

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение | 6 |
| Глава 1. История развития геодезии и топографии | 7 |
| Глава 2. Земная поверхность и способы ее изображения | 14 |
| 2.1. Форма и размеры Земли | 14 |
| 2.2. Уровенная поверхность, геоид и эллипсоид | 16 |
| 2.3. Влияние кривизны Земли на картографическое изображение. | |
| Горизонтальное проложение | 19 |
| Глава 3. Картографические проекции | 22 |
| 3.1. Общие понятия о картографических проекциях | 22 |
| 3.2. Картографическая проекция Гаусса — Крюгера | 25 |
| Глава 4. Топографические карты России | 28 |
| 4.1. Свойства топографических карт и их классификация | 28 |
| 4.2. Разграфка и номенклатура топографических карт | 31 |
| 4.3. Масштаб карты | 36 |
| 4.4. Зарамочное оформление карт | 38 |
| 4.5. Система условных знаков | 40 |
| 4.5.1. Содержание системы условных обозначений на карте | 40 |
| 4.5.2. Населенные пункты | 43 |
| 4.5.3. Промышленные, социально-культурные | |
| и сельскохозяйственные объекты | 44 |
| 4.5.4. Растительный покров и грунты | 45 |
| 4.5.5. Дорожная сеть | 48 |
| 4.5.6. Гидрография | 49 |
| 4.6. Изображение рельефа местности на картах | 50 |
| 4.6.1. Сущность изображения рельефа горизонталями | 51 |
| 4.6.2. Основные формы и характеристики рельефа местности | 53 |
| Глава 5. Системы координат и высот, применяемые в геодезии | 57 |
| 5.1. Геодезические (астрономические) и географические координаты | 57 |
| 5.2. Плоские прямоугольные координаты. | 59 |
| 5.3. Полярные и биполярные координаты | 61 |
| 5.4. Связь между системами координат на земной поверхности | 62 |
| 5.4.1. Связь между прямоугольными и геодезическими координатами | 62 |
| 5.4.2. Связь между прямоугольными и полярными координатами | 63 |
| 5.5. Система высот | 65 |
| Глава 6. Ориентирование линий в пространстве | 67 |
| 6.1. Основные направления и углы | 67 |
| 6.2. Дополнительные углы | 68 |
| 6.3. Румбы | 72 |
| 6.4. Углы прямого и обратного направлений | 73 |
| Глава 7. Решение инженерных задач по топографической карте (плану) | 74 |
| 7.1. Измерение расстояний и длин линий | 74 |
| 7.2. Определение координат точек | 75 |
| 7.2.1. Определение прямоугольных координат точек | 75 |

| | |
|---|-----|
| 7.2.2. Определение геодезических координат точек | 77 |
| 7.2.3. Определение полярных координат | 77 |
| 7.3. Измерение углов на топографической карте (плане) | 78 |
| 7.4. Определение абсолютных высот точек | 80 |
| 7.5. Определение уклона линии | 81 |
| 7.6. Построение линии заданного уклона | 82 |
| 7.7. Измерение площади объекта | 83 |
| 7.8. Решение прикладных задач на топографической карте | 86 |
| 7.8.1. Построение продольного профиля местности | 86 |
| 7.8.2. Определение объемов элементов рельефа | 87 |
| 7.8.3. Построение полей невидимости | 88 |
| 7.8.4. Решение специальных прикладных задач | 88 |
| Глава 8. Ориентирование на местности | 93 |
| 8.1. Ориентирование на местности без карты | 93 |
| 8.2. Способы движения по азимуту | 103 |
| 8.3. Ориентирование по карте | 104 |
| 8.4. Определение по карте своего местоположения | 106 |
| 8.5. Порядок движения по азимутам | 108 |
| 8.6. Особенности ориентирования в сложных условиях | 109 |
| Глава 9. Геодезические измерения и их точность | 113 |
| 9.1. Задачи инженерной геодезии | 113 |
| 9.2. Погрешности геодезических измерений и их виды | 115 |
| 9.2.1. Свойства случайных погрешностей измерений | 117 |
| 9.2.2. Средняя квадратическая ошибка (погрешность) | 118 |
| 9.2.3. Предельная, абсолютная и относительная погрешности | 119 |
| Глава 10. Линейные измерения | 122 |
| 10.1. Измерение длин линий с помощью лент и рулеток | 122 |
| 10.2. Вешение линий на местности | 124 |
| 10.3. Измерение расстояний нитяным дальномером | 124 |
| 10.4. Электронные дальномеры | 128 |
| 10.5. Определение неприступных расстояний | 129 |
| Глава 11. Угловые измерения | 131 |
| 11.1. Принцип измерения углов в геодезии | 131 |
| 11.2. Классификация теодолитов | 131 |
| 11.2.1. Теодолиты серии Т30. Особенности технического устройства и эксплуатации | 132 |
| 11.2.2. Подготовка теодолита к работе | 138 |
| 11.3. Порядок измерения горизонтальных и вертикальных углов | 139 |
| 11.3.1. Измерение горизонтальных углов | 139 |
| 11.3.2. Измерение вертикальных углов | 142 |
| Глава 12. Нивелиры | 144 |
| 12.1. Назначение, технические характеристики и общее устройство | 144 |
| 12.2. Подготовка нивелира к работе | 147 |
| Глава 13. Правила эксплуатации, хранения и технического обслуживания | 152 |
| 13.1. Правила эксплуатации теодолитов | 152 |

