

ГЕОДЕЗИЯ

УЧЕБНИК

Под редакцией проф. Д. Ш. Михелева

Рекомендовано

*Учебно-методическим объединением
по образованию в области геодезии и фотограмметрии
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по укрупненному направлению подготовки
«Геодезия и землеустройство»*

11-е издание, переработанное



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 528.48(075.8)

ББК 26.1я73

Г35

Рецензенты:

зав. кафедрой «Геодезия и геоинформатика» Государственного университета
землеустройства, проф., д-р техн. наук *В. Н. Баранов*;

зав. кафедрой «Геодезия, геоинформатика и навигация»

Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ),

проф. д-р техн. наук *С. И. Матвеев*

Геодезия : учебник для студ. учреждений высш. проф. обра-
Г35 зования / [Е. Б. Ключшин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев,
В. Д. Фельдман] ; под ред. Д. Ш. Михелева. — 11-е изд., перераб. —
М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 496 с. — (Сер.
Бакалавриат).

ISBN 978-5-7695-9309-3

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным
стандартом по техническим направлениям подготовки (квалификация «бакалавр»).

Даны сведения по геодезии, картографии и топографии; геодезическим прибо-
рам, методам геодезических измерений, вычислений и оценки точности их результа-
тов; инженерно-геодезическим работам, выполняемым при изыскании, проектиро-
вании и строительстве инженерных сооружений. Изложены методы изысканий, про-
изводства разбивочных работ, исполнительных съемок. Приведены сведения по гео-
дезическому обеспечению кадастра, наблюдению за деформациями сооружений, сер-
тификации, лицензированию и технике безопасности при их проведении.

Предьдущие издания книги (1-е — 10-е) выходили под названием «Инженер-
ная геология».

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 528.48(075.8)

ББК 26.1я73

Учебное издание

**Ключшин Евгений Борисович, Киселев Михаил Иванович,
Михелев Давид Шаевич, Фельдман Виллен Данилович**

Геодезия

Учебник

11-е издание, переработанное

Редактор *И. В. Мочалова*. Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерная верстка: *О. В. Пешкетова*. Корректоры *Т. В. Кузьмина, Г. Е. Форысенкова*

Изд. № 11116477. Подписано в печать 31.05.2012. Формат 60 × 90/16. Гарнитурa «Ньютон».

Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Усл. печ. л. 31,0. Тираж 1 000 экз. Заказ №

Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 26б. Адрес для корреспонденции: 129085, г. Москва,

пр-т Мира, д. 101в, стр. 1, а/я 48. Тел. 8(495)648-05-07, факс 8(495)616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16067 от 06.03.2012.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) — sales@tverpk.ru.

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра
«Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Коллектив авторов, 2010

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-9309-3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник рассчитан на студентов вузов, изучающих курс «Инженерная геодезия».

Методически учебник построен таким образом, чтобы при изучении раздела I студенты могли ознакомиться с общими сведениями по геодезии, картографии и топографии; геодезическими приборами, включая самые современные; методами геодезических измерений, вычислений и оценки точности их результатов.

Раздел II учебника посвящен инженерно-геодезическим работам, выполняемым при изысканиях, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Изложены методы изысканий построения инженерно-геодезических сетей, разбивочных работ, исполнительных съемок, геодезического обеспечения строительства гражданских и промышленных зданий, дорог и мостов, подземных коммуникаций, гидротехнических сооружений, тоннелей метрополитена, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов. Даны сведения по геодезическому использованию спутниковых технологий, геодезическому обеспечению кадастра, наблюдению за деформациями сооружений, сертификации, лицензированию, организации геодезических работ и технике безопасности при их проведении.

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия — одна из древнейших наук. Слово «геодезия» образовано из двух слов: «земля» и «разделяю», а сама наука возникла как результат практической деятельности человека по установлению границ земельных участков, строительству оросительных каналов, осушению земель. Современная геодезия — многогранная наука, решающая сложные научные и практические задачи. Это наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах. Задачи геодезии решаются на основе измерений, выполняемых геодезическими инструментами и приборами. В геодезии используют положения математики, физики, астрономии, картографии, географии и других научных дисциплин.

Геодезия подразделяется на высшую, космическую, топографию, фотограмметрию и инженерную (прикладную) геодезию. Каждый из этих разделов имеет свой предмет изучения, свои задачи и методы их решения, т. е. является самостоятельной научно-технической дисциплиной.

Высшая геодезия изучает фигуру и размеры Земли, методы определения координат точек на поверхности для территории всей страны.

Космическая геодезия решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников Земли.

Топография рассматривает способы изучения земной поверхности и изображения ее на картах и планах.

Фотограмметрия решает задачи измерений по аэрофото- и космическим снимкам для различных целей, в том числе для получения карт и планов, обмеров зданий и сооружений и т. п.

Инженерная геодезия изучает методы геодезического обеспечения при разработке проектов, строительстве и эксплуатации разнообразных сооружений, а также при изучении, освоении и охране природных ресурсов.

Несмотря на многообразие инженерных сооружений при их проектировании и возведении решаются следующие общие задачи: получение геодезических данных при разработке проектов строительства сооружений (инженерно-геодезические изыскания); определение на местности основных осей и границ сооружений в соответствии с проектом строительства (разбивочные работы); обеспечение

в процессе строительства геометрических форм и размеров элементов сооружения в соответствии с его проектом, геометрических условий установки и наладки технологического оборудования; определение отклонений геометрической формы и размеров возведенного сооружения от проектных (исполнительные съемки); изучение деформаций (смещений) земной поверхности под сооружением, самого сооружения или его частей под воздействием природных факторов и в результате деятельности человека.

