

Конспект.
Предмет топографии

Выполнил ПДО: Шайдоров

Анатолий Алексеевич

Тема 1. ПРЕДМЕТ ТОПОГРАФИИ И ГЕОДЕЗИИ

1.1. ПРЕДМЕТ ТОПОГРАФИИ И ГЕОДЕЗИИ. СВЯЗЬ ТОПОГРАФИИ И ГЕОДЕЗИИ С ДРУГИМИ НАУКАМИ.

ВВЕДЕНИЕ

Изучать поверхность Земли начали еще в седую древность. Почти вся деятельность и жизнь человека сосредоточены на поверхности Земли. Поэтому не случайно еще много веков тому назад зародились науки о Земле – геодезия, топография, картография, география. Они тесно связаны между собой, и любая из них очень важна. Курс «Топографии с основами геодезии» является одним из составных элементов подготовки специалистов и магистров географии. Программа курса составлена применительно к учебному плану естественно-географических факультетов с учетом школьной программы по географии и программы школьного факультативного курса по основам топографии и картографии. В задачу курса входит: чтение топографических карт, планов, аэрофотоснимков, их использование при изучении местности; ориентирование на местности; раскрытие свойств и особенностей топографических карт, изучение путей и методов их использования; приобретение навыков топографических съемок на местности. Студенты, работая с топографическими картами, развивают умения, которые могут быть применены в их будущей трудовой деятельности. Для учителя географии карта является средством его труда. Программа курса «Топографии с основами геодезии» включает объем знаний, который должен быть получен студентами на лекциях, лабораторных занятиях, на полевой практике и в результате самостоятельной работы. Контроль над усвоением пройденного материала будет осуществляться на лабораторных занятиях, зачете, экзамене, а также в процессе компьютерного тестирования. Для выполнения лабораторных работ необходимо завести отдельную тетрадь объемом не менее 48 стр. После выполнения каждой лабораторной работы студенты обязаны сдать тетради на проверку преподавателю.

1.1.1. Предмет топографии и геодезии

Топография - научная дисциплина, изучающая земную поверхность (т. е. элементы ее физической поверхности и расположенные на ней объекты деятельности человека) в геометрическом отношении. Целью этого изучения является создание топографических карт - подробного изображения местности (т. е. участков земной поверхности) на плоскости. К числу основных научных и практических задач, решаемых топографией, следует отнести разработку и совершенствование методов создания топографических карт, способов изображения на них земной поверхности, способов и правил использования карт в решении научных и практических задач.

Геодезия (от гео.. и греч. daio — разделяю), система наук об определении формы и размеров Земли и об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах. Подразделяется на астрономогеодезию (высшую геодезию), изучающую фигуру и гравитационное поле Земли, а также теорию и методы построения опорной геодезической сети, топографию, прикладную геодезию и др.

Измерения на земной поверхности, необходимы для наблюдений за движениями и деформациями земной коры, изменениями береговой линии океанов и морей, для установления высоты уровня морей и их разностей, изучения движения земных полюсов, а также для решения разнообразных инженерных задач гражданского, промышленного, сельскохозяйственного, транспортного строительства и др.

Основной метод изучения земной поверхности – топографическая съемка, которая включает комплекс измерительных, вычислительных и графических работ. Координатные системы, используемые для указания взаимного расположения элементов (точек) земной поверхности, позволяют определить их плановое (т. е. местонахождение на какой-либо поверхности) и высотное (т. е. расположение над исходной поверхностью) положение.

1.1.2. Связь топографии и геодезии с другими науками. Их роль в развитии народного хозяйства