| | |
|---|-----|
| 13.2. Проверка технического состояния и юстировка теодолита | 153 |
| 13.3. Проверка технического состояния и юстировка нивелиров | 158 |
| 13.4. Особенности эксплуатации, хранения и обслуживания нивелиров | 160 |
| Глава 14. Геодезические сети Российской Федерации | 162 |
| Глава 15. Топографическая съемка | 166 |
| 15.1. Теодолитная съемка | 166 |
| 15.1.1. Создание исходной основы (съемочного обоснования) | 166 |
| 15.2. Способы теодолитной съемки | 172 |
| Глава 16. Высотная съемка | 177 |
| 16.1. Геометрическое (техническое) нивелирование | 179 |
| 16.1.1. Нивелирование по квадратам | 184 |
| 16.2. Тригонометрическое нивелирование | 188 |
| 16.2.1. Сущность тригонометрического нивелирования | 189 |
| 16.2.2. Полевые работы при тригонометрическом нивелировании | 190 |
| Глава 17. Тахеометрическая съемка | 192 |
| 17.1. Содержание тахеометрической съемки | 192 |
| 17.2. Камеральные работы | 196 |
| 17.2.1. Обработка журнала тахеометрического хода | 196 |
| 17.2.2. Обработка журнала тахеометрической съемки | 199 |
| Глава 18. Разбивочные работы | 202 |
| 18.1. Назначение и организация разбивочных работ | 202 |
| 18.2. Нормы точности разбивочных работ | 204 |
| 18.3. Способы выноса в натуру проектных величин | 204 |
| 18.3.1. Построение проектного горизонтального угла | 204 |
| 18.3.2. Вынос в натуру линии проектной длины | 206 |
| 18.3.3. Вынос в натуру проектной высоты | 206 |
| 18.3.4. Построение линии с проектным уклоном | 206 |
| 18.3.5. Построение проектной плоскости | 207 |
| 18.4. Детальная разбивка круговой кривой | 208 |
| 18.4.1. Способ прямоугольных координат | 208 |
| 18.4.2. Способ углов и хорд | 209 |
| 18.4.3. Способ продолженных хорд | 209 |
| 18.4.4. Способ полярных координат | 210 |
| 18.5. Знаки для закрепления пунктов разбивочной основы | 211 |
| Глава 19. Геодезические работы при лесоустройстве и таксации | 212 |
| 19.1. Геодезические работы при лесоустройстве | 212 |
| 19.2. Составление лесоустроительных планшетов | 213 |
| 19.3. Геодезические работы при отводе лесосек | 216 |
| Глава 20. Инженерно-геодезические работы при организации рельефа | 218 |
| 20.1. Вертикальная планировка | 218 |
| 20.2. Составление плана земляных работ | 234 |
| Литература | 238 |

Введение

Топография (от *греч.* *topos* — местность, *grapho* — пишу) — наука, изучающая физико-географическое и природно-урбанистическое состояние земной поверхности как по средствам имеющегося картографического материала (географических, специальных, топографических карт и планов), так и непосредственно путем простейших измерений на местности.

Впервые термин «топография» (землеописание) был введен знаменитым греческим географом и астрономом Птолемеем еще во II в. н. э.

Топография, как наука о Земле, тесно взаимосвязана с геодезией.

