

ВВЕДЕНИЕ

Под аэрокосмической информацией в настоящем издании подразумеваются данные о расположенных на поверхности Земли объектах и элементах гидросферы, включая рельеф дна Мирового океана, получаемые как космическими, так и воздушными средствами съёмки. Помимо земной поверхности, спутниковые средства позволяют также вести съёмку планет Солнечной системы, атмосферы и космического пространства.

Словослияния «аэрокосмическая» и «аэрокосмические» в данном контексте будут применяться к информации в целом и методам её получения, но не к понятию снимка (оптического, оптико-электронного, радиолокационного, теплового и пр.), поскольку, как ранее отметил выдающийся советский и российский учёный Сергей Валентинович Кнорозов (1911–1998), «...встречающееся в последнее время в отечественной технической и научной литературе словообразование “аэрокосмический фотоснимок”»... столь же сомнительно, как “дубососновая доска”» [1,2].

Развитие технологий сбора пространственных данных с применением воздушного и космического сегмента [2], средств вычислительной техники, компьютерных технологий и графики обеспечили возможность автоматизированного создания и использования картографической продукции на основе географических информационных систем (ГИС), цифровых фотограмметрических систем (ЦФС), данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), баз картографических данных и знаний и связанных с ними методов, алгоритмов и технологий обработки аэрокосмической информации.

С конца девяностых годов прошлого столетия в соответствии с новыми государственными общеобразовательными стандартами профессионального образования в процесс обучения начали вводиться новые учебные дисциплины: геоинформационные системы [3], геоинформационное картографирование [4] и геоинформационные технологии [5].

Современный процесс картографирования, осуществляемый с использованием геоинформационных систем, называется геоинформационным картографированием, которому также посвящена одноимённая дисциплина, преподаваемая в ведущих профильных вузах страны.

Первый российский стандарт по геоинформационному картографированию ГОСТ Р 50828, разработанный в 29-м Научно-исследовательском институте Министерства обороны Российской Федерации, был принят и введён действие в 1995 г. [6].

Начальное определение геоинформационного картографирования сформулировано в 1997 г. заведующим кафедрой картографии и геоинформатики МГУ профессором Александром Михайловичем Берлянтом: «Геоинформационное картографирование — это автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний. Суть геоинформационного картографирования составляет информационно-картографическое моделирование геосистем» [4].

При подготовке пособия использованы авторские учебно-методические комплекты из лекционных материалов, заданий для лабораторных и практических работ, разработанные для студентов ФГБОУ «МИРЭА — Российский технологический университет» по следующим дисциплинам: Геоинформационное картографирование, Технологии сбора пространственных данных аэрокосмическими методами [2], Применение геоинформационных технологий в градостроительстве и территориальном управлении, Пространственные данные в кадастровой деятельности.

В конце издания приведены примеры заданий для выполнения практических работ, включая задание на размышление и выявление иных видов дистанционного зондирования и аэрокосмических методов получения пространственных данных.

Перечень используемых сокращений на русском языке и латинице размещён в конце учебного пособия.

Книга предназначена для студентов, аспирантов, преподавателей, научных сотрудников и специалистов, которые изучают и используют геоинформационные системы и технологии [5] для обработки аэрокосмической информации в целях картографирования и обеспечения принятия решений.

ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

1.1. Дистанционное зондирование

Развитие аэрокосмических методов, включая дистанционное зондирование (ДЗ) Земли, небесных тел и объектов, приводит к появлению новых видов исследования земной поверхности, её недр, атмосферы и космического пространства.

С введением ГОСТ Р 70846.2-2023 появилось следующее определение дистанционного зондирования Земли: дистанционный сбор данных о поверхности Земли, объектах и явлениях, расположенных и происходящих на ней, в её недрах или под водой с использованием различных типов аппаратуры, устанавливаемой на борту воздушного или водного судна, космического аппарата или иной подвижной или неподвижной платформы, с целью определения положения, размеров и характеристик объектов и явлений (а также их изменений) [7].

Таким образом, к дистанционному зондированию Земли уже можно отнести:

- космическую съёмку в различных спектральных диапазонах;
- космическое картографирование гравитационного поля Земли;
- спутниковые определения уровней загрязнения воды, высоты снежного покрова, биомассы растительности, температуры поверхности Земли;
- воздушное фотографирование местности;
- воздушное лазерное сканирование;
- воздушное батиметрическое сканирование континентального шельфа;
- подводную съёмку и гидролокацию;
- поиск подземных коммуникаций (с помощью специализированного трассопоискового оборудования);
- геофизические исследования в скважинах.