Топография и геодезия тесно связаны с картографией – наукой об отображении и исследовании явлений природы и общества (их размещения, свойств, взаимосвязей и изменений во времени) посредством картографических изображений. К таким изображениям относятся и топографические карты. Картография разрабатывает общие вопросы изображения реальной действительности на картах. Тесные связи у топографии и геодезии с географией, геологией, почвоведением. Данные этих наук способствуют более глубокому пониманию свойств физической поверхности Земли, правильному изображению их на картах. Достижения авиационной и фотографической техники позволили развить в топографии такие ее направления, как: аэрофототопография и наземная фототопография. Широкое использование фотоснимков определило связь топографии с фотограмметрией, решающей задачи измерения объектов земной поверхности и определения их координат по фотоизображениям. Освоение космоса привело к появлению спутниковой геодезии, изучающей фигуру и размеры Земли с помощью искусственных спутников, космических ракет, кораблей и станций. С разработкой методов получения информации о земной поверхности по космическим снимкам стала развиваться космическая топография. Методы решения научных и практических задач геодезии и топографии основываются на законах математики и физики. При помощи математики устанавливается зависимость между результатами измерений на местности и величинами, необходимыми для создания карт, обосновывается и контролируется точность проводимых работ. Сведения из физики, особенно таких ее разделов, как оптика, радиофизика, электроника, необходимы при разработке новейших геодезических приборов и инструментов. Достижения кибернетики и современной вычислительной техники являются базой для автоматизации работ по созданию топографических карт. Значение топографии и геодезии для науки и практики трудно переоценить. Топографические карты позволяют изучать поверхность Земли с точки зрения условий для жизнедеятельности человека, степени освоения конкретных территорий и возможностей дальнейшего развития этого процесса. Топографические карты являются основой для отображения результатов научных исследований и практической деятельности в географии, геологии и других науках о Земле. Они нужны при разведке

и эксплуатации природных богатств, при планировании и размещении производительных сил страны, проектировании инженерных сооружений, при разработке и осуществлении стратегических, тактических, военно-инженерных и многих других задач. Геодезические измерения широко используются при изысканиях, проектировании и строительстве заводов и фабрик, гидротехнических и мелиоративных сооружений, атомных станций, дорожной сети и др.

1.2. ПОНЯТИЕ О ФОРМЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ

Ещё в VI в. до нашей эры [Пифагор](#) считал, что Земля имеет круглую форму. Спустя 200 лет Аристотель доказал это, ссылаясь на то, что во время лунных затмений тень Земли всегда круглая. Спустя ещё 100 лет [Эратосфен](#), зная расстояние от [Александрии](#) до [Сиены](#) и используя [гномон](#) около Александрийской библиотеки во время положения Солнца над Сиеной в зените, сумел измерить длину земного меридиана и вычислить радиус Земли. То, что форма Земли должна отличаться от шара впервые показал Ньютон.

Известно, что планета сформировалась под действием двух сил — силы взаимного притяжения её частиц и центробежной силы, возникающей из-за вращения планеты вокруг своей оси. Сила тяжести представляет собой равнодействующую этих двух сил. Степень сжатия зависит от угловой скорости вращения: чем быстрее вращается тело, тем больше оно сплющивается у полюсов.



Рис. 1.1. Вращение Земли

Понятие фигуры Земли может трактоваться по-разному в зависимости от того, какие требования предъявляются к точности решения тех или

иных задач. В одних случаях Землю можно принять за плоскость, в других – за шар, в третьих – за двухосный эллипсоид вращения с малым полярным сжатием, в четвертых – трехосный эллипсоид.



Рис. 1.2. Физическая поверхность Земли ([вид из космоса](#))

Суша составляет приблизительно одну треть от всей поверхности Земли. Она возвышается над уровнем моря в среднем на 900 – 950 м. По сравнению с радиусом Земли ($R = 6371$ км) это весьма малая величина. Поскольку большую часть поверхности Земли занимают моря и океаны, то за форму Земли можно принять уровенную поверхность, совпадающую с невозмущенной поверхностью Мирового океана и мысленно продолженную под материками. По предложению немецкого ученого Листинга данную фигуру называли *геоидом*. **Фигура,**