Эти науки имеют не только общие исторические корни зарождения, но и обладают единой терминологией, базовыми понятиями и принципами. Их связь настолько тесная, что порой сложно сказать, где кончается топография и начинается геодезия. Так, решение ряда задач инженерной геодезии начинается с изучения картографического материала, с проведения соответствующих графических измерений и построений на карте (плане).

И наоборот. На основе принципов геодезических измерений осуществляют топографические работы по лесоустройству, мелиорации земель, отведению участков под лесосечные и лесовосстановительные работы, проводят озеленение и благоустройство территории, составляют общие планы (схемы) местности.

Вместе с тем научные задачи геодезии имеют более широкий аспект практического применения, а ее теоретические положения являются базовыми для многих других наук о Земле, в том числе и топографии.

Термин «геодезия» старше термина «топография» на несколько столетий, поэтому логично изучать историю развития науки топографии на фоне истории развития науки геодезии.

Глава 1. История развития геодезии и топографии

Геодезия (от *греч.* geodaisia — землеразделение) — одна из наиболее древних наук о Земле. История геодезии уходит корнями вглубь веков, когда впервые появилась необходимость проведения измерительных работ на земле и составления карт местности для хозяйственных нужд человека.

Археологические находки свидетельствуют, что уже в VII в. до н. э. в Вавилоне и Ассирии на глиняных дощечках составлялись географические рисунки местности, на которых также давались различные пояснения и сведения различного характера. Конечно, сейчас трудно назвать такие рисунки картой в нынешнем ее понимании.

И все же родиной геодезии следует считать Древний Египет. В III–IV тысячелетиях до н. э. в Египте уже имелись значительные навыки в области геодезии.

Так, в результате ежегодного разлива реки Нил терялись границы земельных участков. Это вело к ссорам между землевладельцами, а порой и к междоусобным войнам. Египетские жрецы и фараоны с целью прекращения распрей и наведения порядка вынуждены были организовывать размежевание земель и восстановление утраченных границ.

Важную роль в становлении геодезии сыграли и грандиозные планы фараонов по ирригации и строительству. Нужда в дополнительной площади, пригодной под посевы и разведение скота, вызвала необходимость создания сети осушительных каналов и дамб в пойме Нила. Развитие торговых и общественных отношений вело к росту городов и возведению величественных храмов фараона, который был также верховным жрецом и считался собственником земли и подданных. Идея неограниченной власти обожествленных фараонов воплощалась в сооружении грандиозных гробниц-пирамид. Проведение этих работ тогда уже было сопряжено с различными угловыми и линейными измерениями и геометрическими построениями на местности.

Жрецы и писцы, накапливавшие в течение столетий научные знания и опыт, проводили эти работы с помощью простейших инструментов: отвеса, линейки, транспортира. Для измерения времени применялись солнечные и водяные часы (клепсидры).

Торговые, а затем и военные экспедиции, направлявшиеся фараоном на север — в Сирию, и на юг — по Нилу, в экваториальные районы Африки, по Красному морю, обусловили накопление и расширение географических познаний. Составлялись схематические примитивные карты с учётом расстояния между населёнными пунктами, планы городов, проводилось описание земель. Однако представления о шарообразности Земли египтяне не имели. Сведения, полученные в VII в. до н. э. финикийцами, объехавшими по приказу фараона Нехо вокруг Африки, влияния не оказали. Представление о форме Земли ограничивалось религиозными выдумками жрецов (рис. 1).

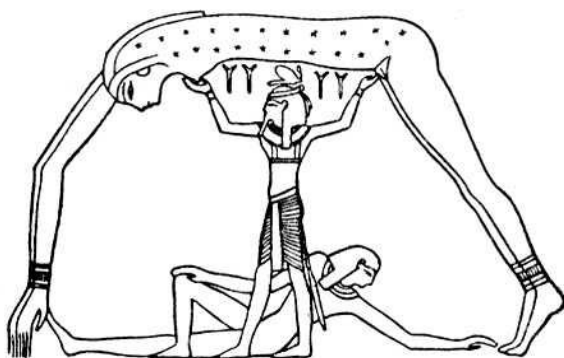


Рис. 1. Небо и земля (по представлениям древних египтян)

Преемником и продолжателем египетской культуры явилась Греция. Здесь развитие геодезии проходило в тесной связи с развитием математики вообще и в частности геометрии, являющейся научной основой геодезии. В Греции впервые была высказана гипотеза о шарообразности Земли (Анаксимандр Милетский, около 550 г. до н. э., Пифагор Самосский, около 570–500 до н. э.), и что Земля неподвижно покоится в центре мира. Пифагор говорил: «Все в природе должно быть гармонично и совершенно, в том числе и Земля. Но совершеннейшее из геометрических тел есть шар. Стало быть, Земля — шар!» Эта гениальная догадка позднее была доказана Аристотелем (384–322 гг. до н. э.). Кроме того, Анаксимандр Милетский составил первую географическую карту Греции (рис. 2), а также соорудил первые солнечные часы и астрономические инструменты.