Помимо перечисленных выше методов, к дистанционному зондированию относятся также:

- планетная радиолокация;
- определение параметров орбит ИСЗ с помощью доплеровских измерений с наземных станций слежения;
- спутниковая спектрометрия;
- лазерное зондирование атмосферы из космоса;
- космическое и аэрогеологическое зондирование атмосферы (определение эмиссии парниковых газов, исследование состава атмосферы, газообмена, расчёт параметров атмосферы по спутниковым снимкам);
- радиозатменное зондирование атмосферы с помощью сигналов глобальных навигационных спутниковых систем;
- астрономические наблюдения и астрофотографирование.

Не все перечисленные виды ДЗ и ДЗЗ являются аэрокосмическими методами, и наоборот, ряд аэрокосмических методов не относится к дистанционному зондированию (см. табл. 1.1).

Приведённый выше список видов дистанционного зондирования и табл. 1.1 не является исчерпывающим. Во время выполнения практической работы № 1 (см. раздел «Задания для практических работ» настоящего учебного пособия) вам предстоит творческое дополнение перечня аэрокосмических методов сбора пространственных данных и примеров дистанционного зондирования, перечисленных в табл. 1.1 и рассматриваемых в следующих разделах Главы 1.

Таблица 1.1

Аэрокосмические методы сбора и дистанционное зондирование

Методы сбора исходных данных	Принадлежность	
	к дистанционному зондированию	к аэрокосмическим методам
Космическая съёмка	ДЗ и ДЗЗ	да
Планетная радиолокация	ДЗ	да
Космическое картографирование гравитационного поля Земли	ДЗЗ	да
Определение уровней загрязнения воды, высоты снежного покрова, биомассы растительности, температуры поверхности Земли со спутников	ДЗЗ	да

Окончание табл. 1.1

Методы сбора исходных данных	Принадлежность	
	к дистанционному зондированию	к аэрокосмическим методам
Наземные дистанционные методы исследования парниковых газов	ДЗ	нет
Спутниковые определения положения с помощью ГНСС	нет	да
Определение орбит ИСЗ с помощью доплеровских измерений с наземных станций слежения	ДЗ	да
Воздушное фотографирование местности	ДЗЗ	да
Воздушное лазерное сканирование	ДЗЗ	да
Подводная съёмка и гидролокация	ДЗЗ	при съёмке с борта воздушного судна
Воздушное батиметрическое сканирование континентального шельфа	ДЗЗ	да
Поиск подземных коммуникаций (трассопоиск)	ДЗЗ	нет
Спутниковая спектрометрия	ДЗЗ	да
Лазерное зондирование атмосферы из космоса	ДЗЗ	да
Космическое и аэрогеологическое зондирование атмосферы (определение эмиссии парниковых газов, исследование состава атмосферы, газообмена, расчёт параметров атмосферы по спутниковым снимкам)	ДЗЗ	да
Мюонная томография для получения изображения магматических очагов вулканов, мониторинга грунтовых вод и уровня насыщения коренных пород в зоне оползней и т. п.	ДЗЗ	нет
Астрономические наблюдения и астрофотографирование	ДЗ	с борта космических станций, кораблей, аппаратов
Радиозатменное зондирование атмосферы	ДЗЗ	да
Мониторинг ионосферы с помощью наземных приёмников сигналов ГНСС	ДЗЗ	да

1.2. КОСМИЧЕСКАЯ СЪЁМКА

Космическая съёмка является совокупностью технологических процессов, обеспечивающих получение данных в аналоговом или цифровом виде целевой аппаратурой дистанционного зондирования Земли из космоса. Такая аппаратура является составной частью космического аппарата ДЗЗ, включающая приборы для съёмки исследуемых объектов и явлений в различных спектральных диапазонах электромагнитного излучения, в различных режимах съёмки (в зависимости от используемого метода ДЗЗ, комбинации спектральных или поляризационных каналов), а также передачу информации с космического аппарата на наземный пункт приема информации в реальном времени и в записи [8].

Космическая съёмка относится к виду дистанционного зондирования Земли из космоса, представляющего собой процесс получения информации о поверхности Земли путем наблюдения и измерения из космоса собственного и отражённого излучения элементов суши, океана и атмосферы в различных диапазонах электромагнитных волн в целях определения местонахождения, описания характера и временной изменчивости естественных природных параметров и явлений, природных ресурсов, окружающей среды, а также антропогенных факторов и образований [8].

