed in the Asteroid Belt? *Meteoritics & Planetary Science*. 2024;59(4): 878–894. DOI:10.1111/maps.14134.
8. Kessler FC, Battersby SE. Working with Map Projections. Boca Raton; 2019. 299 p.
9. Shingareva Kira B. Nomenclature of Planetary Surface Details: Current State and Problems. *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*. Santiago de Chile: ICA; 2009. Available from: https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/26_5.pdf (Accessed 20 November 2025).
10. Savinykh VP, Karachevtseva IP, Rodionova ZhF, et al. Kartografirovaniye vnezemnykh territorii: sovremennye zadachi kosmicheskoi toponimiki [Extraterrestrial Cartography: Actual Problems of Space Toponymics]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2016;5: 63–67. (In Russian).
11. Hargitai H, Li C, Zhang Zh, et al. Chinese and Russian Language Equivalents of the IAU Gazetteer of Planetary Nomenclature: an Overview of Planetary Toponym Localization Methods. *The Cartographic Journal*. 2019;56(4): 335–354. DOI:10.1179/1743277413Y.0000000051.
12. Baer J, Steven RC. Astrometric Masses of 21 Asteroids, and an Integrated Asteroid Ephemeris. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2008;100: 27–42. DOI:10.1007/s10569-007-9103-8.
13. Raymond CA, Asmar SW, Konopliv AS, et al. Geophysical Exploration of Vesta. *Proceedings of 43rd Lunar and Planetary Science Conference*. The Woodlands; 2012: 1007. Available from: <https://elib.dlr.de/76074/1/1007.pdf> (Accessed 20 November 2025).
14. Hirata N, Barnouin-Jha OS, Honda C, et al. A Survey of Possible Impact Structures on 25143 Itokawa. *Icarus*. 2009;200(2): 486–502. DOI:10.1016/j.icarus.2008.10.027.
15. Susorney HCM, Johnson CL, Barnouin OS, et al. The Global Surface Roughness of 25143 Itokawa. *Icarus*. 2019;325: 141–152. DOI:10.1016/j.icarus.2019.01.021.

authors Aleksandr S. Varushchenko

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
 Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography
 0009-0003-0578-2785

Maxim V. Nyrtsov

 nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru
 Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
 Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography
 Dr. of Sci. (Engineering), Professor
 0000-0002-2428-4381

Submitted: November 25, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.