В III в. до н. э. в Египте греческий учёный Эратосфен (200 г. до н. э.) произвёл первое определение радиуса земного шара на основании правильных геометрических принципов, получивших название градусных измерений. В это же время в трудах Аристотеля впервые появилось название «геодезия» как отрасль человеческих знаний, связанная с астрономией, картографией и географией.

Эратосфен известен не только тем, что впервые определил размеры Земли, но и тем, что ввел понятия «параллели» и «меридианы», которыми пользуются и в наши дни. Он построил сетку параллелей и меридианов и на ее основе составил карту обитаемой Земли (рис. 3). Меридианы на ней проведены не через равные промежутки, а через определенные пункты, например через Александрию, Карфаген. Так же проведены и параллели. Тем не менее сетка параллелей и меридианов позволила Эратосфену при помощи известных расстояний правильно показать взаимное расположение материков, гор, рек и городов. Карта Эратосфена была первой известной к тому времени картой мира, составленной с учетом шарообразности Земли. Ею пользовались до конца I в. н. э. Огромный вклад в развитие геодезии внес древнегреческий учёный, работавший в Александрии, Герон Александрийский (годы рождения и смерти неизвестны, вероятно, I в.).

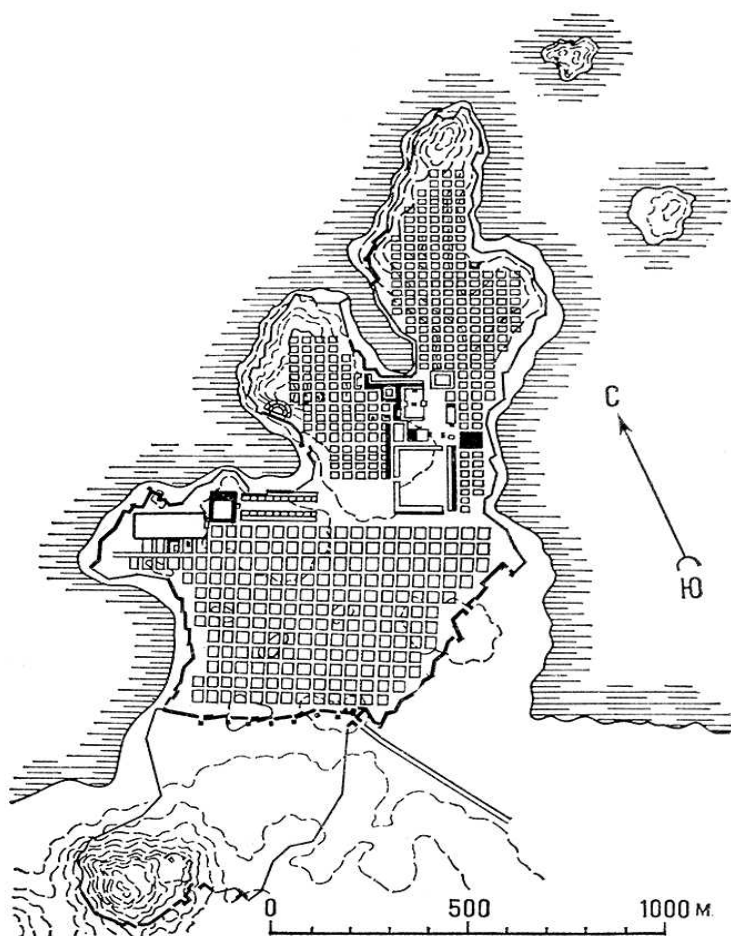


Рис. 2. План Милета (V в. до н. э)