ограниченная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью воды Мирового океана в спокойном состоянии, мысленно продолженная под материками, называется геоидом. Под Мировым океаном понимают поверхности морей и океанов, связанные между собой. Поверхность геоида во всех точках перпендикулярна отвесной линии. Фигура геоида зависит от распределения масс и плотностей в теле Земли. Она не имеет точного математического выражения и является практически неопределимой, в связи с чем в геодезических измерениях вместо геоида используется его приближение - квазигеоид. **Квазигеоид**, в отличие от геоида, однозначно определяется по результатам измерений, совпадает с геоидом на территории Мирового океана и очень близок к геоиду на суше, отклоняясь лишь на несколько сантиметров на равнинной местности и не более чем на 2 метра в высоких горах. Для изучения фигуры нашей планеты сначала определяют форму и размеры некоторой модели, поверхность которой является сравнительно хорошо изученной в геометрическом отношении и наиболее полно характеризует форму и размеры Земли. Затем, принимая эту условную фигуру за исходную, определяют относительно нее высоты точек. Для решения многих задач геодезии за модель Земли принят **эллипсоид вращения (сфероид)**.

Направление отвесной линии и направление нормали (перпендикуляра) к поверхности эллипсоида в точках земной поверхности не совпадают и образуют угол ϵ , называемый **уклонением отвесной линии**. Данное явление связано с тем, что плотность масс в теле Земли неодинакова и отвесная линия отклоняется в сторону более плотных масс. В среднем его величина составляет 3 – 4", а в местах аномалий достигает десятков секунд. Реальный уровень моря в разных регионах Земли отклоняется более чем на 100 метров от идеального эллипсоида.

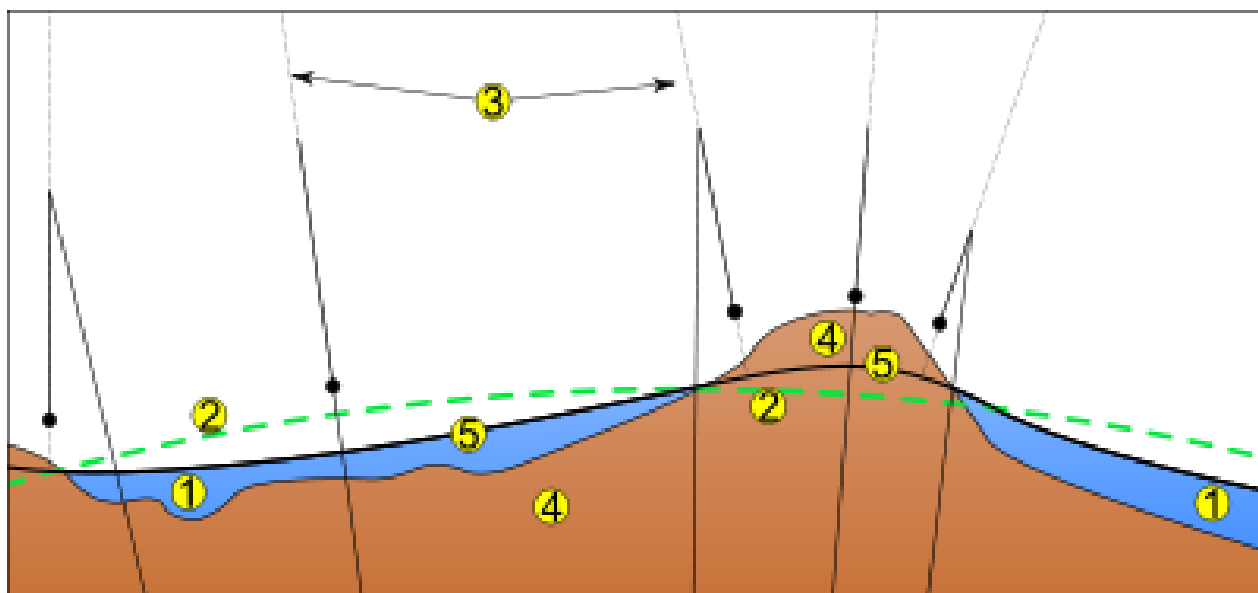


Рис. 1.3. Соотношение поверхностей геоида и земного эллипсоида. 1) мировой океан; 2) земной эллипсоид; 3) отвесные линии; 4) тело Земли; 5) геоид

Для определения размеров земного эллипсоида на суше проводились специальные градусные измерения (определялось расстояние по дуге меридиана в 1°). На протяжении полутора веков (с 1800 по 1940 гг.) были получены различные размеры земного эллипсоида (эллипсоиды Деламбера (д'Аламбера), Бесселя, Хейфорда, Кларка, Красовского и др.). Эллипсоид Деламбера имеет только историческое значение как основа для установления метрической системы мер (на поверхности эллипсоида Деламбера расстояние в 1 метр равно одной десятиmillionной расстояния от полюса до экватора). Эллипсоид Кларка используется в США, странах Латинской Америки, Центральной Америки и других странах. В Европе используется эллипсоид Хейфорда. Он же был рекомендован в качестве международного, однако параметры указанного эллипсоида получены по измерениям, выполненным только на территории США, и, кроме того, содержат большие ошибки. До 1942 г. в нашей стране применялся эллипсоид Бесселя. В 1946 г. размеры земного эллипсоида Красовского были утверждены для геодезических работ на территории Советского Союза и действуют до настоящего времени на территории Украины.

Эллипсоид, который используется данным государством, либо обособленной группой государств, для производства геодезических работ и проектирования на его поверхность точек физической поверхности Земли, называют **референц-эллипсоидом**. Референц-эллипсоид служит вспомогательной математической поверхностью, к

которой приводят результаты геодезических измерений на земной поверхности. Наиболее удачная математическая модель Земли для нашей территории в виде референц-эллипсоида была предложена проф. Ф. Н. Красовским. На этом эллипсоиде основана геодезическая система координат Пулково-1942 (СК-42), которая использовалась в Украине для создания топографических карт с 1946 по 2007 год.

Размеры земного эллипсоида по Красовскому

Малая полуось (полярный радиус)	6356863,019 м
Большая полуось (экваториальный радиус)	6378245,000 м
Средний радиус Земли, принимаемой за шар	6371100,000 м
Полярное сжатие (отношение разницы полуосей к большой полуоси)	1/298.3
Площадь поверхности Земли	510083058 км ²
Длина меридиана	40008550 м
Длина экватора	40075696 м
Длина дуги 1° по меридиану на широте 0°	110,6 км
Длина дуги 1° по меридиану на широте 45°	111,1 км
Длина дуги 1° по меридиану на широте 90°	111,7 км

При вводе Пулковской системы координат и Балтийской системы высот Совет Министров СССР возложил на Генеральный Штаб вооруженных сил СССР и Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР перевычисление в единую систему координат и высот триангуляционной и нивелирной сети, выполненной до 1946 года, и обязал их закончить эту работу в 5-летний срок. Контроль за переизданием топографических карт был возложен на Генеральный

Штаб вооруженных сил СССР, а морских карт на Главный Штаб военно-морских сил. 1 января 2007 года на территории Украины введена [УСК-2000](#) – *Украинская система координат* взамен СК-42. Практической ценностью новой системы координат является возможность эффективного использования глобальных навигационных спутниковых систем в топографо-геодезическом производстве, которые имеют целый ряд преимуществ в сравнении с традиционными методами. Сведений о том, что в Украине произведено перевычисление координат СК-42 в УСК-2000 и изданы новые топографические карты автор этого учебного пособия не имеет. На учебных топографических картах, изданных в 2010 году Государственным научно-производственным предприятием «Картография», в левом верхнем углу по-прежнему осталась надпись «Система координат 1942 г.». Система координат 1963 года (СК-63) являлась производной от предыдущей государственной системы координат 1942 года и имела определенные параметры связи с ней. Для обеспечения секретности в СК-63 были искусственно искажены реальные данные. С появлением мощной вычислительной техники для высокоточного определения параметров связи между различными координатными системами эта система координат утратила свой смысл в начале 80-х годов. Следует заметить, что СК-63 была отменена решением Совета Министров СССР в марте 1989 года. Но впоследствии, учитывая большие объемы накопленных геопространственных данных и картографических материалов (включая результаты выполнения землеустроительных работ времен СССР), срок ее использования был продлен до тех пор, пока все данные не будут переведены в действующую государственную систему координат. Для спутниковой навигации используется трёхмерная [система координат WGS 84](#) ([англ.](#) World Geodetic System 1984). В отличие от локальных систем, является единой системой для всей планеты. WGS 84 определяет координаты относительно центра масс Земли, погрешность составляет менее 2 см. В WGS 84 нулевым меридианом считается IERS Reference Meridian. Он расположен в 5,31" к востоку от Гринвичского меридиана. За основу взят [сфероид](#) с большим радиусом – 6 378 137 м (экваториальный) и меньшим – 6 356 752,3142 м (полярный). Отличается от [геоида](#) менее чем на 200 м. Особенности строения фигуры Земли полностью учитываются при математической обработке высокоточных геодезических измерений и создании государственных геодезических опорных сетей. Ввиду малости сжатия (отношение разности большой, экваториальной полуоси (a) земного эллипсоида и малой полярной полуоси (b) к большой полуоси $[a - b]/b \approx 1:300$) при

1.3. ОСНОВНЫЕ ЛИНИИ И ПЛОСКОСТИ ЗЕМНОГО ЭЛЛИПСОИДА

[illegible]

Сечения земного эллипсоида плоскостями, перпендикулярными к малой его оси, образуют след в виде окружностей, которые называются **параллелями**. Параллели имеют различные по величине радиусы. Чем ближе расположены параллели к центру эллипсоида, тем больше их радиусы. Параллель с наибольшим радиусом, равным большой полуоси земного эллипсоида, называется **экватором**. Плоскость экватора проходит через центр земного эллипсоида и делит его на две равные части: Северное и Южное полушария. Кривизна поверхности эллипсоида является важной характеристикой. Она характеризуется радиусами кривизны меридианного сечения и сечения

первого вертикала, которые называются главными сечениями Сечения поверхности земного эллипсоида плоскостями, проходящими через его малую ось (ось вращения), образуют след в виде эллипсов, которые называются **меридианными сечениями**. На рис. 1.4 прямая CO' , перпендикулярная к касательной плоскости KK' в точке ее касания C , называется **нормалью** к поверхности эллипсоида в этой точке. Каждая нормаль к поверхности эллипсоида всегда лежит в плоскости меридиана, а следовательно, пересекает ось вращения эллипсоида. Нормали к точкам, лежащим на одной параллели, пересекают малую ось (ось вращения) в одной и той же точке. Нормали к точкам, расположенным на разных параллелях, пересекаются с осью вращения в различных точках. Нормаль к точке, расположенной на экваторе, лежит в плоскости экватора, а нормаль в точке полюса совпадает с осью вращения эллипсоида. Плоскость, проходящая через нормаль, называется **нормальной плоскостью**, а след от сечения этой плоскостью эллипсоида – **нормальным сечением**. Через любую точку на поверхности эллипсоида можно провести бесчисленное множество нормальных сечений. Меридиан и экватор являются частными случаями нормальных сечений в данной точке эллипсоида. Нормальная плоскость, перпендикулярная к плоскости меридиана в данной точке C , называется **плоскостью первого вертикала**, а след, по которой она пересекает поверхность эллипсоида, – сечением первого вертикала (рис. 1.4). Взаимное положение меридиана и любого нормального сечения, проходящего через точку C (рис. 1.5) на данном меридиане, определяется на поверхности эллипсоида углом A , образованным меридианом данной точки C и нормальным сечением.

