

УДК 528.9

КАРТОГРАФИЯ

ИСТОРИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Профессор, доктор техн. наук **М.В. Нырцов**

Московский государственный университет геодезии и картографии

m_nyrtsov@miigaik.ru

Аннотация. Излагается история картографирования малых тел Солнечной системы от первых карт Фобоса до карт астероидов.

Ключевые слова: картография, история, малое тело Солнечной системы

Abstract. The history of mapping of small Solar system bodies from the first map of Phobos to asteroids' maps is described.

Keywords: cartography, history, small Solar system body

В 2006 г. Международный астрономический союз установил определение малых тел (МТ) Солнечной системы путём выделения их из объектов Солнечной системы планет, карликовых планет и их спутников [1]. К МТ относятся астероиды, метеороиды, кометы и проч. [2]. Научными задачами в космических исследованиях МТ являются определение их формы, размеров, гравитационного поля, альбедо и др. Для картографов большой интерес представляют те данные, которые позволяют создавать как общегеографические, так и тематические карты МТ.

Всё чаще мы сталкиваемся с фактами падения на поверхность Земли МТ. Некоторые падения не причиняют вреда, а некоторые несут за собой значительные разрушения. Свидетельством тому является падение метеорита «Челябинск» 15 февраля 2013 г. Здесь следует говорить об астероидно-кометной опасности. Земная атмосфера защищает нас от падения небольших по размерам МТ, но есть и крупные тела, такие как астероиды и кометы, которые долетают до поверхности нашей планеты. Речь идёт об объектах или их фрагментах размером в несколько десятков метров [2].

Карты МТ Солнечной системы позволяют предоставить пользователю научные данные в наглядном графическом виде с возможностью осуществления в дальнейшем анализа и про-

ведения картометрических работ. Рассмотрим историю картографирования МТ Солнечной системы.

30 мая 1971 г. была запущена американская автоматическая межпланетная станция «Маринер-9», основной целью которой было изучение поверхности Марса. Кроме Марса, «Маринер-9» исследовал два его естественных спутника – Фобос и Деймос. Фобос стал первым МТ, отличающимся в своей фигуре от сферы, на которое были получены космические изображения [3]. На тот момент Фобос считался МТ Солнечной системы. До Фобоса фигуры всех крупных небесных тел, таких как планета Марс, спутник Земли Луна, было принято аппроксимировать сферой. Для Фобоса такая референц-поверхность оказалась непригодна, так как его максимальный радиус приблизительно в 1,4 раза больше минимального. К тому же его фигура нерегулярна. Нерегулярность фигур МТ связана с их незначительным гравитационным полем. Фобос создал беспрецедентную проблему для картографирования.

В 1974 г. Томас Даксбери по космическим изображениям Фобоса, полученным «Маринер-9», произвел оценку фигуры и особенностей вращения спутника Марса. Затем он создал бланковую карту Фобоса, где для центральной части тела использовалась цилиндрическая, а для полюсов азимутальная

проекция сферы. Это была первая попытка картографирования МТ, отличающегося своей фигурой от сферы. Карта не давала представления о реальной фигуре тела [4]. На ней были отображены только основные формы рельефа Фобоса (рис. 1).

В 1976 г. Ральф Тёрнер создал топографическую карту Фобоса на основе его физической модели – «глобуса» [5]. Методика определения реальной фигуры Фобоса опиралась на моделирование условий в момент съёмки тела в соответствии с имеющимися изображениями. Соответствия снимкам добивались с помощью пластилина, который добавлялся к модели. В результате, используя серию снимков Фобоса, полученных в различных ракурсах и при разных условиях освещения, Тёрнер смоделировал реальную фигуру Фобоса и определил положение форм рельефа на его поверхности [6]. Затем он использовал модель для создания карты путём измерений координат точек поверхности с точностью до 1 мм. Уровень поверхности трёхосного эллипсоида был принят за нулевой уровень отсчёта высот. По результатам измерений были созданы топографические карты северного и южного полушарий Фобоса (рис. 2).

Для карт использовалась проекция, полученная путём видоизменения равновеликой азимутальной проекции Ламберта для сферы. Изолинии высот на картах были проведены через 100 м. По расчётам Тёрнера ошибки в определении относительных превышений точек на

противоположных сторонах модели достигали 600 м [6]. После получения новых изображений с космических аппаратов «Викинг-1» и «Фобос-2» Ральф Тёрнер выполнил более детальное картографирование и создал новый глобус Фобоса и глобус Деймоса в масштабе 1:100 000 [7].

В 1977 г. Майклом Ноландом и Джоозефом Веверкой была создана карта, отображающая часть поверхности второго спутника Марса Деймоса [8].

С 1976 по 1980 гг. были получены новые снимки Фобоса и Деймоса с космического аппарата «Викинг». По ним в 1979 г. Питер Томас выполнил детальное картографирование спут-

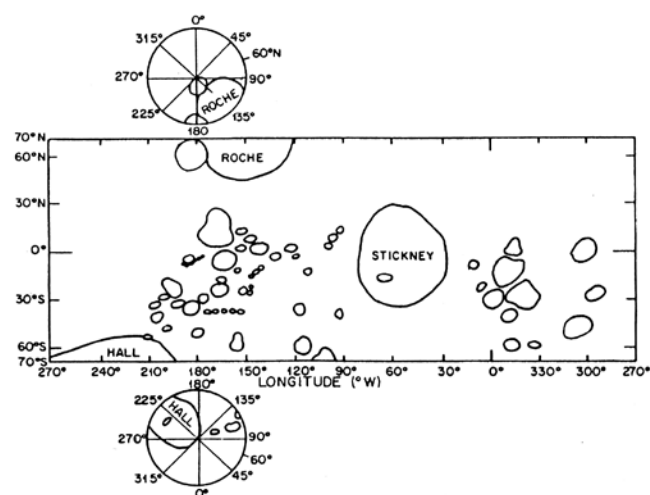


Рис. 1. Бланковая карта малого небесного тела — Фобоса (Т. Даксбери, 1974)

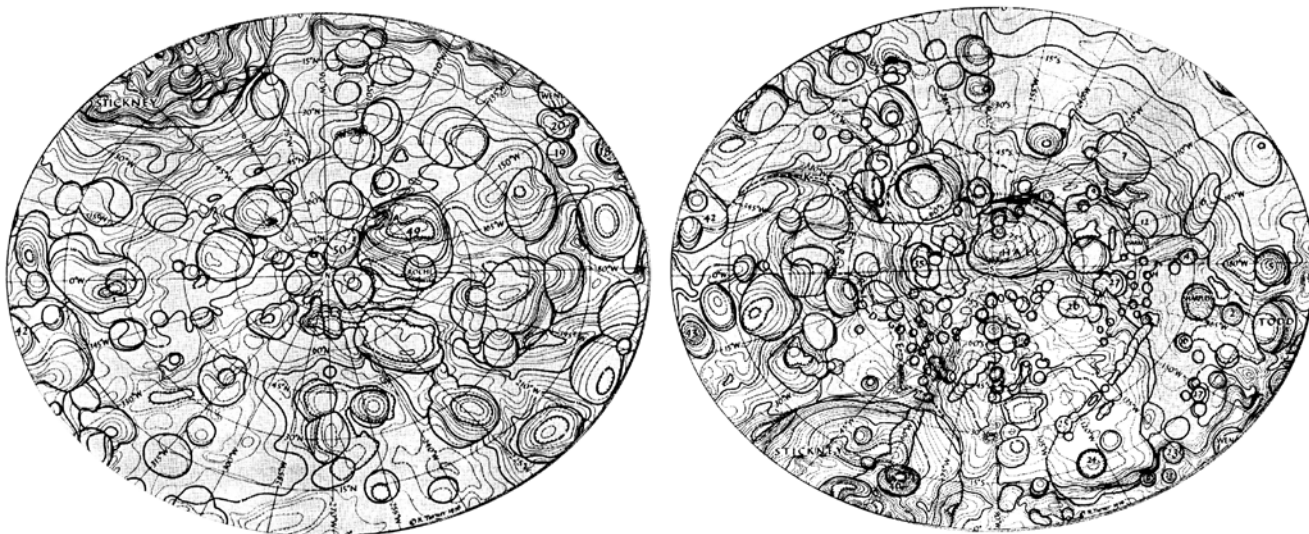


Рис. 2. Топографические карты северного и южного полушарий поверхности Фобоса (Р. Тёрнер, 1976)

ников Марса. Для территорий, расположенных в широтах от 0 до 60°, использовалась равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора, выше 60-й параллели — равновеликая азимутальная проекция. В качестве референц-поверхности использовалась сфера.

Традиционные цилиндрические проекции использовались группой учёных во главе с П. Томасом для создания карт различных малых небесных тел в Корнелльском университете (США). Это были карты Фобоса и Деймоса, Амальтеи, Гипериона, Фебы, Гаспры и Иды. В равнопромежуточной вдоль меридианов квадратной цилиндрической проекции сферы создавались карты Протея — спутника Нептуна и ядра кометы Галлея. Для создания фотомозаик поверхностей Фобоса, Гаспры, а также отображения активных областей ядра кометы Галлея использовалась равновеликая синусоидальная псевдоцилиндрическая проекция сферы.

В 1980 г. Филипп Стук в Университете Виктория (Британская Колумбия, Канада) осуществил эксперимент с видоизменением картографических сеток регулярных референц-

поверхностей под нерегулярную фигуру МТ [9]. Используя цифровые модели, он создал новый класс видоизменённых азимутальных проекций, которые называл «проекциями с переменным радиусом» или «морфографическими проекциями» [10–12]. Они получились введением радиус-векторов, отсчитываемых от центра масс тела, из цифровой модели в уравнения традиционных азимутальных проекций. Результатом исследований стали новые карты спутников Марса Фобоса и Деймоса (рис. 3).

В отличие от ранее созданных карт, карты Ф. Стука передавали реальную фигуру тела. Методика, предложенная им, была применена к другим малым телам.

В 1988 г. профессор Л. М. Бугаевский разработал специально для картографирования Фобоса нормальную равноугольную цилиндрическую проекцию трёхосного эллипсоида. В МИИГАиК при участии МГУ в этой проекции была создана карта поверхности Фобоса (ответственные редакторы В.П. Белов, Л.М. Бугаевский, Б.В. Краснопевцева, К.Б. Шингарева). В основу содержания легла

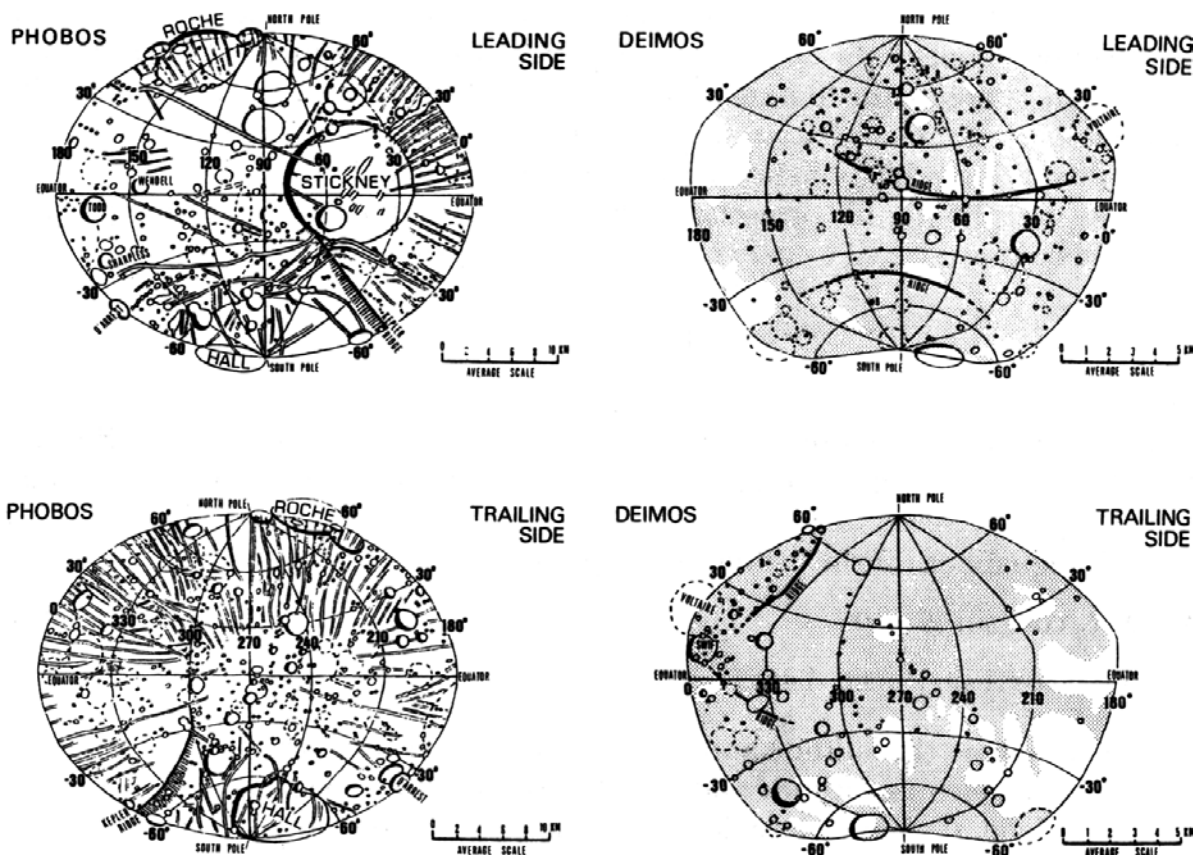


Рис. 3. Карты Фобоса и Деймоса в морфографической проекции (Ф. Стук, 1982)

карта П. Томаса и опубликованные материалы съёмки с космических аппаратов «Маринер-9» и «Викинг-1», а также модель Р. Тёрнера [3]. Рельеф поверхности отображался с помощью отмывки. На карте были показаны такие формы рельефа, как кратеры, борозды, гряды, уступы, блоки, бугристые зоны и каньонообразные структуры [6]. Карта поверхности Фобоса была использована в Атласе планет Земной группы и их спутников, выпущенном МИИГАиК в 1992 г. Помимо карты, был создан глобус Фобоса в форме трёхосного эллипсоида.

Джоном Снайдером для трёхосного эллипсоида был разработан аналог равноугольной цилиндрической проекции Меркатора для сферы [13]. К сожалению, проекция так и не нашла практического применения. Равноугольным проекциям трёхосного эллипсоида были также посвящены работы проф. МГУ Б.Б. Серапинаса.

В конце 1980-х гг. для решения навигационных задач в проекте «Фобос» ИКИ РАН и МГУ на основе карты Р. Тёрнера, построенной по изображениям, полученным «Маринер-9», и позднее уточнённой по снимкам «Викинга-1», была разработана цифровая модель Фобоса. Она была необходима для обеспечения точности определений центра масс Фобоса, расстояния до него и ориентации Фобоса в пространстве.

В лаборатории аэрокосмических методов географического факультета МГУ по картам Ральфа Тёрнера была создана модель – глобус Фобоса в масштабе 1:100 000. Эту работу выполнили Л.П. Винников, И.Г. Индиченко, А.И. Кошиц и Б.Б. Серапинас. Они применили специально сконструированный для этой цели пространственный полярный координатограф. Модель Фобоса использовалась для привязки снимков путём её фотографирования и моделирования различных условий съёмки [6].

Сопоставление снимков, сделанных «Фобос-2», с картой Фобоса МИИГАиК позволило её дополнить и уточнить. На карте были выявлены расхождения в положении кратеров, заметные при сравнении с картой Геологической службы США, составленной по более точным материалам съёмки с «Викингов». Это было связано с использова-

нием модели Р. Тёрнера [6].

В 1992 г. в своей докторской диссертации проф. К.Б. Шингарёва (МИИГАиК) разработала классификацию карт тел Солнечной Системы (планет и их спутников) на основе предложенной ею ранее классификации карт Луны.

В 1993 г. на кафедре картографии МИИГАиК под руководством проф. Л.М. Бугаевского автором начаты исследования по разработке картографических проекций реальных поверхностей небесных тел с нерегулярной фигурой [14, 15]. Были поставлены задачи по видоизменению традиционных проекций для картографирования МТ, в частности проекций, отображающих тело в планетарном масштабе. Эти проекции не попали в поле зрения проф. Ф. Стука. Автором была сформулирована необходимость разработки методов оценки достоинств вышеупомянутых проекций.

По результатам исследований в 2001 г. автором была защищена кандидатская диссертация на тему «Разработка картографических проекций реальных поверхностей небесных тел и способов их исследования». Основные результаты диссертационных исследований — теоретические основы картографических проекций реальных поверхностей небесных тел и способы оценки их достоинств. Практическим результатом стали карты Фобоса в этих проекциях, среди которых были проекции, передающие целиком всю поверхность небесного тела с отображением его реальной фигуры (рис. 4).

После защиты кандидатской диссертации исследования продолжились в направлении разработки теоретических аспектов картографирования малых тел Солнечной системы.

В 2004 г. Институтом картографии Дрезденского Технического Университета (Германия) вместе с МИИГАиК, Институтом географии РАН и Университетом Западного Онтарио (Лондон, Канада) были выпущены многоязыковые карты Фобоса и Деймоса, которые вошли в серию многоязыковых карт планет и спутников Земной группы. Серия выпускалась при поддержке Международной картографической ассоциации.

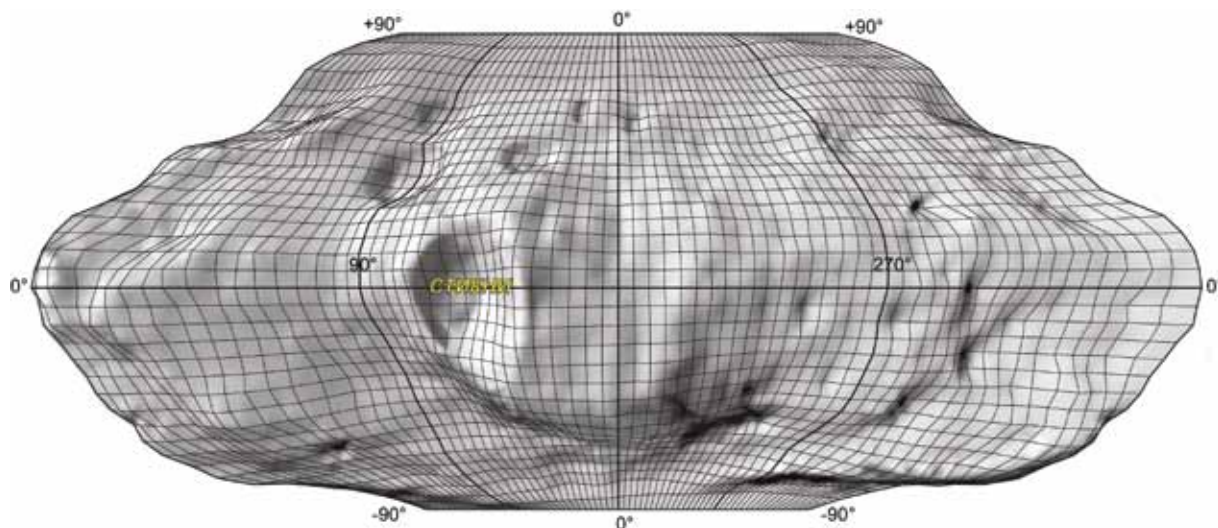


Рис. 4. Карта поверхности Фобоса в видоизменённой псевдоцилиндрической проекции Каврайского (М.В. Нырцов, 2000)

В 1996 г. НАСА запустило космический аппарат «НИАР Шумейкер», целью которого явилось изучение астероида, сближающегося с Землёй. Этим астероидом стал 433 Эрос. Космический аппарат вошёл в историю как первый искусственный спутник астероида и первый искусственный объект, совершивший посадку на поверхность астероида. По пути к Эросу аппарат исследовал также астероид Матильда.

В декабре 1998 г. «НИАР Шумейкер» начал передавать первые изображения Эроса. В общей сложности мультиспектральной камерой космического аппарата было получено более 1100 космических изображений. Они использовались для определения фигуры, морфологии, состояния вращения, спектральных характеристик поверхности Эроса. Астероид 433 Эрос поставил новую задачу перед картографами по отображению его реальной фигуры. Он имеет экстремально вытянутую форму, и поэтому необходимо было изыскивать новые возможности его картографирования.

Одна из задач, изложенных в докторской диссертации автора на тему «Разработка теории и методологии картографирования малых небесных тел», которая была защищена в 2012 г., заключалась в разработке проекций, позволяющих отобразить экстремально вытянутые нерегулярные тела, подобные астероиду

433 Эрос. Были предложены новые проекции трёхосного эллипсоида, а также проекции реальных поверхностей небесных тел, которые позволили отобразить реальную фигуру астероида [16].

Следующим объектом картографирования стал астероид Итокава. (25143) Итокава является околоземным астероидом с сильно вытянутой орбитой, двигаясь по которой вокруг Солнца, он пересекает орбиты Земли и Марса. Астероид был открыт 26 сентября 1998 г. в рамках программы LINEAR в обсерватории Сокорро. Назван он в честь основателя японской космической программы профессора Хидэо Итокавы. Астероид вошёл в историю как первый астероид, с которого на Землю были доставлены образцы грунта японским зондом «Хаябуса» [2].

В 2013 г. была получена равноугольная проекция Якоби для трёхосного эллипсоида, у которого полуоси $a > b > c$. Значения полуосей были взяты для астероида Итокава: $a = 267,5$ м; $b = 147$ м; $c = 104,5$ м [17]. Проекция позволила картографировать астероид целиком (рис. 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Резолюция Международного астрономического союза http://www.iau.org/public_press/news/detail/iau0603/ Дата обновления 18.02.14.
2. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / Под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыловой –М.: Физматлит, 2013.
3. Нырцов М.В., Флейс М.Э., Борисов М.М. Картографирование астероида 433 Эрос в равнопромежуточных вдоль

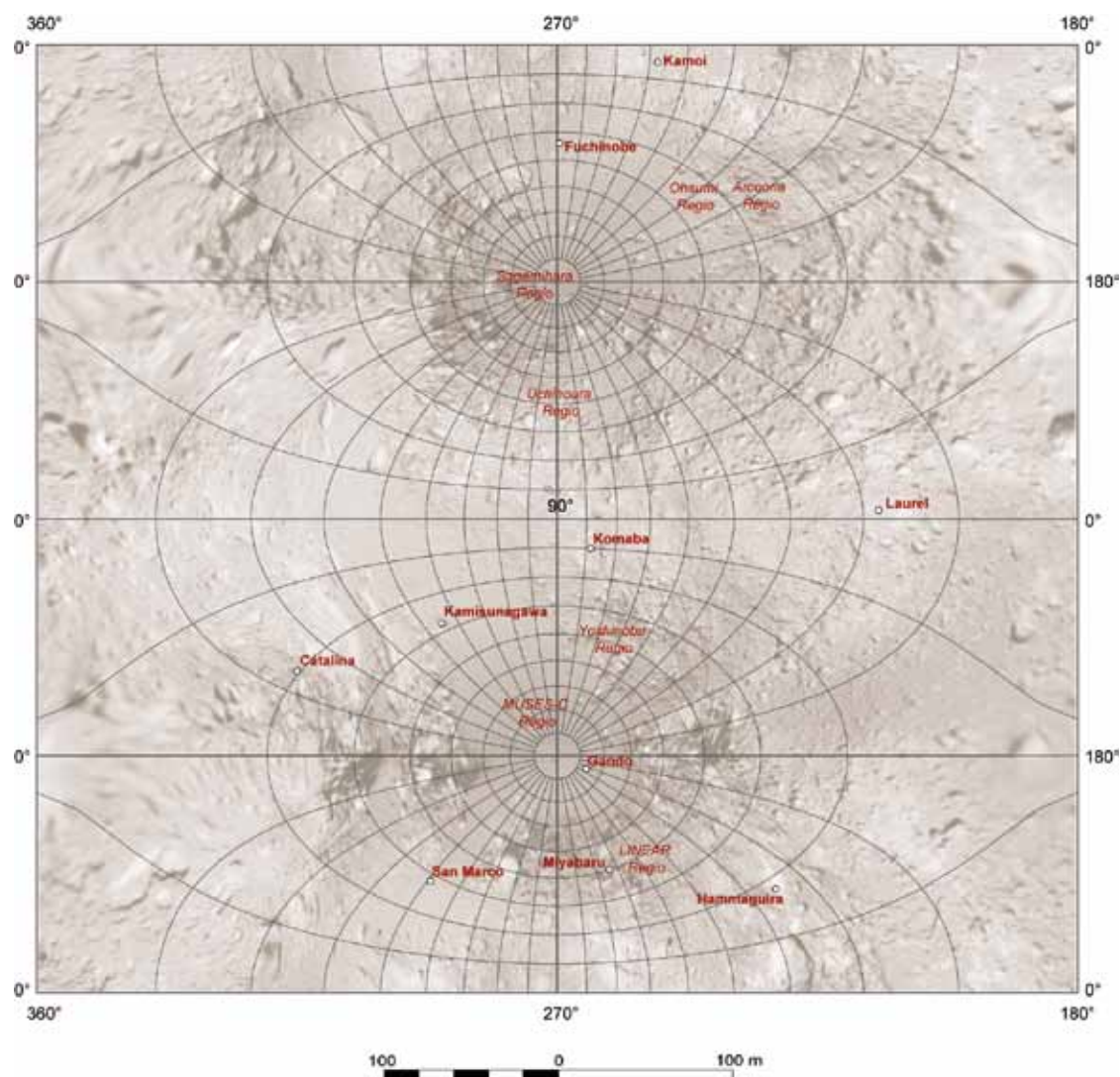


Рис. 5 Карта поверхности астероида Итокава (М.В. Нырцов и др., 2013)

меридианов цилиндрической и азимутальной проекциях трёхосного эллипсоида // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». –2012. –№1. –С. 54–61.

4. Stooke, P.J. Mapping Worlds with Irregular Shapes // The Canadian Geographer / Le Geographe canadien 42. – № 1. – 1998.

5. Turner, R. A model of Phobos // Icarus 33, 1978, pp. 116 – 40.

6. Телевизионные исследования Фобоса / Г. А. Аванесов, Б. С. Жуков, Я. Л. Зиман и др. –М.: Наука, 1994. –168 с.

7. Blunck, J. Der Rote Planet im Karten Bild (Berlin: Justus Perthes Verlag Gotha GmbH), 1994.

8. Noland, M., and Veverka, J. The photometric functions of Phobos and Deimos II: Surface photometry of Deimos // Icarus 30, 1977, pp. 200 – 211.

9. Stooke, P.J. 1982 Phobos and Deimos, Yearbook of Astronomy, ed. P. Moore (London: Sidgwick and Jackson Ltd.), 1983, pp. 154–157.

10. Stooke, P.J. Automated cartography of non-spherical worlds// Proceedings of the Second International Symposium on Spatial Data Handling, Seattle, WA, July 1986, pp. 523–536.

11. Stooke, P.J. “Cartography of non-spherical worlds” Phd dissertation. University of Victoria, Victoria, British Columbia, 1988.

12. Stooke, P.J. and Keller, C.P. Map projections for Non-Spherical Worlds: The Variable-Radius Projections//Cartographica 27, 1990, pp. 82–200.

13. Snyder, J.P. Conformal mapping of the triaxial ellipsoid// Survey Review 28, 1985, pp. 130–148.

14. Нырцов М.В. К вопросу о разработке нетрадиционных видов картографических изображений // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». –1997. –№5. –С. 54–58.

15. Нырцов М.В. Разработка картографических проекций реальных поверхностей небесных тел и способов их исследования: Дисс. на соиск. ст. к.т.н.: 05.24.03 / Москва, 2000. –182 с.

16. Нырцов М.В. Разработка теории и методологии картографирования малых небесных тел: Дисс. на соиск. ст. д.т.н.: 25.00.33 / Москва, 2012. –2 тома.

17. Maxim V. Nyrtsov, Maria E. Fleis, Michael M. Borisov and Philip J. Stooke. Jacobi Conformal Projection of the Triaxial Ellipsoid: New Projection for Mapping of Small Celestial Bodies. Cartography from Pole to Pole, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. M. Buchroithner et al. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014.

Принята к печати 26 февраля 2014 г.
Рекомендована кафедрой географии МГИИГАиК