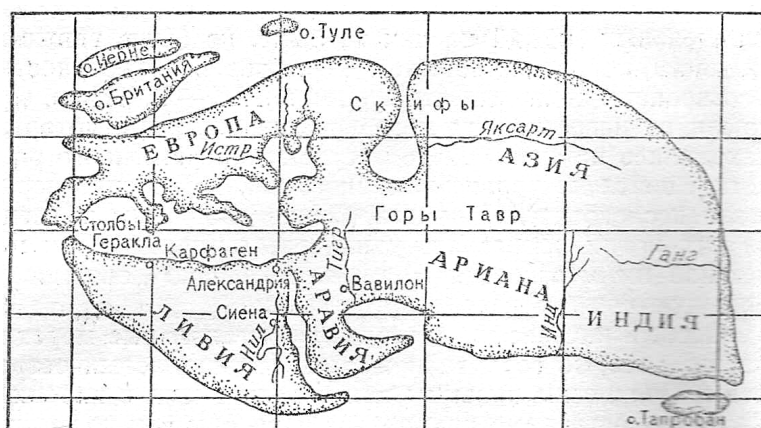


Рис. 3. Карта Эратосфена

Им составлена первая книга по геодезии *«Диоптрика»*, в которой изложены правила земельной съёмки, фактически основанные на использовании прямоугольных координат. Здесь же даётся описание диоптра — прибора для измерения углов — прототипа современного теодолита.

С развитием Римской империи и присоединением к ней все новых территорий возникала необходимость размежевания завоеванных земель. Для этого римскими патрициями была введена специальная должность — мерщики, которые обмеряли и делили земли, устанавливали границы, производили съёмки дорог, городов, крепостей и пр.

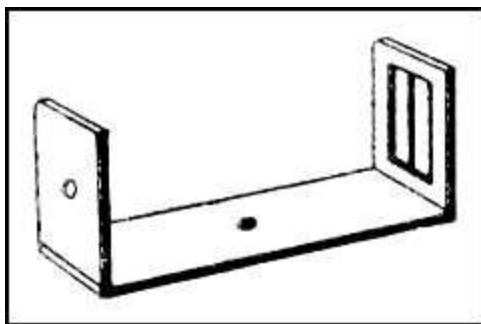


Рис. 4. Диоптр Герона

Во II в. до н. э. величайший греческий астроном и математик Гиппарх (180–126 гг. до н. э.) установил понятия о географической широте и долготе места. Он разработал первые картографические проекции, ввел сетку меридианов и параллелей на картах, предложил первые методы определения взаимного положения точек земной поверхности из астрономических наблюдений.

Большой вклад в геодезию и картографию внес знаменитый ученый-географ Птолемей, живший во II в. н. э. в египетском городе Александрия. Главную цель географии Птолемей видел в картографировании земного шара. «География, — писал он, — дает нам возможность обозреть всю Землю в одной картине, подобно тому, как мы можем непосредственно обозреть все небо с его созвездиями в его вращении над нашей головой».

Птолемей написал немало книг. Среди них и очень подробное руководство по картографии. К книге было приложено 27 карт, среди которых подробная карта всей Земли, какой до него еще никто не создавал, и вплоть до XV в. никто не создал лучше (рис. 5).

В Средние века достижения античной геодезии и картографии оказались надолго забытыми. Церковь вступила в жестокую борьбу с научными представлениями о строении мира. Она строго преследовала учение о шарообразной форме Земли.

Прошло много времени, прежде чем человеческая мысль освободилась от церковных догм. Лишь в XV в. вновь возрождается учение о шарообразной форме Земли. В это время переиздается карта Птолемея.

Европейцы познакомились с греческой наукой геодезией через арабов, которые переняли древнюю культуру от покоренных ими в VII в. народов

и благодаря торговле с индусами. В частности, от арабов европейцы узнали о свойствах магнитной стрелки, с помощью которой стало возможным более точно ориентироваться при съемках и более уверенно плавать по морям.

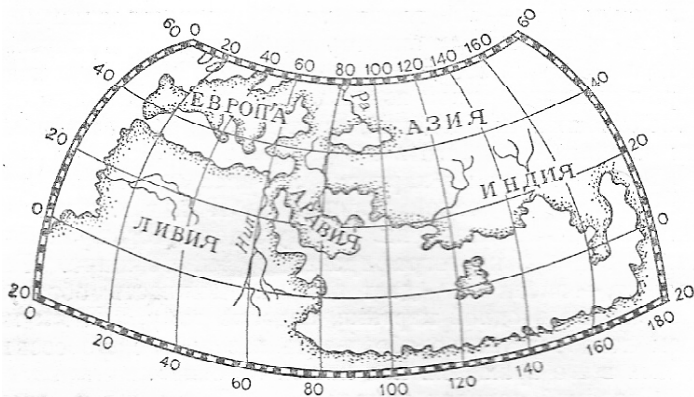


Рис. 5. Карта Птолемея

С начала XVII в. в связи с изобретением зрительной трубы, мензулы, с разработкой тригонометрии и аналитической геометрии приемы измерений участков земли становятся более совершенными. В начале XVIII в. впервые начинают производить точную вертикальную съемку местности не только для решения инженерных задач, но и с целью изображения рельефа на картах. Так зарождается нивелирование.