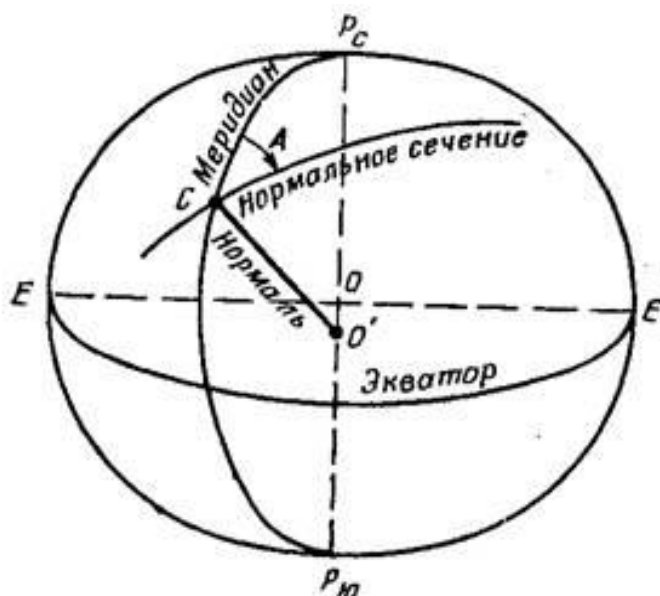


Рис. 1.5. Нормальное сечение

Этот угол называется *геодезическим азимутом* нормального сечения. Он отсчитывается от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки от 0 до 360°. Если принять Землю за шар, то нормаль к любой точке поверхности шара пройдет через центр шара, а любая нормальная плоскость образует на поверхности шара след в виде окружности, которая называется большим кругом.

2.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИГУРЫ И РАЗМЕРОВ ЗЕМЛИ

При определении фигуры и размеров Земли использовались следующие методы:

Астрономо - геодезический метод Определение фигуры и размеров Земли основано на использовании градусных измерений, суть которых сводится к определению линейной величины одного градуса дуги меридиана и параллели на разных широтах. Однако непосредственные линейные измерения значительной протяженности на земной поверхности затруднены, ее неровности существенно снижают точность работ.

Метод триангуляции Заключается в геодезическом построении на местности системы пунктов, образующих треугольники, у которых измеряются все углы и длины некоторых базовых (базисных) сторон. Высокая точность измерения значительных по протяженности расстояний обеспечивается применением метода триангуляции,

разработанного в XVII в. голландским ученым В. Снеллиусом (1580 – 1626). Триангуляционные работы для определения дуг меридианов и параллелей проводились учеными разных стран. Еще в XVIII в. было установлено, что один градус дуги меридиана у полюса длиннее, чем у экватора. Такие параметры характерны для эллипсоида, сжатого у полюсов. Этим подтверждалась гипотеза И. Ньютона о том, что Земля в соответствии с законами гидродинамики должна иметь форму эллипсоида вращения, сплюснутого у полюсов.

Геофизический (гравиметрический) метод Он основан на измерении величин, характеризующих земное поле силы тяжести, и их распределении на поверхности Земли. Преимущество этого метода в том, что его можно применять на акваториях морей и океанов, т. е. там, где возможности астрономо-геодезического способа ограничены. Данные измерений потенциала силы тяжести, выполненные на поверхности планеты, позволяют вычислить сжатие Земли с большей точностью, чем астрономо-геодезическим методом. Начало гравиметрическим наблюдениям было положено в 1743 г. французским ученым А. Клеро (1713 – 1765). Он предположил, что поверхность Земли имеет вид сфероида, т. е. фигуры, которую приняла бы Земля, находясь в состоянии гидростатического равновесия под влиянием только сил взаимного тяготения ее частиц и центробежной силы вращения около неизменной оси. А. Клеро предположил также, что тело Земли состоит из сфероидальных слоев с общим центром, плотность которых возрастает к центру.

Космический метод Развитие космического метода и изучения Земли связано с освоением космического пространства, которое началось с момента запуска советского искусственного спутника Земли (ИСЗ) в октябре 1957 г. Перед геодезией были поставлены новые задачи, связанные с бурным развитием космонавтики. В их числе – наблюдение за ИСЗ на орбите и определение их пространственных координат в заданный момент времени. Выявленные отклонения реальных орбит ИСЗ от предвычисленных, вызванные неравномерным распределением масс в земной коре, позволяют уточнить представление о гравитационном поле Земли и в конечном результате о ее фигуре.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определения: «Топография», «Геодезия», «Топографическая карта».
2. С какими науками связана топография? Объясните на примерах эту связь.
3. Для каких целей используются данные о форме и размерах Земли?
4. По каким признакам в древности определили, что Земля имеет шарообразную форму?
5. Какую фигуру называют геоидом?
6. Какую фигуру называют эллипсоидом?
7. Какую фигуру называют референц-эллипсоидом?
8. Каковы элементы и размеры эллипсоида Красовского?
9. Назовите основные линии и плоскости земного эллипсоида.
10. Какие методы используются для определения фигуры и размеров Земли?
11. Дайте краткую характеристику каждому методу.