На первом отечественном космическом аппарате (КА) ДЗЗ «Зенит-2», выведенном на орбиту 26 апреля 1962 г., была установлена серийная аппаратура, применяемая при аэрофотосъёмке — топографическая камера АФА 41-20 формата 18×18 см с фокусным расстоянием 200 мм и три штормно-щелевых фотоаппарата для обзорной съёмки формата 30×30 см с фокусным расстоянием 1000 мм.

Первый отечественный космический топографический комплекс, получивший название «Орион» после принятия на вооружение, был выведен на орбиту 27 декабря 1971 г.

Космический комплекс второго поколения «Силуэт» был впервые запущен 18 февраля 1981 г. Уже на этапе предварительных испытаний «Силуэт» успел получить настоящее боевое крещение в 1982 г. при картографировании Афганистана вместо запланированной ранее аэрофотосъёмки с наземной полевой подготовкой снимков. Комплексу традиционно также было присвоено новое название, подчёркивающее его главное предназначение: космический комплекс картографирования «Комета» [2]. В 1998 г. с его

помощью был реализован международный проект по картографированию территории США с пространственным разрешением 2 м.

Ведутся работы по созданию российского космического картографического комплекса нового поколения с пространственным разрешением не хуже 0,5 м.

Отечественные космические комплексы ДЗЗ способны решать различные задачи, как оборонные, так и научно-исследовательские. Например, комплекс «Гектор», эксплуатировавшийся с 1968 по 1979 г., был переориентирован для решения народно-хозяйственных задач и модифицирован под современным брендом «Ресурс».

1.3. Аэрофотосъёмка

В соответствии с ГОСТ Р 59562-2021 аэросъёмкой (топографической) называется съёмка местности, выполняемая аэросъёмочной системой того или иного типа или одновременно двумя или более съёмочными системами с воздушного судна с целью создания и обновления топографических карт и планов и иных пространственных данных о местности [9].

Таким образом, стандартное определение аэросъёмки (аэрофотосъёмки) предполагает использование как одиночных, так и нескольких съёмочных систем, причём не обязательно одного и того же типа. Например, может одновременно осуществляться съёмка оптическими и радиолокационными системами.

В результате аэрофотосъёмки получают как одиночные топографические снимки, так и их стереоскопические пары (стереопары).

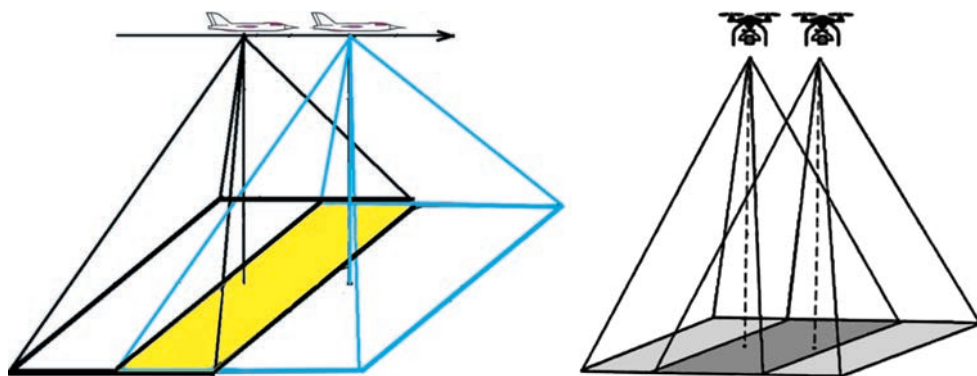


Рис. 1.1
Стереопара аэрофотоснимков

Стереопару (см. рис. 1.1) составляют два перекрывающихся топографических фотоснимка одного объекта топографической фотосъёмки, полученных при различных положениях их центров оптического проектирования [10].

1.4. СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЁМКА

Стереотопографической съёмкой называется фототопографическая съёмка, выполняемая по стереоскопической модели местности. Такое определение предусматривает построение стереоскопической модели местности, представляющей собой видимое пространственное изображение сфотографированной местности при стереоскопическом рассматривании стереопары топографических космических или аэрофотоснимков [10].

Появление цифровых фотограмметрических систем, подобных отечественной ЦФС «РНОТОМОД» и способных осуществлять автоматическое отождествление соответственных (идентичных) точек по плотной цифровой модели местности и объектов методом полуглобального сопоставления, в ряде случаев позволило обходиться без непосредственного стереоскопического рассматривания стереопар снимков. Стереопара или даже несколько перекрывающихся снимков измеряются без построения визуально наблюдаемой стереоскопической модели, но при этом определение пространственных координат интересующих точек местности выполняется так же, как в стереоскопической съёмке, путём вычисления прямой фотограмметрической засечки по координатам идентичных точек, отождествленных полуавтоматически или вручную и измеренных на перекрывающихся снимках. Такой подход позволяет определять координаты точек границ и контуров объектов недвижимости с точностью 10–50 см. Он является основным для съёмки рельефа путем автоматического создания плотной цифровой модели поверхности и рельефа [9].

С введением ГОСТ Р 58854-2020 стандартизовано понятие фотограмметрической стереомодели как стереоскопической модели объекта фотограмметрической съёмки, построенной по стереопаре ориентированных фотограмметрических аэроснимков. Ориентированными (фотограмметрическими) аэроснимками называются аэроснимки с известными элементами внутреннего и внешнего ориентирования, обеспечивающими определение пространственного положения точек местности с заданной точностью

фотограмметрическим методом по стереопаре или по нескольким перекрывающимся аэроснимкам [11]. Таким образом, выполнение стереоскопических наблюдений не строго обязательно даже для построения бесшовных стереоскопических моделей территорий городов и населённых пунктов.

1.5. Воздушное ЛАЗЕРНОЕ сканирование

Воздушное лазерное сканирование является методом сбора пространственных данных о рельефе и объектах местности в трёхмерном режиме с помощью лазерного сканера (лидара), размещённого на борту пилотируемого или беспилотного воздушного судна (рис. 1.2).



Рис. 1.2

Воздушное лазерное сканирование с квадрокоптера
«Геоскан 401 Лидар» петербургской компании «Геоскан»

Согласно ГОСТ Р 70846.2-2023, лидарной аэросъёмкой называется аэросъёмка, выполняемая с помощью лидара с целью определения пространственных координат точек местности в виде облака точек лазерных отражений [7]. Сканирование осуществляется за счёт перемещения носителя, а направление лазерного луча, исходящего из источника излучения, на сканируемую поверхность производится с помощью зеркала.

Результатом лазерного сканирования является облако точек (трёхмерный массив) лазерных отражений, обработка которого

позволяет получать пространственные координаты и создавать детальные цифровые модели местности, рельефа и объектов съёмки.

Точность определения пространственных координат точек методом воздушного лазерного сканирования зависит от высоты съёмки и используемого оборудования (лидара и навигационной системы). Воздушное лазерное сканирование производится с высот в примерном диапазоне от 500 м до 5 км. При этом средняя точность определения трёхмерных координат точек составляет от 5 до 15 см в плане и по высоте. Есть возможность повысить точность вплоть до 1 см за счёт съёмки с меньших высот.

Сфера использования воздушного лазерного сканирования неуклонно расширяется, находя применение в картографировании, градостроительстве, кадастровой деятельности, трёхмерном моделировании, обследовании сооружений, инвентаризации лесов, геологии и других областях.

Ведутся разработки космических лазерных сканирующих систем для картографирования, в том числе планет солнечной системы и их спутников. Ранее космические лазеры успешно применялись для определения дальности и высоты (лазерные дальномеры и высотомеры), скорости, температуры, плотности, параметров облачности и даже шероховатости водной поверхности. С помощью американского лазера GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) с борта Международной космической станции проводился дистанционный мониторинг лесов с целью оценки влияния изменения климата на растительность.

1.6. КОСМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Концепция космического зондирования гравитационного поля Земли была разработана ещё в середине 70-х годов прошлого столетия, однако технологический уровень тех лет не позволял её реализовать.

Суть подхода заключалась в том, что два идентичных спутника на одной полярной орбите, но отстоящие друг от друга на 220 км, должны измерять дистанцию между собой с очень высокой точностью (порядка 10 мкм). Взаимные колебания спутников (относительно друг друга), вызванные гравитационным воздействием неоднородностей масс на поверхности и под поверхностью Земли,

отслеживаются с помощью бортовых высокоточных акселерометров и дальномеров.