Начало геодезических работ в России относится к X в. В сборнике законов «Русская правда» (XI–XII вв.) содержатся постановления об определении земельных границ путём измерений. Практические потребности государства в детальном изучении своей территории для ее освоения и обороны от иноземных захватчиков потребовали описания территории и ее изображения на бумаге. В 1552 г. Иван Грозный повелел: «Землю измерить и чертеж государству сделать». Так появилась одна из первых карт Московского государства, так называемый «Большой чертёж». Содержание карты основывалось на маршрутных съёмках и на опросных данных. В это же время создается первое русское руководство по измерениям на поверхности земли — «Книга, именуемая геометрия или землемерие радикусом и циркулем ... глубокомудрая, дающая легкий способ измерять места самые недоступные, плоскости, дебри».

Начало геодезических работ с применением инструментальных съёмок относится к первой четверти XVIII в., к эпохе великих преобразований в России, к эпохе Петра I.

Петр I создал первую на Руси Математико-навигационную школу, где ученики обучались морской навигации, геодезии и картографии. Специальным указом от 9 декабря 1719 г. он разослал подготовленных в школе геодезистов во все концы России для съёмки отдельных территорий. Очень большой вклад в картографирование страны внесли выпускники школы геодезисты И. Евреинов и Ф. Лужин. Они прошли от Тобольска до Охотского моря и далее на Камчатку

и Курильские острова. Именно они впервые определили точное местоположение разных географических пунктов и составили карту Сибири и Дальнего Востока.

В 1720 г. Петр I топографические и картографические работы в России подчинил Сенату, подчеркнув тем самым их большое государственное значение. В 1739 г. в Петербургской Академии наук был организован Географический департамент, который руководил всеми геодезическими и картографическими работами в России. По изданному в 1765 г. Манифесту о генеральном межевании проводились геодезические работы по составлению планов землевладений, продолжавшиеся почти до середины XIX в. и доставившие обширный материал для картографирования страны. В 1779 г. в Москве возникла землемерная школа, которая в 1819 г. была преобразована в Константиновское землемерное училище, а в 1835 г. — в Константиновский межевой институт, позднее — крупное высшее учебное заведение по подготовке геодезистов и картографов.

Многое сделал для геодезии великий русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов. Назначенный в 1757 г. на должность начальника географического департамента, он немедленно приступил к исправлению неточных и к изготовлению новых карт. Он много работал также над усовершенствованием геодезических инструментов.

В России геодезию наиболее широко применяли при межевых и землеустроительных работах. С 1723 г., когда было предпринято межевание так называемой Ингерманландии (теперь Ленинградская область), непрерывно проводили съемки, связанные с установлением границ землевладений. Одной из самых больших межевых работ является генеральное межевание, проводившееся с 1765 г. и охватившее площадь около 300 млн га.

Геодезические работы, проводившиеся в России с начала XIX в., имели большое научное значение. Так, грандиозная работа, выполненная под руководством профессора Дерптского университета В. Струве на пространстве от устья Дуная до берегов Северного Ледовитого океана (общим протяжением $25^{\circ}20'$ по широте), была использована многими учеными для вывода размеров земного эллипсоида. Русскими военными геодезистами КВТ (корпус военных топографов, организованный в 1822 г.) были выполнены работы: общим протяжением 20° по долготе по параллели $47^{\circ}30'$ и общим протяжением 39° по долготе по параллели 52° . Были проведены также большие работы на Кавказе, в Сибири, Туркестане, Донбассе, по прибрежным территориям.

Новый этап развития геодезии у нас начался после Октябрьской революции. Декретом Совета Народных Комиссаров от 15 марта 1919 г. было учреждено Высшее геодезическое управление, организующее общее руководство геодезической деятельностью всех ведомств и учреждений. Впоследствии управление было переименовано в Главное управление геодезии и картографии. С этого времени государственная геодезическая служба проделала огромную работу и достигла больших успехов; развилась и окрепла аэрофотогеодезия, являющаяся в настоящее время основным методом съемок больших площадей, появилась обширная геодезическая литература, создан Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии, открыто несколько геодезических высших учебных заведений и т. д.

Советскими учеными-геодезистами (Ф. Н. Красовский, А. С. Чеботарев, В. В. Попов и многие другие) проделаны большие теоретические и исследовательские работы, которые поставили советскую геодезию на первое место в мире. Начиная с 50-х гг. XX в. геодезическая наука получила широкое развитие. На смену традиционным геодезическим приборам пришли принципиально новые приборы, создаваемые с учетом новейших достижений науки и техники. Были разработаны принципиально новые методы производства геодезических измерений.

Революционным шагом в развитии геодезии явилась разработанная в конце XX в. концепция перехода топографо-геодезического производства на спутниковые методы определения координат с использованием космических систем ГЛОНАСС/GPS.

Глава 2. Земная поверхность и способы ее изображения

2.1. Форма и размеры Земли

Геометрическая сущность картографического изображения земной поверхности неразрывно связана с представлением о форме и размерах Земли.

Первоначальное представление о Земле было как о плоскости, и предполагалось, что имеется «край света». Однако, наблюдая за уходящими за горизонт кораблями и торговыми караванами, люди начали задумываться о справедливости такого представления.

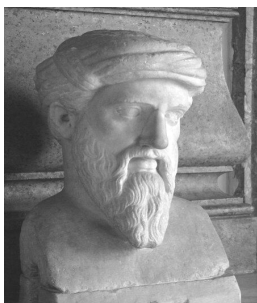


Рис. 6. Пифагор



Рис. 7. И. Ньютон



Рис. 8. Эратосфен

Впервые гипотеза о шарообразности земного тела была высказана греческим ученым и философом Пифагором (570–500 гг. до н. э.). Пифагор считал: «Все в природе должно быть гармонично и совершенно, в том числе и Земля. Но совершеннейшее из геометрических тел есть шар. Стало быть, Земля — шар!» Эта гениальная догадка была доказана спустя более двухсот лет Аристотелем (384–322 гг. до н. э.). В Средние века в развитии науки наступил застой. Римская церковь и Святая инквизиция объявили научное представление о мироздании ересью. Вновь интерес к геодезии возник в эпоху Возрождения и Великих географических открытий. Именно тогда в ходе кругосветных путешествий опытным путем удалось подтвердить гипотезу, что Земля имеет шарообразную форму.

В 1687 г. И. Ньютон в своем трактате «Математические начала натуральной философии» доказал, что из-за вращения вокруг своей оси Земля должна быть сплюснута у полюсов. Теоретические выводы великого ученого в последующем были доказаны практическими измерениями Земли.

Попытки измерить Землю, вероятно, делались в древние времена многими учеными того времени. Однако исторические документы, дошедшие до нас, достоверно свидетельствуют, что впервые размеры Земли определил египетский математик и географ Эратосфен Киренский (276–194 гг. до н. э.). Придерживаясь мнения, что Земля — шар, Эратосфен решил определить длину его окружности. Идея Эратосфена состояла в том, что нужно было в один и тот же день (в полдень) в двух точках Земли, находящихся на юге и на севере Египта, измерить зенитное расстояние Солнца в градусах. Разность этих расстояний

равна разности географических широт пунктов наблюдения. Далее нужно измерить расстояние между пунктами наблюдения. Поделив это расстояние на число градусов, можно определить длину части окружности Земли, приходящуюся на один градус, а далее легко определить и длину окружности Земли и ее радиус.

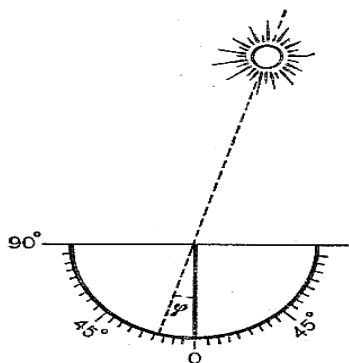


Рис. 9. Скафис

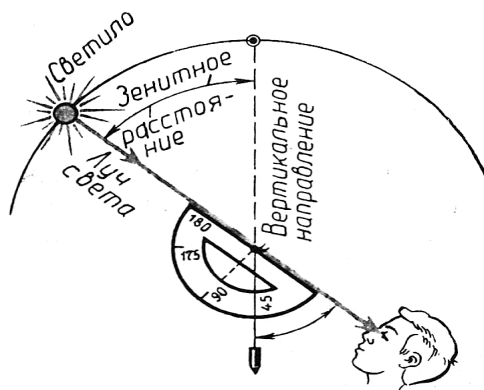


Рис. 10. Зенитное расстояние

Наивысшая точка на небосводе (на небесной сфере) называется **зенитом**. Если светило, например звезда, находится в зените, то она сияет прямо над головой наблюдателя. Угол между лучом, направленным из глаза наблюдателя на светило, и вертикальным направлением (рис. 10) называется **зенитным расстоянием** светила. Для измерения зенитного расстояния Солнца Эратосфен изобрел специальный прибор — скафис.

Скафис представлял собой чашу в виде полусферы (рис. 9), на дне которой был закреплен металлический стержень. На внутреннюю полость скафиса наносились деления в градусах. Скафис устанавливают по отвесу так, чтобы стержень, направленный по радиусу сферы, занимал строго вертикальное положение, т. е. был направлен на зенит. На освещенной Солнцем внутренней полости скафиса должна быть тень, которую отбрасывает стержень. Дуга, измеряемая в градусах от основания стержня до конца тени, равна зенитному расстоянию Солнца.

Эратосфен жил в городе Александрия на севере Египта. От купцов и погонщиков верблюдов он знал, что на юге Египта в городе Сиена (ныне Асуан) Солнце в полдень 22 июня освещает дно глубоких колодцев и, следовательно, находится в зените. В полдень того же дня в Александрии по измерениям Эратосфена Солнце отстоит от зенита на $7^{\circ}12' = 7,2^{\circ}$. Эратосфен также знал, что расстояние от Александрии до Сиены составляет 5000 греческих стадий. Обозначив через x длину окружности земного шара, он составил пропорцию исходя из следующих соображений: длина окружности земного шара во столько раз больше расстояния между городами, во сколько раз 360° больше $7,2^{\circ}$:

$$\frac{x}{5000} = \frac{360^{\circ}}{7,2^{\circ}}.$$

Отсюда следует, что длина окружности земного шара равнялась 250 000 стадий. Точная длина греческих стадий неизвестна, но расстояние между Александрией и Асуаном по современным измерениям составляет 800 км. Отсюда следует, что длина окружности земного шара равна 40000 км.

Измерив дугу меридиана протяженностью 800 км, он ошибся в определении радиуса Земли всего на 100 км по сравнению с современными данными. Нужно признать, что точность определения размеров Земли была очень высокой по тем временам.

В конце XVIII в. Французская Академия наук снарядила две экспедиции для проверки измерений Эратосфена и уточнения длины одного градуса дуги меридиана. Одна экспедиция работала на севере Финляндии и Швеции, вблизи Северного полярного круга, а другая — в Перу, в экваториальных широтах. Оказалось, что измерения Эратосфена в целом согласуются с полученными результатами. В то же время выяснилось, что полярный радиус Земли на 21 км короче экваториального. Таким образом, Земля представляет собой немного сплюснутый шар, как и предсказывали теоретические расчеты И. Ньютона (1642–1727).



Рис. 11. Профессор
Ф. Н. Красовский

Большой вклад в дело развития науки в области исследования и установления формы и размеров Земли, разработки математических моделей ее изображения на плоскости внес выдающийся русский ученый-геодезист Феодосий Николаевич Красовский (1878–1948). Под его руководством в 1940 г. в результате научной обработки материала измерений были получены новейшие, более точные данные о размерах Земли, которые используются в Российской Федерации для создания картографического изображения.

Физическая поверхность Земли сложна и разнообразна. При этом ее формы и характеристики постоянно меняются под воздействием внешних факторов: землетрясения, ураганы, извержения вулканов и т. п. Такая поверхность не может быть описана математически.

2.2. Уровенная поверхность, геоид и эллипсоид

Что же тогда принимать за форму Земли при ее картографировании? В 1873 г. немецкий физик И. Б. Листинг предложил использовать для описания формы Земли понятие «геоид» (землеподобный, от *греч.* *ge* — Земля, *edios* — вид).

Учитывая то обстоятельство, что почти три четверти физической поверхности Земли представляют собой водную поверхность океанов и морей и что материки сравнительно незначительно возвышаются над общим уровнем воды в океанах и морях (общая площадь поверхности Земли составляет примерно 510,2 млн км², которая разделяется на Мировой океан — 361,1 млн км² (71%) — и сушу (материки) — 149,1 млн км² (29%), при этом средняя глубина мирового

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru