

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Картографирование малых небесных тел Солнечной системы  
на примере Фобоса**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 431 группы

направления 05.03.03 – Картография и геоинформатика

географического факультета

Ломовой Елены Валерьевны

Научный руководитель  
ст. преподаватель



П. А. Шлапак

Зав. кафедрой  
к.с.-х.н., доцент



В. А. Гусев

Саратов 2020

**Введение.** В Солнечной системе межпланетное пространство наполнено множеством объектов разных форм и размеров. В нем находятся скопления малых небесных тел, в некоторых случаях, достигающие миллионов километров, такие как, например: главный пояс астероидов, пояс Койпера, объекты рассеянного диска и облака Оорта, а также «кентавры, греки, троянцы, хильды» и околоземные астероиды. Объекты, образующие эти скопления, обладают разными размерами, от астероидов, имеющих диаметр более 30 метров, метеороидов – 30 -10 метров, до межпланетной пыли – до 0,2 микрометров, а также имеют различную скорость движения и отличаются многими особенностями. Данные тела представляют огромный интерес для научного сообщества. Например, благодаря своей небольшой массе, спутники планет-гигантов теоретически являются хорошими базами для освоения и дальнейшего изучения больших планет. Так как притяжение спутника в разы меньше, на его поверхность проще осуществлять посадку и взлет. При изучении комет и астероидов, ученые могут получить информацию о развитии Солнечной системы. Неотъемлемым атрибутом изучения малых небесных тел является их картографирование, процесс которого отличен от картографирования других объектов Солнечной системы.

*Актуальность исследования.* Для исследователей Солнечной системы Фобос представляет огромный интерес по нескольким причинам. Первоначально, это хороший форпост при детальном изучении Марса. Передача образцов грунта поверхности Фобоса – логичный шаг при организации доставки образцов поверхности Марса. При планировании миссий нужно иметь представление о рельефе и уклонах поверхности Фобоса, а также о забираемом веществе, для определения типа грунтозаборных устройств. Кроме этого, Фобос интересен как представитель многочисленного семейства МНТ Солнечной системы. На МНТ нет вулканизма и тектоники, нет атмосферы и гидросферы, благодаря этому, их облик определяют ударное кратерообразование, склоновые процессы и космическое выветривание вещества поверхности. Также, первостепенной задачей для исследователей

считается разгадка тайны возникновения Фобоса. Является ли он захваченным астероидом, остатком планетезималей, из которых был образован Марс или же объектом второго поколения Солнечной системы, сформированным на околомарсианской орбите?

В связи с этим, *целью бакалаврской работы* является изучение процесса картографирования малых небесных тел на примере геоинформационного моделирования Фобоса. Для достижения поставленной цели необходимо было решить *следующие задачи*:

- определение целей и задач их картографирования;
- выявление особенностей картографирования малых небесных тел;
- рассмотрение методики создания карт МНТ;
- создание готовых картографических произведений и моделей;
- анализ истории миссий к МНТ;
- анализ истории картографирования Фобоса;
- рассмотрение методики выбора оптимального места посадки космического аппарата на небесное тело.

*Материалы исследования.* Основными источниками для написания работы послужили электронные ресурсы, литературные источники, учебно-методические материалы. Также в работе использовалось лицензионное программное обеспечение, предоставленное учебной лабораторией геоинформатики и тематического картографирования, и, находящееся в свободном доступе.

Бакалаврская работа состоит из 3 разделов, введения, заключения, списка использованных источников. Кроме того, практическая часть проиллюстрирована приложениями.

### **Основное содержание работы.**

#### **1 Особенности картографирования малых небесных тел**

Первый раздел включает в себя определение целей, задач и особенностей при картографировании малых небесных тел (МНТ), анализ истории

экспедиций к МНТ, а также методику выбора оптимального места посадки космического аппарата на небесное тело.

Благодаря своему химическому составу, МНТ представляют большой практический интерес, так как их содержимое не изменялось со дня формирования Солнечной системы, а это приблизительно 4.6 миллиардов лет. Картографирование - самый распространённый метод исследования небесных тел. На сегодняшний день картографические произведения, отображающие небесные тела необходимы для достижения ряда целей как научного, так и прикладного характера. К ним относятся, первоначально [1]:

- представление в наглядной форме результатов космических исследований;

- изучение рельефа, процессов, происходящих на поверхности спутника и их историческое развитие;

- навигационное обеспечение полётов к небесным телам;

- освоение внеземных территорий;

- популяризация знаний о небесных телах.

А также следует отнести задачи, связанные с ростом направлений и удельного веса тематического картографирования. Существенно возрастает роль карт как физических свойств, так и особенностей морфологии поверхности, геоморфологических, геохимических, геофизических карт, а также карт специального назначения. В последние годы быстрыми темпами развивается геоинформационное картографирование, ориентированное на создание баз данных кратеров (их диаметров и глубины) небесных тел и различные морфометрические характеристики (уклоны, экспозиция, шероховатость и т.д.). Кроме того, к основным задачам относят обеспечение полетов к другим небесным телам и посадок на поверхность этих тел, разработка программ проведения измерений и экспериментов на поверхности и в околопланетном пространстве. А также, одной из главных задач картографирования, небесных тел является создание различных

картографических произведений для учебных, справочных и демонстрационных целей [2].

Анализ всех миссий к малым небесным телам показал, что их можно условно разделить на 2 типа: экспедиции к астероидам и кометам, а также, экспедиции к спутникам. Первая группа отличается четкой направленностью задач. Вторая предполагает картографирование спутников как одну из множества целей, где наиболее приоритетно исследование планет. В отличие от миссий к планетам Солнечной системы, миссии к малым небесным телам не являются основной целью. Первостепенно изучение планет, так как они представляют интерес, например, в качестве альтернативного места обитания для человечества или его колоний. Это и является основной трудностью при исследовании малых небесных тел.

Для подробного изучения небесных тел, анализа состава грунта, исследования процессов, происходящих на поверхности и их рассмотрения в историческом развитии важен непосредственный контакт с изучаемым объектом. Выбор оптимального места для посадки на небесное тело является одной из основных задач при обеспечении полетов космических аппаратов.

При выборе зоны для посадки аппарата на любое небесное тело следует подобрать наилучшее положение на ее поверхности. Критерии выбора данного положения зависят от цели миссии, рельефа поверхности, видимости Солнца и других факторов. Их комплекс устанавливает требования, по которым отбираются места, наилучшим образом пригодные для посадки КА [3,4].

## **2 Методика создания карт**

Во втором разделе была проанализированы методика картографирования малых небесных тел, существующие типы фигур МНТ и геопорталы с картографическими данными по Фобосу.

Методика создания карт малых небесных тел впервые была составлена Нырцовым М.В. в своей диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук в 2012 году, и на сегодняшний день является единственной.

Предложенная М.В. Нырцовым методика представляет собой перечень необходимых последовательных действий [5].

Первый этап представляет собой сбор и систематизацию исходных данных разных типов, на картографируемый объект, исследование особенностей объекта, а также субъекта картографирования. Ядра комет, метеорные тела, астероиды и их спутники, малые естественные спутники планет и карликовых планет, удаленные малые тела, обычно, имеющие нерегулярную форму, отличную от сферы, являются объектом для картографирования. Особенности рельефа поверхности, геология, геофизические явления, такие как альбедо, гравитационные поля и другие представляют собой субъект картографирования [6].

Исходными данными для картографирования небесных тел могут быть как первичные, так и вторичные материалы. Космические изображения небесных тел являются основными материалами, получаемыми непосредственно съёмочной аппаратурой, установленной на борту космического аппарата, и представляют собой первичные данные. Ранее созданные картографические произведения являются вторичными данными.

Изучение МНТ производится в основном неконтактным способом. Процесс неконтактного изучения Земли, планет, спутников, их поверхностей и недр, отдельных объектов, динамических процессов и явлений путем регистрации и анализа их собственного или отраженного электромагнитного излучения называется «дистанционное зондирование». Регистрация выполняется с космических аппаратов, оборудованных специальными техническими средствами. После получения космических снимков их необходимо расшифровать. Этот процесс называется дешифрированием. Далее следует этап их подготовки. Подготовка материалов включает в себя создание фотомозаики, которая так же может представлять собой готовое геоизображение [5,6].

Создание фотомозаики происходит за счет использования всех доступных космических изображений, несмотря на разность их разрешений. Получаемая

фотомозаика представляет собой "лоскутное одеяло" из снимков, имеющих разную подробность. Следующим этапом при подготовке исходных данных является создание цифровой модели рельефа, от которой зависит точность готовых карт МНТ. Создание цифровой модели рельефа необходимо при создании аналитической отмычки рельефа, при вычислении и построении проекции реальных поверхностей, а также, при анализе первоначальных материалов о МНТ.

Следующим этапом создания карт малых небесных тел считается выбор её математической основы. Благодаря тому, что фигура МНТ представляет собой основополагающий фактор для его картографирования, то, первоначально, главной задачей является выбор референц-поверхности, через которую она будет аппроксимироваться. Референц-поверхность, которая наиболее соответствует реальной поверхности, выбирается исходя из обработки космических изображений и оценки фигуры картографируемого МНТ.

Далее следуют такие этапы, как: выбор масштаба и проекции готовой карты, создание макета компоновки, разработка редакционных документов, составление, оформление, корректура и редакционная проверка [7,8].

### **3 Картографирование Фобоса**

Третий раздел направлен на анализ истории картографирования Фобоса, а также, на создание новых геоизображений на данное небесное тело.

С помощью последовательности снимков, полеченная на борту космического аппарата «Mars Express», была создана схема расположения кратеров на поверхности небесного тела, для пространственной ориентации, и являлись отправной точкой в дальнейшем картографировании Фобоса.

Самым успешным на сегодняшний день результатом картографирования Фобоса является, выпущенный в 2015 году И.П. Карачевцевой, В.П. Савиных, А.А. Кохановым при поддержке Московского государственного университета геодезии и картографии «Атлас Фобоса» [9]. Именно карты из этого атласа и легли в основу для дальнейшего анализа и картографирования поверхности малого небесного тела. Также для создания каталога кратеров и борозд была

использована гипсометрическая карта из ранее созданного Атласа планет земной группы и их спутников Родионовой Ж.Ф [10]. На их основе создана глобальная топографическая карта, на которой высоты показаны способом горизонталей с сечением 250 м и гипсометрическая карта с сечением 600 метров. Полученная карта высот дала возможность создать цифровую модель рельефа поверхности Фобоса. Для визуализации данных, был создан «облёт поверхности» картографируемого объекта.

С помощью дополнительного модуля ArcGIS ArcGlobe была создана сферическая модель малого небесного тела. На ней отображены системы кратеров и борозд. Данная визуализированная 3D модель Фобоса не только непосредственно передает положение и распределение высот, кратеров и борозд, но и показывает реальное вращение малого небесного тела. Как известно, Фобос проходит оборот вокруг своей оси за 7 часов 39 минут 14 секунд, соответственно его скорость вращения равна  $\approx 0,01306525317$  °/сек (градусов в секунду). На основе этого была создана анимация, передающая данные характеристики.

Используя специальный модуль Spatial Analyst внутри программы ArcGIS, была получена карта экспозиции склонов поверхности Фобоса, выполненная в масштабе 1:200 000. Анализ полученной карты показал, что склоны южной экспозиции имеют наибольшее распространение и являются преобладающими. При использовании прежнего программного продукта была создана карта уклонов поверхности Фобоса. Уклон характеризует степень повышения или понижения местности. Градусная мера угла наклона характеризует крутизну ската данной линии местности. При анализе полученной нами карты, составленной в масштабе 1:200 000, было выявлено, что наибольшее распространение имеет уклон от 15 до 30 градусов. Также была создана карта потенциала притяжения в масштабе 1:200 000, которая показывает силу притяжения в конкретной точке, действующую на единичную точечную массу, карта центробежного потенциала, созданная в масштабе 1:200 000, вводит поправки в карту



потенциала притяжения, так как показывает величину инерции при вращении Фобоса. С помощью инструмента "Алгебра карт" программного модуля Spatial Analyst была создана карта потенциала тяжести поверхности Фобоса в масштабе 1:200 000. Карта содержит характеристику силы, с которой тело, находящееся на поверхности, давит на нее. Эти данные необходимы при расчетах, так как чем больше данный показатель, тем больше плотность и вес забираемого вещества, а так же потребуется большая мощность при попытке взлета с поверхности Фобоса.

Проанализировав полученные нами картографические изображения и предложенные ранее отечественными учеными возможные зоны для высадки космического аппарата "Фобос-Грунт 2", мы пришли к выводу, что выбранные ранее возможные зоны для высадки на поверхность Фобоса наилучшим образом удовлетворяют все условия, а также, выбрали наиболее подходящую для высадки зону - «Зона 2», находящаяся в окрестностях области Лапута и равнины Лагадо.

В качестве визуализации, была создана интерактивная модель поверхности Фобоса в формате приложения для ПК 32- и 64-битной разрядности, содержащая в себе уменьшенную копию карты и телепорты к крупным кратерам и зонам для высадки, для лучшей ориентации пользователя в пространстве, макеты КА "Фобос-Грунт 2" и "Martian Moons Exploration". Реализация полноценной поверхности Фобоса была достигнута путем экспорта карты высот и задачей горизонтального масштаба 1:250 000 и вертикального - 1:50. Игровой вариант представления информации обеспечивает наилучшую наглядность и доступность, а так же, обеспечивает как научно-популяризационные цели, так и задачи прогнозирования посадки КА на небесное тело.

### **Заключение.**

В данной работе были рассмотрены особенности и методика картографирования малых небесных тел Солнечной системы, методика выбора зон для посадки на небесные тела, а также, история миссий к МНТ.

Был произведен анализ существующих геопорталов с пространственными данными на Фобос, а так же рассмотрена история создания картографических произведений этого небесного тела. В процессе исследования были рассмотрены вопросы, связанные с работой над различными источниками данных.

Результатами нашего исследования являются созданные нами картографические произведения, такие как топографическая и гипсометрическая карта Фобоса, карты уклонов и экспозиции поверхности, карты центробежного потенциала, потенциала притяжения и тяжести, цифровая модель рельефа поверхности, а также сферическая модель малого небесного тела. Произведен анализ предполагаемых зон для высадки на поверхность Фобоса и выбрана одна наилучшая. В качестве наглядной демонстрации, нами были созданы схема расположения кратеров, анимационный маршрут по цифровой модели рельефа, сферическая модель, отображающая реальное вращение данного небесного тела, а также интерактивная 3D-модель в формате отдельного приложения, обеспечивающая как научно-популярные цели, так и задачи прогнозирования посадки космического аппарата на небесное тело.

#### **Список использованных источников.**

1 Нырцов, М. В. Карты малых небесных тел: формы их представления и способы использования / М.В. Нырцов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2009. № 1. — С. 90–95.

2 Шингарева, К. Б. Концепция картографирования тел солнечной системы в ее историческом развитии: дис. док. физико-математ. наук / К. Б. Шингарева. - Москва, 1992. - 58 с.

3 Шишов, В.А. Построение теории движения Фобоса для навигационного обеспечения проекта Фобос-Грунт: автореф. дис. канд. физико-математических наук / В. А. Шишов. - Москва, 2008. – 23 с.

4 Шингарева, Т.В. Геологическое строение и вещественный состав Фобоса: автореф. дис. канд. геолого-минералогических наук / Т. В. Шингарева. - Москва, 2009. – 27 с.

5 Нырцов, М.В. Разработка теории и методологии картографирования малых небесных тел: автореф. дис. док. технич. наук / М.В. Нырцов. -Москва, 2012.- 47 с.

6 Зубарев, А.Э. Проблемы обработки данных дистанционного зондирования для моделирования фигур малых тел Солнечной системы / А.Э. Зубарев, И.Е. Надеждина, А.А. Конопихин // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2012. Т.9, № 4. — С. 277-285.

7 Нырцов, М.В. Разработка картографических проекций реальных поверхностей небесных тел и способов их исследования: автореф. дис. канд. технич. наук / М.В. Нырцов. - Москва, 2000.- 24 с.

8 Коханов, А.А. Разработка содержания карт и методики их создания для обеспечения российских космических миссий по исследованию тел Солнечной системы: автореф. дис. канд. технич. наук / А. А. Коханов. - Москва, 2017. – 24 с.

9 Атлас Фобоса / И. П. Карачевцева, А. А. Конопихин, А. А. Коханов и др. — МИИГАиК Москва, 2015. — 220 с.

10 Родионова, Ж. Ф. Гипсометрические карты. Картометрические исследования // Атлас планет земной группы и их спутников. — МИИГАиК Москва, 1992. — С. 65–80.