Для решения каждой из указанных задач применительно к разным видам сооружений существуют свои методы, средства и требования к точности их выполнения. Например, при инженерно-геодезических изысканиях в основном производят измерения для составления карт и планов, на которых изображают то, что есть на местности, а при строительстве здания, наоборот, определяют на местности то место, где здание должно располагаться по проекту. Конструкции здания устанавливают на предусмотренные проектом места с погрешностью 5 ... 10 мм, детали заводского конвейера — 1 ... 2 мм, а оборудование физических лабораторий (ускорителей ядерных частиц) — 0,2 ... 0,5 мм.

Инженерная геодезия тесно связана с другими геодезическими дисциплинами и использует методы измерений и приборы, предназначенные для общегеодезических целей. В то же время для геодезического обеспечения строительно-монтажных работ, наблюдений за деформациями сооружений и других подобных работ применяют свои приемы и методы измерений, используют специальную измерительную технику, лазерные приборы и автоматизированные системы.

Инженерно-геодезические измерения выполняют непосредственно на местности в различных физико-географических условиях, поэтому необходимо заботиться об охране окружающей природы: не допускать повреждений лесов, сельскохозяйственных угодий, не загрязнять водоемы.

Решение современных задач геодезии связано с обеспечением и улучшением качества строительства зданий и сооружений, промышленных и жилых комплексов, дорог, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов, энергетических объектов, объектов агропромышленного комплекса и др. Для этого требуется большое число квалифицированных работников, способных обеспечить строительство важных объектов. Для подготовки таких кадров и предназначен данный учебник.

РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИИ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Глава 1

ЗЕМНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ И СПОСОБЫ ЕЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

1.1. Форма Земли и определение положения точек на земной поверхности

Форма Земли. Мысль о том, что Земля имеет форму шара, впервые высказал в VI в. до н.э. древнегреческий ученый Пифагор, а доказал это и определил радиус Земли египетский математик и географ Эратосфен, живший в III в. до н.э. Впоследствии ученые уточнили, что Земля сплюснута у полюсов. Такая фигура в математике называется *эллипсоидом вращения*, она получается от вращения эллипса вокруг малой оси. В *земном эллипсоиде* (рис. 1.1, а) полярная ось меньше экваториальной.

Земля не является правильным геометрическим телом — ее поверхность представляет собой сочетание возвышенностей и углублений. Большая часть углублений заполнена водой океанов и морей — из 510 млн км² общей площади поверхности Земли 71 % занимает океан. Поверхность воды в нем под действием силы тяжести образует уровненную поверхность, перпендикулярную в каждой точке направлению силы тяжести. Линию, совпадающую с направлением силы тяжести, называют *отвесной линией*. Если уровненную по-

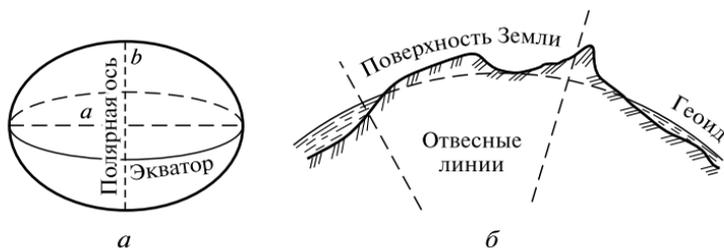


Рис. 1.1. Формы земной поверхности:

а — земной эллипсоид; б — геоид

верхность мысленно продолжить под материками, то образуется фигура, называемая *геоидом* (рис. 1.1, б). Казалось бы, геоид наилучшим образом определяет математическую фигуру Земли, так как в каждой точке его поверхности существует одно вполне определенное направление — отвесная линия, составляющая с касательной плоскостью прямой угол. Однако из-за неравномерного распределения масс внутри Земли поверхность геоида имеет сложную, неправильную форму. Поэтому за математическую фигуру для Земли принимают эллипсоид вращения, наиболее приближенный к геоиду. Земной эллипсоид соответствующим образом мысленно располагают (ориентируют) в теле Земли.

Земной эллипсоид с установленными размерами, ориентированный определенным образом, называют *референц-эллипсоидом*, или *отсчетным эллипсоидом*. В нашей стране размеры референц-эллипсоида были получены под руководством выдающегося геодезиста Ф. Н. Красовского. Эти размеры утверждены для использования в работах по высшей геодезии и картографии. Референц-эллипсоиду присвоено имя Красовского. Размеры референц-эллипсоида Красовского составляют: большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, полярное сжатие $\alpha = (a - b)/a = 1/298,3$.

В инженерной геодезии и работах по топографии условно считают, что Земля имеет форму шара, объем которого равен объему земного эллипсоида, а радиус шара $R = 6\,371,11$ км.

Определение местоположения точек. Чтобы определить положение точек на земной поверхности, на ней условно проводят линии — меридианы и параллели, которые образуют систему географических координат (рис. 1.2, а).

Меридиан — это воображаемая линия, образованная секущей плоскостью, проходящей через ось PP_1 вращения Земли.

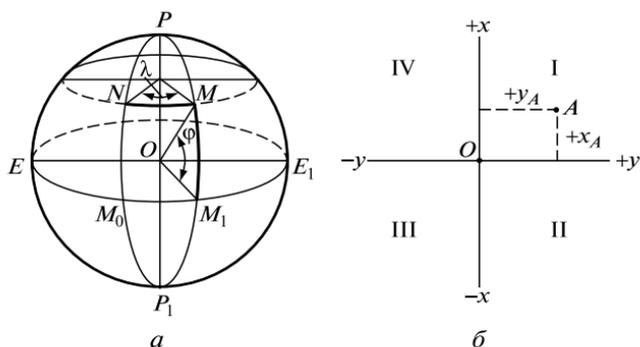


Рис. 1.2. Системы координат:

а — географических; б — плоских прямоугольных

Параллель — это воображаемая линия, образованная на поверхности Земли секущей плоскостью, перпендикулярной оси вращения Земли. Параллель, образованная плоскостью, проходящей через центр Земли, называется *экватором*.

Один из меридианов, например меридиан PNM_0P_1 , принимают за начальный. Тогда положение меридиана точки M определяется двугранным углом между меридианной плоскостью, проходящей через эту точку, и плоскостью начального меридиана. Этот угол называют *долготой данной точки* и обозначают буквой λ . Положение параллели точки M определяется углом между радиусом OM земного шара и плоскостью экватора. Этот угол называют *широтой данной точки* и обозначают буквой φ . Долготу точки M можно измерить так же дугой NM параллели, а широту той же точки — дугой M_1M меридиана. Долгота λ и широта φ называются *географическими координатами данной точки*.

Начальным меридианом на поверхности Земли принято считать меридиан, проходящий через центр меридианного зала старейшей в Европе астрономической обсерватории в Гринвиче, вблизи Лондона. Долготы отсчитывают к востоку и западу от начального меридиана в пределах $0 \dots 180^\circ$ и обозначают, например, так: 62° в.д. (восточной долготы) или 124° з.д. (западной долготы) от Гринвича; широты — $0 \dots 90^\circ$ к северу и югу от экватора, например 56° с.ш. (северной широты) или ю.ш. (южной широты).

Положение любой точки на поверхности Земли можно определить с помощью астрономических наблюдений (астрономические координаты), вычислить по результатам геодезических измерений на местности или по наблюдению спутников (геодезические координаты).

Если геодезические работы ведут на небольшом участке, что позволяет не принимать во внимание сферичность поверхности Земли, для определения положения точки используют систему плоских прямоугольных координат (рис. 1.2, б). Систему образуют две взаимно-перпендикулярные линии (оси), лежащие в горизонтальной плоскости, причем ось абсцисс x , как правило, совмещают с меридианом какой-либо точки. Точка O — начало координат. Положительное направление оси x — на север от экватора, оси y — на восток от меридиана. Оси абсцисс и ординат образуют координатные четверти I...IV, которые нумеруют по ходу часовой стрелки; северо-восточная четверть считается первой.

Например, положение точки A определяется координатами $x_{AU}y_{AU}$. В зависимости от четверти, в которой расположена точка, перед координатами ставят знаки «плюс» или «минус».

Для полной характеристики положения точки на поверхности Земли необходимо знать еще третью координату — высоту. *Высотой точки* называется расстояние по отвесному направлению от этой точки до уровенной поверхности. Числовое значение высоты точки называется ее *отметкой*.

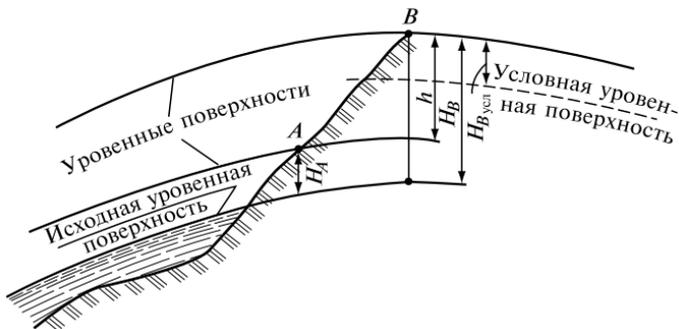


Рис. 1.3. Абсолютные, условные и относительные высоты

Высоты (рис. 1.3) бывают абсолютные, условные и относительные. *Абсолютные высоты*, например H_A и H_B , отсчитывают от исходной уровенной поверхности — среднего уровня океана или моря (в России это нуль Кронштадтского футштока — горизонтальная черта на медной пластине, прикрепленной к устью моста через обводной канал в г. Кронштадте). *Условной высотой*, например $H_{B,усл}$, называется отвесное расстояние от точки земной поверхности до условной уровенной поверхности — любой точки, принятой за исходную (нулевую).

Относительной высотой, или *превышением*, h точки называется высота ее над другой точкой земной поверхности (например, точки B над точкой A).

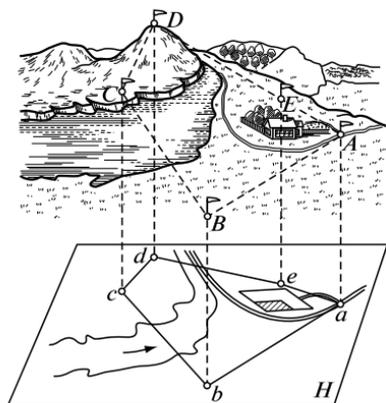
1.2. Изображение земной поверхности на плоскости (план, карта, профиль)

Поверхность Земли изображают на плоскости в виде планов, карт, профилей.

При составлении планов сферическую поверхность Земли проецируют на горизонтальную плоскость и полученное изображение уменьшают до требуемого размера. Как правило, в геодезии применяют метод ортогонального проецирования (рис. 1.4). Сущность его состоит в том, что точки местности переносят на горизонтальную плоскость по отвесным линиям, параллельным друг другу и перпендикулярным горизонтальной плоскости. Например, точка A местности (перекресток дорог) проецируется на горизонтальную плоскость H по отвесной линии Aa , точка B — по линии Bb и т. д. Точки a и b являются ортогональными проекциями точек A и B местности на плоскости H .

Полученное на плоскости изображение участка земной поверхности уменьшают с сохранением подобия фигур. Такое уменьшен-

Рис. 1.4. Ортогональное проецирование местности



ное изображение называется *планом местности*. Следовательно, план местности — это уменьшенное подобное изображение горизонтальной проекции участка поверхности Земли с находящимися на ней объектами.

Однако план нельзя составить на очень большую территорию, так как сферическая поверхность Земли не может быть развернута в плоскость без складок или разрывов. Изображение Земли на плоскости, уменьшенное и искаженное вследствие кривизны поверхности, называют *картой*.

Таким образом, и план, и карта — это уменьшенные изображения земной поверхности на плоскости. Различие между ними состоит в том, что при составлении карты проецирование производят с искажениями поверхности за счет влияния кривизны Земли, а на плане изображение получают практически без искажения.

Профилем местности называется уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Как правило, разрез местности (рис. 1.5, а) представляет собой кривую линию $ABC...G$. На профиле (рис. 1.5, б) она строится в виде ломаной линии $abc...g$, а уровенную поверхность изображают прямой линией. Для большей наглядности вертикальные отрезки (высоты, превышения) делают крупнее, чем горизонтальные (расстояния между точками).

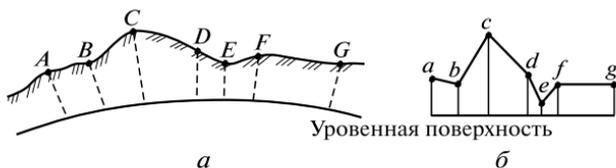


Рис. 1.5. Изображения местности:

а — разрез; б — профиль

1.3. Измерения и построения в геодезии

Под *измерениями* понимают процесс сравнения какой-либо величины с другой однородной величиной, принимаемой за единицу. При всем многообразии геодезических измерений все они сводятся в основном к трем видам:

- линейные, когда определяются расстояния между заданными точками;
- угловые, когда определяются значения горизонтальных и вертикальных углов между направлениями на заданные точки;
- высотные (нивелирование), когда определяются разности высот отдельных точек.

За единицу линейных и высотных измерений (расстояний, высот и превышений) в геодезии принят метр, представляющий собой длину жезла — эталона, изготовленного из платино-иридиевого сплава в 1889 г. и хранящегося в Международном бюро мер и весов в Париже. Копия № 28 этого жезла находится в НИИ метрологии им. Д. И. Менделеева в Санкт-Петербурге. В качестве эталона более высокой точности в настоящее время служит метр, определенный как длина пути, пройденного светом за $1/299792548$ доли секунды.

Единицей для измерений углов (горизонтальных и вертикальных) служит градус, представляющий $1/90$ прямого угла или $1/360$ окружности. Градус содержит 60 угл. мин, минута делится на 60 угл. с. В некоторых странах применяют градовую систему, в которой 1 град составляет $1/400$ окружности, градовая минута — $1/100$ град, а градовая секунда — $1/100$ градовой минуты.

В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерений служит гон, равный 1 град или 54 угл. мин; тысячная его доля, равная 3,24 угл. с, называется *миллигон*.

Измерения называют *прямыми*, если их выполняют с помощью приборов, позволяющих непосредственно сравнить измеряемую величину с величиной, принятой за единицу, и *косвенными*, если искомую величину получают путем вычислений на основе результатов прямых измерений. Так, угол в треугольнике можно непосредственно измерить угломерным прибором (прямое измерение) или вычислить по результатам измерения трех сторон треугольника (косвенное измерение).

Необходимыми условиями любого измерения являются: объект измерения; субъект измерения — лицо, производящее измерение; мерный прибор, которым выполняют измерения; метод измерения — совокупность правил и действий, определяющих процесс измерения; внешняя среда, в которой выполняют измерения.

Обозначенные на местности точки, от которых выполняют геодезические измерения, называют *исходными*. Точки, положение которых на местности необходимо определить, называют *определяемыми*.

Исходные и определяемые точки могут располагаться в горизонтальной плоскости в плане (плановые точки) и вертикальной — по высоте (высотные точки).

Рассмотрим шесть основных геодезических способов построения, применяемых для определения положения точки в плане.

Требуется определить положение точки C относительно обозначенных на местности исходных точек A и B .

1. Положение точки C (рис. 1.6, а) можно определить, если опустить из этой точки перпендикуляр на прямую AB , а затем измерить расстояние l от точки A до основания перпендикуляра и длину перпендикуляра d . Отрезки l и d будут координатами точки C . Такое построение называют *способом перпендикуляров*.

Если прямую AB принять за ось абсцисс прямоугольной системы координат, то перпендикуляр d будет ординатой определяемой точки, а расстояние l — ее абсциссой. Поэтому способ называют также *способом ординат*.

2. Положение точки C (рис. 1.6, б) определяется, если измерить на точке A угол α и длину $AC = r$. Такой способ называют *способом полярных координат*: полярные координаты точки C — α и r , угол α — полярный, точка A — полюс, прямая AB — полярная ось, отрезок r — радиус-вектор.

3. Для определения положения точки C (рис. 1.6, в) относительно прямой AB достаточно измерить углы α и β на точках A и B . Этот способ называют *прямой угловой засечкой* (прямая AB — базис засечки).

4. Положение точки C (рис. 1.6, г) определяется, если измерить угол α на точке A и угол γ на определяемой точке C (*способ боковой засечки*).

5. Для определения положения точки C (рис. 1.6, д) можно измерить длину линий $AC = b$ и $BC = a$ (*способ линейной засечки*).

6. Точка C (рис. 1.6, е) находится на линии AB (в створе AB) и на расстоянии l от точки A (*способ створной засечки*).

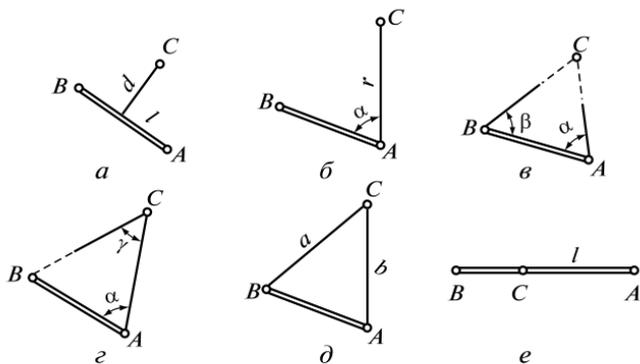
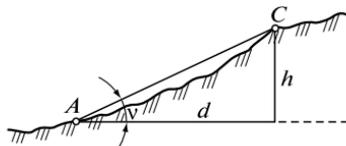


Рис. 1.6. Схемы (а...е) к способам определения положения точки в плане

Рис. 1.7. Схема к способу определения положения точки по высоте



Эти построения выполняют, если расстояния между точками невелики и есть непосредственная видимость между исходными и определяемыми точками. Когда расстояния между исходными точками значительны или требуется найти положение нескольких точек, то пользуются более сложными построениями.

Положение определяемой точки C по высоте (рис. 1.7) находят, измерив ее превышение h над исходной точкой A или угол наклона ν линии AC к горизонту и горизонтальное проложение d (проекцию линии AC на горизонтальную плоскость).

1.4. Масштабы изображения на плоскости

Масштаб — это отношение длины s линии на чертеже, плане, карте к длине S горизонтального проложения соответствующей линии в натуре, т. е. $s : S$. Масштаб обозначают либо дробью (числовой), либо в виде графических изображений.

Числовой масштаб, обозначаемый $1/M$, представляет собой правильную дробь, у которой числитель равен единице, а знаменатель M показывает, во сколько раз уменьшены линии местности при изображении их на плане. Например, для масштаба $1/100$ единице длины на плане соответствует 100 таких же единиц на местности или 1 см на плане — 100 см (1 м) на местности. Чем больше знаменатель числового масштаба, тем больше степень уменьшения, т. е. тем мельче масштаб. Из двух числовых масштабов более крупный тот, знаменатель которого меньше.

Используя значение $1/M$ числового масштаба и зная длину S проложения линии на местности, можно по формуле

$$s = S/M \quad (1.1)$$

определить ее длину на плане или по формуле

$$S = sM \quad (1.2)$$

линии на местности, зная длину s этого отрезка на плане.

Пример 1.1. Длина отрезка $S = 142$ м. Найти величину изображения этого отрезка на плане масштаба $1:2\,000$.

По формуле (1.1), находим

$$s = 142 : 2\,000 = 0,071 \text{ м} = 7,1 \text{ см.}$$

Пример 1.2. На плане масштаба 1:500 величина отрезка между двумя точками $s = 14,6$ см. Определить длину S этой линии на местности.

По формуле (1.2) находим $S = 14,6 \cdot 500 = 7\,300$ см = 73 м.

При решении задач по карте или плану с помощью числового масштаба приходится выполнять много вычислений. Чтобы избежать этого, используют *графические масштабы*.

Графические масштабы бывают линейные и поперечные.

Л и н е й н ы й м а с ш т а б (рис. 1.8, *а*) представляет собой шкалу с делениями, соответствующими данному числовому масштабу. Для построения линейного масштаба на прямой линии откладывают несколько раз расстояние, называемое *основанием масштаба*. Длину основания принимают равной 1; 2; 2,5 см. Первое основание делят на 10 равных частей и на правом конце его пишут нуль, а на левом — то число метров или километров, которому на местности соответствует в данном масштабе основание. Вправо от нуля над каждым делением надписывают значения соответствующих расстояний на местности (на рис. 1.8, *а* изображен линейный масштаб для числового масштаба 1:2 000).

П о п е р е ч н ы й м а с ш т а б применяют для измерений и построений повышенной точности. Как правило, поперечный масштаб гравировают на металлических пластинах, линейках или транспортирах. Для заданного числового масштаба он может быть построен на чертеже.

Поперечный масштаб (рис. 1.8, *б*) строят следующим образом. На прямой линии, как и при построении линейного масштаба, откладывают несколько раз основание масштаба и первый отрезок делят

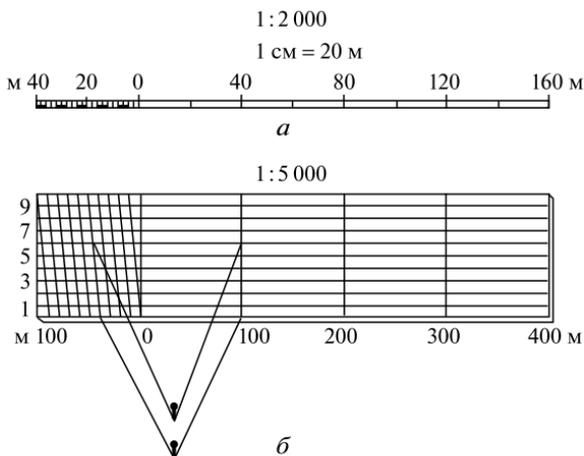


Рис. 1.8. Графические масштабы:

а — линейный; *б* — поперечный

на 10 частей. Деления надписывают так же, как и при построении линейного масштаба. Из каждой точки подписанного деления восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают 10 отрезков, равных $1/10$ основания. Через точки, полученные на перпендикулярах, проводят прямые линии, параллельные основанию. Верхнюю линию первого основания делят также на 10 равных частей. Полученные точки верхних и нижних делений на первом отрезке соединяют. Полученные линии называются *трансверсалиями*. Расстояния между смежными трансверсалиями составляют $1/10$ основания, а между нулевой вертикальной линией и смежной с ней трансверсалью — $1/100 \dots 1/10$.

Поперечный масштаб с основанием 2 см (см. рис. 1.8, б) имеет подписи, соответствующие числовому масштабу $1 : 5\,000$. Основание масштаба соответствует 100 м на местности, $1/10$ его часть — 10 м, $1/100$ часть — 1 м.

Если, например, в этом масштабе надо на плане отложить длину, равную на местности 146 м, правую ножку циркуля-измерителя совмещают с точкой 100 м справа от нуля, а левую — с точкой 40 м слева от нуля. Затем измеритель поднимают на шесть делений вверх и раздвигают до точки, соответствующей 146 м.

Применение любого масштаба, даже поперечного, не может обеспечить точности выше определенного предела, зависящего от свойств человеческого глаза. Невооруженным глазом с расстояния нормального зрения (25 см) можно оценить на плане размер, не превосходящий 0,1 мм (детали объектов местности меньше 0,1 мм изобразить на плане нельзя). Точность масштаба характеризуется горизонтальным расстоянием на местности, соответствующим на плане 0,1 мм. Например, для планов, вычерченных в масштабе $1 : 500$; $1 : 1\,000$; $1 : 2\,000$, точность масштаба соответственно равна 0,05; 0,1; 0,2 м. Точностью масштаба определяется степень обобщения (генерализации) подробностей, которые могут быть изображены на плане (карте) того или иного масштаба.

Для того чтобы акцентировать внимание на каких-то элементах чертежа, карты, плана, эти элементы изображают внemasштабно, т. е. с другой степенью уменьшения или увеличения. На схематических планах городов увеличенными в произвольном масштабе изображают исторические, культурные памятники, театры, вокзалы (рис. 1.9); на мелкомасштабных картах — кружки городов, толщины рек; на чертежах — условные обозначения, стыковые швы, маркировку изделия.

По такому внemasштабному изображению нельзя производить никаких измерений.

Разномасштабно, т. е. в определенном масштабе, но отличном от масштаба данного чертежа, показывают узлы, детали на строительных и машиностроительных чертежах; при изображении плана дороги, проходящей по однообразной местности, выделяют в крупном масштабе только места пересечения дорогой рек, населенных пунк-



Рис. 1.9. Пример внемасштабного изображения — план города

тов, дорог иного назначения и т.п. Таким образом, на одном и том же плане, чертеже, схеме изображения могут быть даны в разных масштабах, а в некоторых случаях — и в натуральную величину.

Глава 2

ОРИЕНТИРОВАНИЕ НА МЕСТНОСТИ

2.1. Азимуты, румбы, дирекционные углы и зависимости между ними

При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой или чертежом необходимо определить положение линии (ориен-

тировать линию) относительно сторон света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное.

Ориентирование заключается в том, что определяют угол между исходным направлением и направлением данной линии. За исходное направление для ориентирования принимают истинный (географический), магнитный меридианы или ось абсцисс прямоугольной системы координат плана. В качестве углов, определяющих направление линии, служат истинный и магнитный азимуты, румбы и дирекционные углы.

Азимутом называется угол между северным направлением меридиана и направлением данной линии MN (рис. 2.1). Азимут измеряется от севера через восток, юг и запад, т.е. по направлению движения часовой стрелки, и может иметь значения $0 \dots 360^\circ$. Азимут A , измеряемый относительно истинного меридиана, называется *истинным*.

В геодезии принято различать прямое и обратное направления линии. Если направление линии MN от точки M к точке N считать прямым, то NM — обратное направление той же линии. В соответствии с этим угол A_1 — прямой азимут линии MN в точке M , а A_2 — обратный азимут этой же линии в точке N .

Меридианы разных точек не параллельны между собой, так как они сходятся в точках полюсов. Отсюда азимут линии в разных ее точках имеет разное значение. Угол между направлениями двух меридианов называется *сближением меридианов* и обозначается γ . Зависимость между прямым и обратным азимутами линии MN выражает следующая формула: $A_2 = A_1 + 180^\circ + \gamma$.

Истинные азимуты линий местности определяются путем астрономических наблюдений или с помощью приборов — гиретодолитов.

Иногда для ориентирования линии местности пользуются не азимутами, а румбами.

Румбом (рис. 2.2) называется острый угол между ближайшим (северным С или южным Ю) направлением меридиана и направлением данной линии.

Румбы обозначают буквой r с индексами, указывающими четверть, в которой находится румб. Названия четвертей составлены из соответствующих обозначений сторон света. Так, I четверть — северо-восточная (СВ), II — юго-восточная (ЮВ), III — юго-западная (ЮЗ), IV — северо-западная (СЗ). Соответственно обозначают румбы в четвертях, например: в первой — $r_{СВ}$, во второй — $r_{ЮВ}$. Румбы измеряют в градусах ($0 \dots 90^\circ$).

В прямоугольной системе координат ориентирование линии производят относительно оси абсцисс. Углы, отсчитываемые в направлении хода часовой стрелки от положительного (северного) направления оси абсцисс до линии, направление которой определяется, называются *дирекционными*. Дирекционные углы обозначаются буквой α и подобно азимуту изменяются от 0 до 360° .

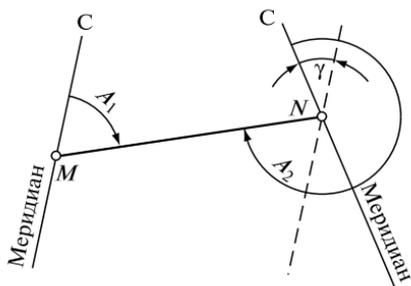


Рис. 2.1. Азимуты

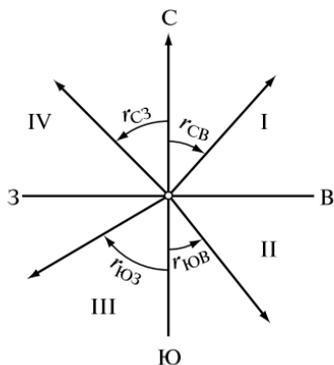


Рис. 2.2. Румбы

Дирекционный угол какого-либо направления непосредственно на местности не измеряют, его значение можно вычислить, если для данного направления определен истинный азимут (рис. 2.3). В данном случае γ — сближение меридианов — представляет собой угол между истинным меридианом M и осью абсцисс в этой точке. Ось абсцисс параллельна осевому меридиану зоны, в которой расположена линия MN . Как видно из рис. 2.3, $\alpha = A - \gamma$. Так же как и для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы: α — прямой, α' — обратный дирекционные углы линии MN : $\alpha' = \alpha + 180^\circ$.

Румбы дирекционных углов обозначают и вычисляют так же, как румбы истинных азимутов, только отсчитывают от северного и южного направлений оси абсцисс (табл. 2.1).

Направление магнитной оси свободно подвешенной магнитной стрелки называется *магнитным меридианом*. Угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии называется *магнитным азимутом*. Магнитный азимут, так же как и истинный, считают по направлению движения часовой стрелки; он также изменяется от 0 до 360° . Зависимость между магнитными азимутами и магнитными румбами такая же, как между истинными рум-

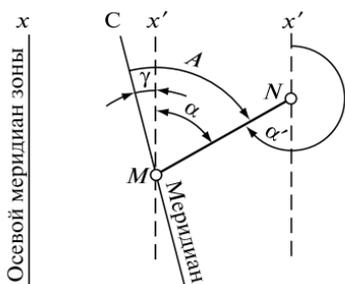


Рис. 2.3. Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

Четверть	$A, ^\circ$	r
I (СВ)	0... 90	A
II (ЮВ)	90... 180	$180^\circ - A$
III (ЮЗ)	180... 270	$A - 180^\circ$
IV (СЗ)	270... 360	$360^\circ - A$

бами. Так как магнитный полюс не совпадает с географическим, направление магнитного меридиана в данной точке не совпадает с направлением истинного меридиана. Горизонтальный угол между этими направлениями называют *склонением магнитной стрелки* δ . В зависимости от того, в какую сторону уклоняется северный конец стрелки от направления истинного меридиана, различают восточное и западное склонения. Перед значением восточного склонения обычно ставят знак «плюс», западного — «минус». Зависимость (рис. 2.4, а) между истинным A и магнитным A_M азимутами выражается формулой $A = A_M + \delta$. При использовании этой формулы учитывают знак склонения. Если известно склонение δ магнитной стрелки и сближение меридианов γ , то по измеренному магнитному азимуту A_M линии MN можно вычислить дирекционный угол α этой линии (рис. 2.4, б): $\alpha = A_M + (\delta - \gamma)$, где разность $(\delta - \gamma)$ — это поправка на склонение стрелки и сближение меридианов (учитывают при ориентировании топографической карты).

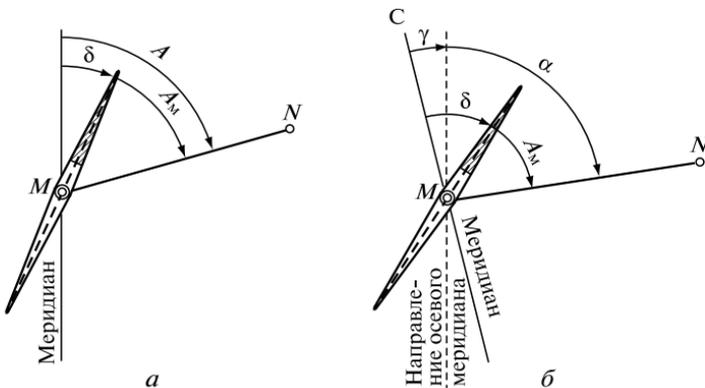


Рис. 2.4. Зависимости:

a — между истинным и магнитным азимутами; b — между магнитным азимутом и дирекционным углом

В различных точках Земли магнитная стрелка имеет разное склонение. Так, на территории Российской Федерации оно колеблется в диапазоне $(0 \pm 15)^\circ$.

Склонение магнитной стрелки не остается постоянным и в данной точке Земли (различают вековые, годовые и суточные изменения склонений). Больше всего изменяются суточные склонения, колебания которых достигают $15'$. Следовательно, магнитная стрелка указывает положение магнитного меридиана приблизительно и ориентировать линии местности по магнитным азимутам можно тогда, когда не требуется высокой точности.

2.2. Приборы для ориентирования на местности

При ориентировании на местности для измерения магнитных азимутов и магнитных румбов пользуются буссолями (рис. 2.5, а) и компасами (рис. 2.5, б).

Главные части буссоли или компаса — магнитная стрелка *1*, вращающаяся на острие шпиля, и кольцо *2* с угловыми делениями. Северный конец стрелки делают темно-синим или черным. В зависимости от того, как подписаны деления, различают азимутальное и румбическое кольца. В азимутальном кольце деления подписывают против направления движения часовой стрелки от 0 до 360° , в румбическом кольце на концах нулевого диаметра ставят нули, перпендикулярного ему диаметра — 90° . В нерабочем состоянии стрелка приподнята на шпилье и прижата к защитному стеклу арретиром *3*.

Буссоли бывают штативные, устанавливаемые при измерениях на штатив; ручные; теодолитные, устанавливаемые на угломерные приборы — теодолиты; настольные, укладываемые на карту или план при их ориентировании. Настольная буссоль (см. рис. 2.5, а) называется *ориентир-буссолью*.

Штативные, ручные буссоли и компасы имеют приспособление для визирования — наведения на точку линии, азимут которой измеряется. Простейшие виды таких приспособлений — диоптры: предметный *4* и глазной *5*. В буссолях линия, соединяющая середину диоптров, постоянно совпадает с нулевым диаметром кольца; в компасах диоптры крепятся на вращающейся крышке.

Принцип измерения азимута линии буссолью заключается в том, что нулевой диаметр буссоли совмещают с направлением этой линии, а по северному концу магнитной стрелки отсчитывают значение азимута или румба.

В компасе с подвижными диоптрами совмещают северный конец стрелки с нулем кольца, а линию диоптров — с направлением определяемой линии и по указателю предметного диоптра отсчитывают значение азимута данной линии.

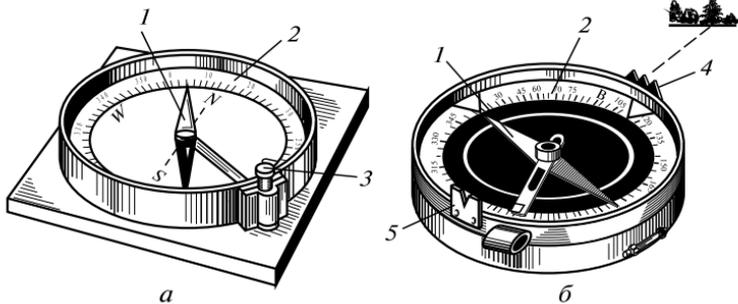


Рис. 2.5. Приборы для ориентирования по магнитным меридианам:
a — бусоль; *б* — компас; 1 — магнитная стрелка; 2 — кольцо; 3 — арретир; 4, 5 —
 диоптры

Для определения истинного азимута применяют гиротеодолит, сочетающий в себе гироскоп как датчик направления географического меридиана и измеритель углов — теодолит. Гироскоп представляет собой вращающееся устройство, подобное волчку, главная ось которого под действием суточного вращения Земли и силы тяжести всегда занимает положение, параллельное оси вращения Земли, т. е. в плоскости географического меридиана.

Глава 3

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

3.1. Классификация и номенклатура

Карты и планы классифицируют в основном по масштабам и назначению.

По масштабам карты подразделяются на мелко-, средне- и крупномасштабные.

Мелкомасштабные карты мельче 1:1 000 000 — это карты обзорного характера, в геодезии практически не применяемые; среднемасштабные (обзорно-топографические) карты масштабов 1:1 000 000, 1:500 000, 1:300 000 и 1:200 000; крупномасштабные (топографические) — масштабов 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000.

Принятый в Российской Федерации масштабный ряд заканчивается топографическими планами масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. В строительстве иногда составляют планы в масштабах 1:200, 1:100 и 1:50.