Предполагалось, что изменения гравитационного поля Земли позволят оценивать перемещения водных масс в Мировом океане, в том числе глубинные и поверхностные течения, обмен масс между ледниками и океанами, а также внутренние геологические процессы Земли. Таким образом, ожидалось получение гравитационных карт с пространственным разрешением около 300 км, что приблизительно в 100 раз выше существовавших на тот момент.

Космический проект GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) реализован в начале XXI в. совместными усилиями Национального управления аэронавтики и космонавтики США (NASA) и Германского центра авиации и космонавтики. Основным направлением исследований GRACE является изучение гравитационного поля Земли и его временных изменений (вариаций), связанных в том числе с изменениями климата.

Космическое картографирование гравитационного поля Земли в проекте GRACE осуществляется с двух идентичных спутников NSSDC (NASA Space Science Data Coordinated Archive), запущенных с космодрома Плесецк 17 марта 2002 г. и находящихся на полярной орбите на высоте 500 км. Космические аппараты непрерывно обмениваются радиосигналами в микроволновом диапазоне, что позволяет с микронной точностью отслеживать изменения расстояния между ними. Их собственное движение и ориентация регистрируются с помощью приёмников GPS, акселерометров и звёздных датчиков. Кроме того, аппараты оснащены уголковыми отражателями для использования в спутниковой лазерной дальнометрии.

Периодичность пролёта аппаратов NSSDC над каждым участком Земли составляет один раз в месяц. Такой режим позволяет отслеживать естественные перемещения масс, связанные преимущественно с круговоротом воды в природе.

По данным гравитационной съёмки возможно построение цифровой модели гравитационного поля Земли, представляющей собой упорядоченную совокупность закодированных дискретных значений его характеристик: аномалий силы тяжести, высот квазигеоида, уклонений отвесных линий, аномальных гравитационных ускорений. Модель создаётся в единой системе координат и высот. Значения характеристик гравитационного поля записываются на машинный носитель информации в установленном

формате и соответствуют точкам пересечений (узлам) равномерной сетки меридианов и параллелей. Для получения промежуточных значений этих характеристик с необходимой точностью цифровая модель сопровождается алгоритмом интерполяции.

По уровню охвата различают планетарные модели, которые описывают гравитационное поле Земли в целом с одинаковой степенью детализации по всей поверхности Земли, региональные и локальные модели, имеющие повышенную детальность представления гравитационного поля в определенных регионах и локальных областях [12].

1.7. Позиционирование с помощью глобальных навигационных спутниковых систем

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) — система, позволяющая определять пространственное положение объектов местности путём обработки спутниковых навигационных сигналов принимающим устройством.

Поскольку принимающее устройство находится рядом с объектом измерения, позиционирование с помощью ГНСС не относится к дистанционному зондированию, для которого характерно удаление регистрирующего прибора от объекта съёмки на значительное расстояние, но является космическим методом, поскольку используется космическая подсистема [2].

Появлению ГНСС во многом способствовали достижения отечественной науки и технологий на её основе. В начале 1958 г., практически сразу после завершения обработки результатов наблюдения первого в мире советского спутника «ПС-1» (простейший спутник) академик Владимир Александрович Котельников опубликовал статью об использовании эффекта Доплера для определения параметров орбиты искусственных спутников Земли (ИСЗ).

В то же время специалисты Лаборатории прикладной физики американского Университета им. Джонса Гопкинса установили возможность решения обратной задачи по определению координат местоположения станции слежения на основе точных сведений о параметрах орбит ИСЗ.

Обобщение достижений учёных двух стран положило начало научным разработкам по созданию спутниковых радионавигационных систем на основе группировки космических аппаратов [14].

Помимо самой точной и надёжной российской системы «ГЛОНАСС» (Глобальная навигационная спутниковая система), в настоящее время функционируют американская ГНСС «GPS» (Global Position System), европейская «Galileo» и китайская «Compass» (Beidou).

Главные достоинства российской навигационной системы состоят в точном определении пространственного положения объекта, доступности в любой точке Земли и высокой защищённости от помех.

1.8. ПЛАНЕТНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ

Методы дистанционного зондирования, основанные на регистрации электромагнитного излучения, инициированного искусственным источником направленного действия, отраженного или рассеянного от объектов, называются активными методами дистанционного зондирования [8].

К активным методам ДЗ относится радиолокационная съёмка (рис. 1.3), включая планетную радиолокацию [14].

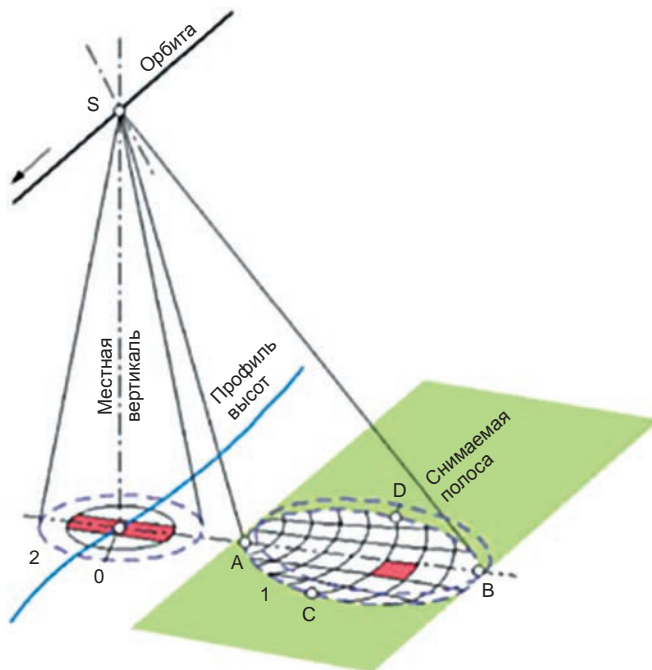


Рис. 1.3

Схема радиолокационной съёмки

Одним из основоположников создания научного направления «планетная радиолокация» является академик В. А. Котельников. Под его руководством в 1961–1964 гг. произведена радиолокация планет Венера, Марс и Меркурий [13–15]. В 1984–1992 гг. впервые в мире с помощью отечественных автоматических межпланетных станций «Венера-15» и «Венера-16» осуществлено радиолокационное картографирование Северного полушария планеты Венера (рис. 1.4).

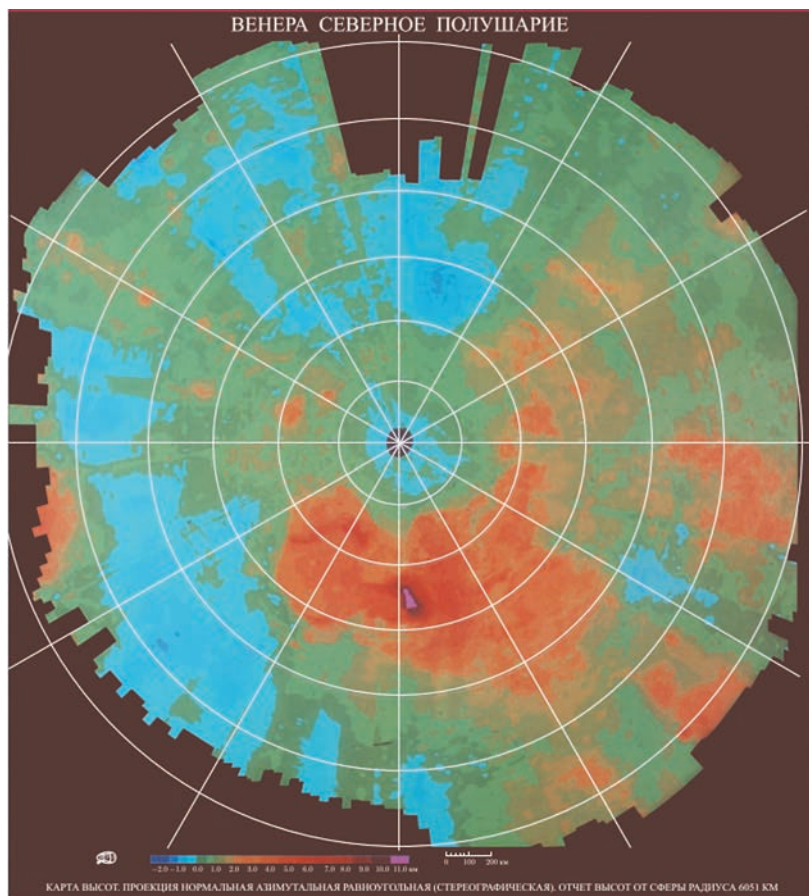


Рис. 1.4

Фотокарта Северного полушария планеты Венера

На основе материалов радиолокационной съёмки со станций «Венера-15» и «Венера-16» в 1989 г. Главным управлением геодезии и картографии при Совете министров СССР, предшественником современной Федеральной службы государственной

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru