

Библиотека Инженера

«СОЛОН»

Карлацук В. И., Карлацук С. В.

Спутниковая навигация Методы и средства

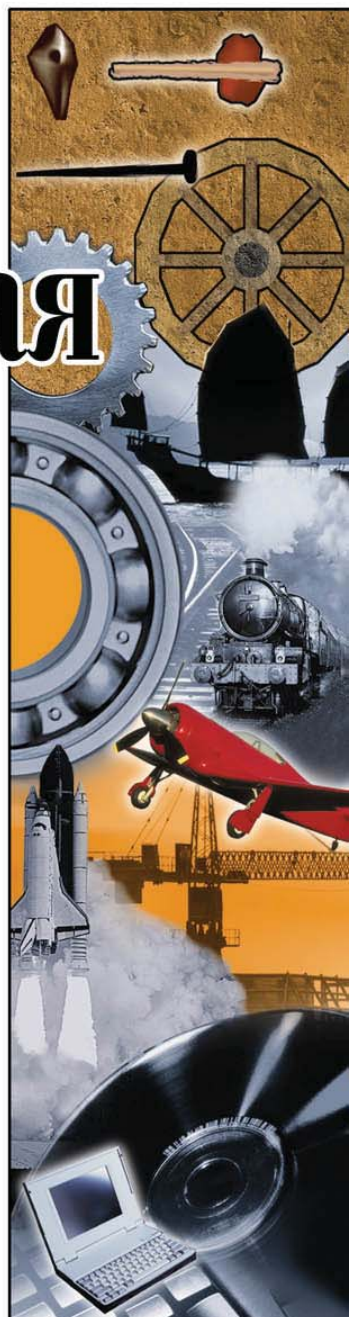
Краткие сведения из геодезии

Системы навигации GPS и ГЛОНАСС

Навигаторы и GPS-приемники

Ozi Explorer и другие программы

Калибровка навигационных карт



Находка для специалиста!

ББК 32.947

К 21

Карлашук В. И.

Спутниковая навигация Методы и средства. Изд. 2-е переработанное и дополненное — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. — 288 с.: ил. —

(Серия «Библиотека инженера»).

ISBN 978-5-91359-037-4

Книга посвящена описанию спутниковых радионавигационных систем GPS-NAVSTAR (США) и ГЛОНАСС (Россия) и их применению в различных системах определения координат. В книге приведены краткие сведения из геодезии, необходимые для понимания задач, решаемых при определении местоположения различных объектов, и описание навигационных программ OziExplorer, НАВИТЕЛ НАВИГАТОР, ГИС Русса, PocketGPS Pro, ПалмГИСGPS и др., широко используемых в переносных и карманных компьютерах, коммуникаторах и навигаторах с функцией учета дорожной обстановки (включая пробки), а также популярный картографический редактор MapEdit для создания собственных карт (включая маршрутизируемые) и их представления в различных картографических форматах. Книга будет интересной для автомобилистов, любителей пешего, горного, водного и лыжного туризма, для охотников, рыбаков, пилотов-любителей, судоводителей малых морских судов, для лиц, занимающихся мониторингом транспортных средств и др. **Книга будет полезной также для студентов и учащихся геодезических, радиотехнических, геологоразведочных, морских и других учебных заведений.**

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Оформить заказ можно на сайте www.solon-press.ru в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать книги по телефону (495) 254-44-10, (495) 252-36-96.

Бесплатно высылается каталог издательства по почте. Для этого высылайте конверт с маркой по адресу, указанному в п. 1.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно дополнительно указать свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса www.solon-press.ru/kat.doc

Интернет-магазин размещен на сайте www.solon-press.ru

По вопросам приобретения обращаться: **ООО «АЛЬЯНС-КНИГА КТК»**

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, www.aliants-kniga.ru

Сайт издательства «СОЛОН-ПРЕСС»: www.solon-press.ru

E-mail: solon-avtor@coba.ru

ISBN 978-5-91359-037-4

© Карлашук В. И., 2008

© Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2008

1. Краткие сведения из геодезии

ВНИМАНИЕ! Копирование и размещение данных материалов на Web-сайтах и других СМИ без письменного разрешения редакции преследуется в административном и уголовном порядке в соответствии с Законом РФ.

Слово «геодезия» произошло от греческих слов «ge» — земля и «dazomai» — разделяю, делю на части, т. е. геодезия — это земле-разделение, что соответствовало ее содержанию на начальном этапе развития. Так, в Египте задолго до нашей эры измерялись размеры земельных участков, строились оросительные системы, — все это выполнялось с участием геодезистов.

В настоящее время геодезия решает следующие задачи [1]:

- определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли;
- распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей земли в целом;
- изображение участков поверхности земли на топографических картах и планах;
- изучение глобальных смещений блоков земной коры;
- создание и внедрение геоинформационных систем (ГИС);
- создание государственных и локальных кадастров: земельного, водного, лесного, городского и т. д.;
- топографо-геодезическое обеспечение делимитации (определения) и демаркации (обозначения) государственной границы России;
- разработка и внедрение стандартов в области цифрового картографирования;
- создание цифровых и электронных карт и их банков данных;
- разработка концепции и государственной программы повсеместного перехода на спутниковые методы автономного определения координат;
- создание комплексного национального атласа России.

Приводимые ниже сведения взяты в основном из учебного пособия [1].

1.1. Понятие о фигуре Земли

Фигуру Земли в первом приближении можно считать шаром. Поскольку Земля вращается вокруг оси, то, согласно законам физики, она должна быть сплюснута у полюсов. Поэтому во вто-

ром приближении Землю принимают за эллипсоид вращения; в некоторых случаях ее считают трехосным эллипсоидом.

В модели шарообразной Земли ее поверхность имеет сферическую форму; здесь важен лишь радиус сферы, а все остальное — морские впадины, горы, равнины — несущественно. Модель эллипсоида вращения имеет две характеристики: размеры большой и малой полуосей. В этой модели используется геометрия эллипсоида вращения, которая намного сложнее геометрии сферы, хотя разработана также достаточно подробно.

При решении геодезических задач различной сложности можно считать поверхность участка Земли либо частью плоскости, либо частью сферы, либо частью поверхности эллипсоида вращения и т. д. При этом основным направлением считается *направление силы тяжести*, которое практически совпадает с направлениями радиусов Земли.

Поверхность, перпендикулярная направлениям силы тяжести, называется *уровенной поверхностью*. Уровенные поверхности можно проводить на разных высотах: все они являются замкнутыми и почти параллельны одна другой.

Уровенная поверхность, совпадающая с невозмущенной поверхностью мирового океана и мысленно продолженная под материка, называется *основной уровенной поверхностью* или *поверхностью геоида*.

Если бы Земля была идеальным шаром и состояла из concentрических слоев различной плотности, имеющих постоянную плотность внутри каждого слоя, то все уровенные поверхности имели бы строго сферическую форму, а направления силы тяжести совпадали бы с радиусами сфер. В реальной Земле направления силы тяжести зависят от распределения масс различной плотности внутри Земли, поэтому поверхность геоида имеет сложную форму, не поддающуюся точному математическому описанию, и не может быть определена только из наземных измерений.

В настоящее время при изучении физической поверхности Земли роль вспомогательной поверхности выполняет *поверхность квазигеоида*, которая может быть точно определена относительно поверхности эллипсоида по результатам астрономических, геодезических и гравиметрических измерений. На территории морей и океанов поверхность квазигеоида совпадает с поверхностью геоида, а на суше она отклоняется от него в пределах двух метров (рис. 1.1).

За действительную поверхность Земли принимают на суше ее физическую поверхность, а на территории морей и океанов — их

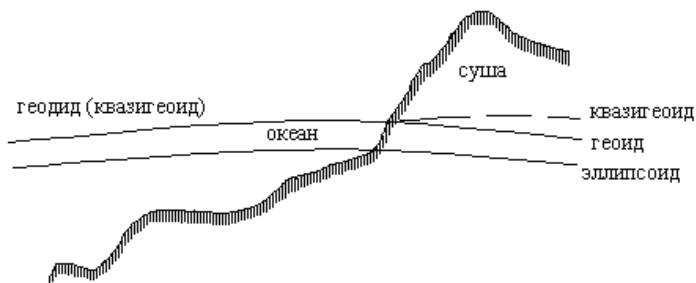


Рис. 1.1. К определению фигуры Земли

невозмущенную поверхность. При этом положение любой ее точки определяется принятой системой координат. В геодезии системы координат задают на поверхности эллипсоида вращения, которая в этом случае называется *поверхностью относимости*. Эллипсоид вращения принятых размеров, определенным образом ориентированный в теле Земли, на поверхность которого относятся геодезические сети при их вычислении, называется *референц-эллипсоидом*.

Для территории нашей страны в 1946 г. был принят *эллипсоид Красовского*, для которого большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, полярное сжатие $\alpha = (a - b)/a = 1/298,3$.

Применяемые в разных странах референц-эллипсоиды имеют различные параметры; существует и общеземной эллипсоид, размеры которого утверждают Международные геодезические организации. Так, в системе WGS-84 (World Geodetic System) принят эллипсоид с параметрами: большая полуось $a = 6\,378\,137,0$ м, полярное сжатие $\alpha = (a - b)/a = 1/298,2566 = 0,003352810665$.

Если в качестве базового принять эллипсоид WGS-84, то для точки земной поверхности с координатами $97^{\circ}44'25,19''$ западной долготы и $30^{\circ}16'28,82''$ северной широты отклонения координат для других эллипсоидов может достигать несколько сотен метров (см. рис. 1.2 [3], на котором данные для нашей страны обозначены как Pulkovo 1942).

1.2. Определение положения точек земной поверхности

Положения точек на земной поверхности могут быть определены астрономическими, геодезическими или прямоугольными координатами.

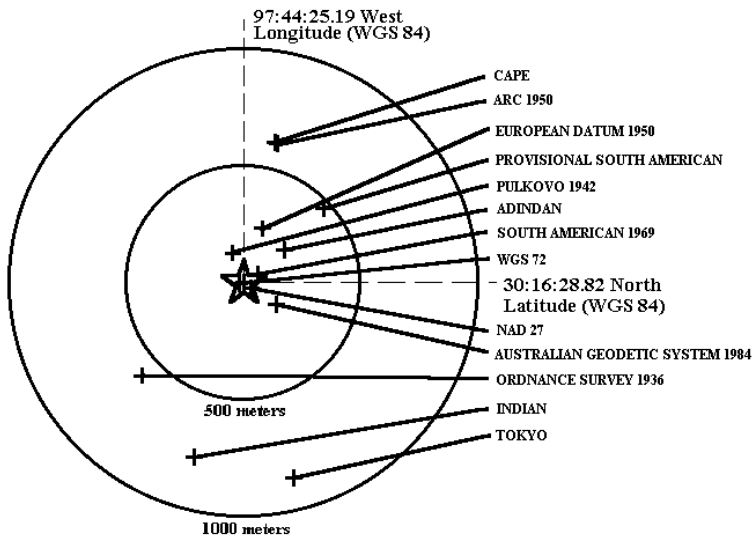


Рис. 1.2. Координаты одной точки для различных эллипсоидов

Астрономические координаты точки (для шарообразной модели Земли) определяются на поверхности сферы двумя сферическими координатами — *широтой* (Latitude) и *долготой* (Longitude) (см. рис.1.3, а, на котором точка О — центр сферы, Р — северный полюс, точка Р' — южный полюс, QQ' — линия экватора, полученная от пересечения плоскости экватора и поверхности сферы).

Плоскость меридиана точки А, лежащей на поверхности сферы, проходит через отвесную линию точки А и ось вращения Земли PP'. *Меридиан* точки А — это линия пересечения плоскости меридиана точки А с поверхностью сферы. *Широта* точки А — угол φ , образованный отвесной линией точки А и плоскостью экватора; он лежит в плоскости меридиана точки.

Широта изменяется от 0° до 90° и отсчитывается в обе стороны от экватора: к северу — северная (N — North), к югу — южная (S — South).

Долгота точки А — угол λ между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана точки А. Начальный меридиан проходит через центр главного зала Гринвичской обсерватории, расположенной вблизи Лондона. Долготы изменяются от 0° до 180° , к западу от Гринвича — западные (W — West), к востоку —

восточные (E — East). Все точки одного меридиана имеют одинаковую долготу.

Линия пересечения плоскости, проведенной через точку А параллельно плоскости экватора, с поверхностью сферы называется ее *параллелью*; все точки параллели имеют одинаковую широту.

Плоскость G, касательная к поверхности сферы в точке А, называется ее *плоскостью горизонта*. Линия пересечения плоскости горизонта и плоскости меридиана точки называется *полуденной линией*; ее направление — с юга на север. Если провести полуденные линии двух точек, лежащих на одной параллели, то они пересекутся в точке на продолжении оси вращения Земли PP', образуя угол γ , который называется *сближением меридианов* этих точек.

Геодезические координаты (для эллипсоидной модели) определяются геодезической широтой и геодезической долготой.

Геодезическая широта точки А — угол В, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в этой точке и плоскостью экватора (см. рис. 1.3, б). *Геодезическая долгота* точки А — двугранный угол L между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана точки.

Плоскость *геодезического меридиана* проходит через точку А и малую полуось эллипсоида; *геодезическая параллель* образуется пересечением поверхности эллипсоида плоскостью, проходящей через точку А параллельно плоскости экватора.

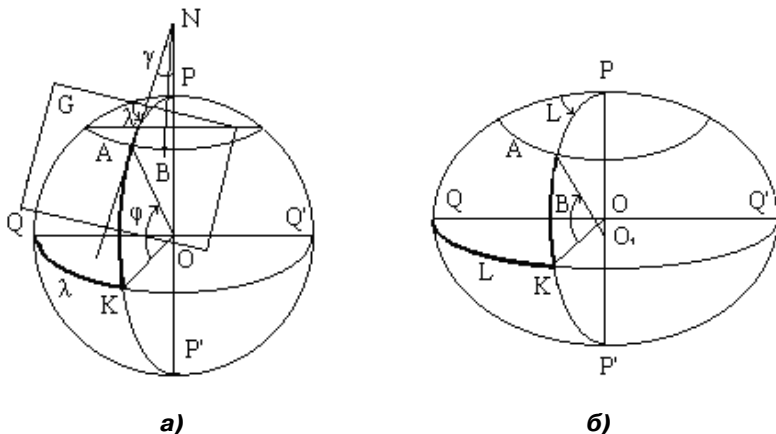


Рис. 1.3. Астрономические (а) и геодезические (б) системы координат

Различие геодезических и астрономических координат точки зависит от угла между ее отвесной линией и ее нормалью к поверхности эллипсоида (смещение $O-O_1$). Этот угол называется *уклоном* отвесной линии и обычно не превышает $5''$. В некоторых районах Земли, называемых *аномальными*, отклонение отвесной линии достигает нескольких десятков дуговых секунд. При геодезических работах невысокой точности астрономические и геодезические координаты не различаются и в этом случае используются под названием *географических координат*.

Для определения положения точки в трехмерном пространстве задается ее третья координата — *высота* (над поверхностью сферы или эллипсоида). В нашей стране отсчет высот ведется от *уровневой поверхности*, соответствующей среднему уровню Балтийского моря, поэтому такая система высот называется *балтийской*.

Прямоугольные координаты (для плоской модели) образуются двумя взаимно перпендикулярными прямыми, называемыми *осями координат* (ось абсцисс — OX , ось ординат — OY .); точка их пересечения O называется *началом* или *нулем* системы координат.

Существуют две системы прямоугольных координат: левая и правая; в геодезии чаще всего применяется левая (рис.1.4, а). Положение точки в такой системе однозначно определяется ее координатами X и Y , которые могут быть как положительными, так и отрицательными, — в зависимости от четверти (квадранта), где находится искомая точка (см. также разд. 1.7).

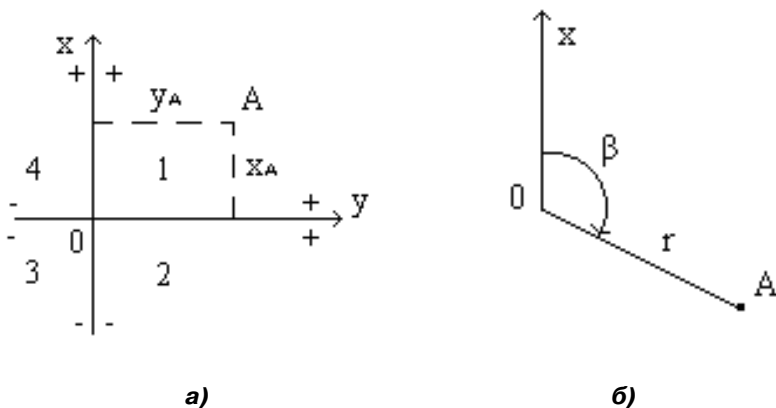


Рис. 1.4. Прямоугольная (а) и полярная (б) система координат

Полярные координаты (для плоской модели) представляют собой систему из направленного из точки O *полярной оси* OX (точка O называется *полюсом* системы) и радиус-вектора r , равного расстоянию от полюса до точки и составляющего *полярный угол* β , отсчитываемый от оси OX по часовой стрелке (см. рис. 1.4, б). Переход от прямоугольных координат к полярным и обратно для случая, когда начала обеих систем и оси OX совпадают, выполняется по формулам: $X = r \cdot \cos\beta$; $Y = r \cdot \sin\beta$; $\operatorname{tg}\beta = Y/X$; $r = (X^2 + Y^2)^{1/2}$.

1.3. Методы проекций

Для изображения на бумаге участка земной поверхности необходимо сначала спроектировать все точки участка на поверхность относимости (на поверхность эллипсоида вращения или сферы), а затем изобразить поверхность относимости на плоскости. Если участок местности небольшой, то соответствующий ему участок сферы или эллипсоида можно заменить плоскостью и считать, что проектирование выполняется сразу на плоскость. При проектировании отдельных точек и целых участков земной поверхности на поверхность относимости применяется *горизонтальная проекция*, в которой проектирование выполняют отвесными линиями (метод *ортогональной проекции*, при котором линии проектирования Aa , Bb , Cc и Dd (см. рис. 1.5, а) перпендикулярны плоскости проекции P). Если линия AB плоскости $ABCD$ параллельна плоскости проекции P , то линия ab называется *горизонтальной проекцией* или *горизонтальным проложением* линии местности AB . Если эта линия не параллельна плоскости P , то угол между линией AB и ее горизонтальной проекцией ab называется *углом наклона*. Расстояния Aa , Bb , Cc , Dd от точек местности до их горизонтальных проекций называются *высотами* или *альтитудами*; разность отметок двух точек называется *превышением* одной точки относительно другой.

При аэросъемках используется метод *центральной проекции* (см. рис. 1.5, б), при котором проектирование выполняют линиями, исходящими из одной точки O — *центра проекции*. Плоскость проекции и объект могут располагаться по разные стороны от ее центра; например, при фотографировании центром проекции является оптический центр объектива, а плоскостью проекции — фотопластинка, фотопленка или видеоматрица.

Применение модели плоской поверхности при решении геодезических задач возможно лишь для небольших участков поверх-

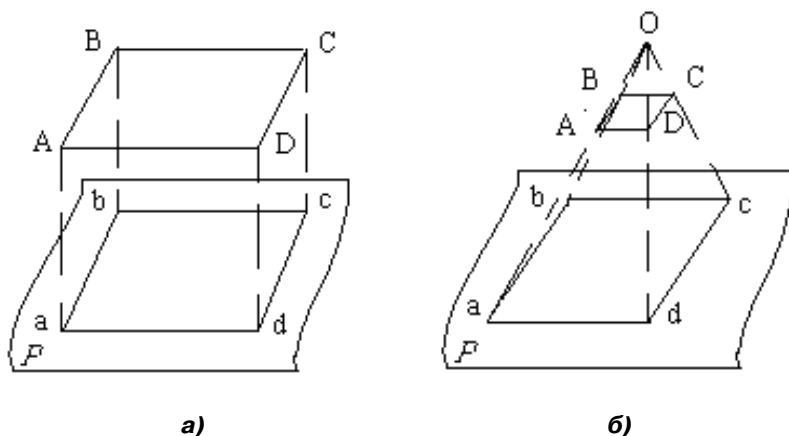


Рис. 1.5. Ортогональная (а) и центральная (б) проекции

ности Земли, когда искажения, вызванные заменой поверхности сферы или эллипсоида плоскостью невелики. При этом необходимо также учитывать, что измерения на местности и чертежные работы всегда выполняются с ошибками.

Расчеты показывают [1], что относительное искажение $\Delta D/D$ дуги длиной D при замене ее отрезком касательной $\Delta D/D = D^2/12R^2$. Например, при $R = 6400$ км (радиус Земли) и $D = 20$ км, $\Delta D/D = 1/1\,218\,000$, при $D = 30$ км, $\Delta D/D = 1/541\,000$. Достигнутая точность измерения расстояний пока не превышает 10^{-6} , поэтому при геодезических работах любой точности участок сферы 20×20 км² можно считать плоским. При работах пониженной точности размер участка сферы, принимаемого за плоскость, соответственно увеличивается.

При замене участков сферы касательной плоскостью искажаются не только длины линий, но и *отметки* (высоты) точек над поверхностью. Расчеты показывают [1], что искажение высоты при длине касательной L может быть оценено по формуле: $p = L^2/8R$. Например, при $L = 10$ км $p = 7,8$ м, при $L = 100$ м $p = 0,8$ мм, т. е. влияние кривизны поверхности Земли на отметки точек необходимо учитывать при любых расстояниях между точками.

1.4. Понятие о плане, карте и аэроснимке

Уменьшенное изображение на бумаге горизонтальной проекции небольшого участка местности называется *планом*. Если участ-

ток поверхности относимости, на который спроектирована местность, имеет большие размеры, то при изображении его на плоскости неизбежны заметные искажения длин линий, углов и площадей. Математический способ изображения поверхности сферы или эллипсоида на плоскости называется *картографической проекцией*: каждой точке изображаемой поверхности должна соответствовать одна точка плоскости.

Картографические проекции классифицируются по характеру искажений (равноугольные, равновеликие и произвольные), по виду сетки меридианов и параллелей (азимутальные, цилиндрические, псевдоцилиндрические, конические, псевдоконические, поликонические), по положению полюса сферических координат (нормальные, поперечные, косые).

Картой называется уменьшенное изображение на бумаге горизонтальной проекции участка земной поверхности в принятой картографической проекции (с учетом кривизны поверхности относимости). В нашей стране топографические карты составляются в поперечно-цилиндрической равноугольной проекции Гаусса.

В проекции Гаусса вся поверхность Земли условно разделяется на 60 зон меридианами, проведенными через 6° ; форма зоны — сферический двуугольник (рис.1.6, а); счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток. Средний меридиан зоны называется *осевым*; долгота осевого меридиана L_0 любой зоны в восточном полушарии рассчитывается по формуле: $L_0 = 6^\circ \cdot n - 3^\circ$, а в западном — по формуле: $L_0 = 360^\circ - (6^\circ \cdot n - 3^\circ)$, где n — номер зоны.

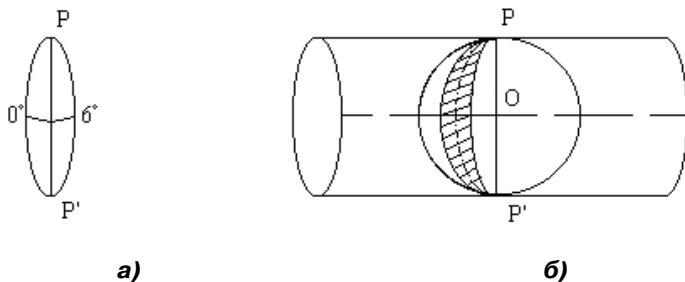


Рис. 1.6. К определению проекции Гаусса

Если представить, что земной эллипсоид вписан в эллиптический цилиндр, ось которого расположена в плоскости экватора и проходит через центр эллипсоида (рис. 1.6, б), а сам цилиндр касается эллипсоида по осевому меридиану данной зоны, то вся поверхность зоны проектируется на поверхность цилиндра нормальными к эллипсоиду так, что изображение малого участка на цилиндре будет подобно соответствующему участку на эллипсоиде. Такая проекция называется *конформной* или *равноугольной*; в ней углы не искажаются, а длины линий искажаются по закону: $\Delta S/S = Y^2/2R^2$, где ΔS — искажение линии; S — ее длина на эллипсоиде; Y — удаление линии от осевого меридиана; R — средний по линии радиус кривизны эллипсоида.

Для территории нашей страны искажения длин линий находятся в допустимых пределах для карт масштабов 1:10000 и мельче; для карт масштаба 1:5000 и крупнее применяются трехградусные зоны Гаусса. При этом поверхность цилиндра разрезается и разворачивается на плоскости, а осевой меридиан и экватор изображаются в виде двух взаимно перпендикулярных прямых линий. В точку их пересечения помещают начало прямоугольных координат зоны. За ось OX принимают изображение осевого меридиана зоны (положительное направление оси OX — на север), за ось OY — изображение экватора (положительное направление оси OY — на восток). При координате Y впереди пишут номер зоны; для исключения ее отрицательных значений условились, что в начале координат значение координаты Y равно 500 км.

Масштабом карты (плана) называется отношение длины отрезка на карте (плане) к горизонтальной проекции соответствующего отрезка на местности.

По своему назначению все географические карты делятся на *общегеографические* и *тематические*. На общегеографических картах показывают рельеф, гидрографию, растительный покров, населенные пункты, пути сообщения, различные границы и другие объекты природного, хозяйственного и культурного назначения. На тематических картах изображают размещение, сочетание и связи различных природных и общественных явлений; известны геологические, климатические, ландшафтные, экологические карты, карты полезных ископаемых, карты размещения производительных сил, карты населения, исторические, учебные, туристические и др. Крупномасштабные (масштаба 1:1 000 000 и круп-

нее) общегеографические карты называются *топографическими*. Они издаются в виде отдельных листов размером примерно 40×40 см.

Аэроснимок — это фотографическое изображение участка земной поверхности в виде его центральной проекции. При отвесном положении оси фотоаппарата получается *плановый* снимок, при наклонном — *перспективный*.

Масштабом аэроснимка M называется отношение длины отрезка на аэроснимке к длине соответствующего отрезка на местности; он определяется по формуле: $1/M = f/H$, где f — фокусное расстояние фотоаппарата, H — высота фотографирования.

1.5. Ориентирование линий

Ориентирование линий означает определение ее направления относительно начального (базового). Направление определяется величиной *ориентирного угла* между начальным направлением и направлением линии. В геодезии за начальное направление принимают: географический меридиан точки, осевой меридиан зоны или магнитный меридиан точки.

Географическим азимутом A (см. рис.1.7, а) называется угол, отсчитанный по часовой стрелке от северного направления (здесь и далее обозначается символом “*”) географического меридиана точки до направления определяемой линии; пределы изменения географического азимута от 0° до 360° .

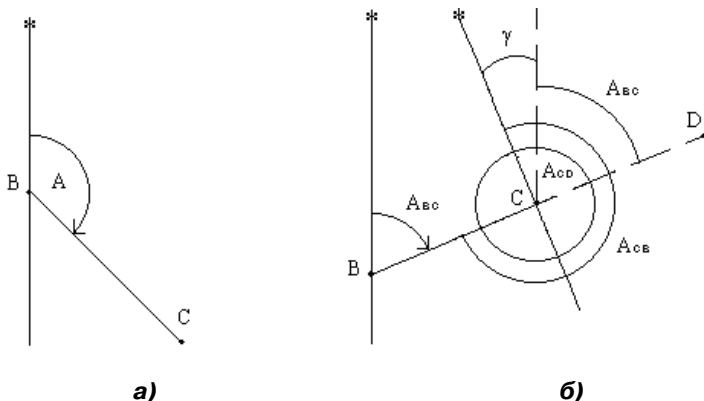


Рис. 1.7. К определению ориентирования линий

Азимут прямой линии в разных ее точках имеет разные значения, так как меридианы на поверхности сферы не параллельны между собой. Например, азимуты линии ВС в точках В и С (рис. 1.7, б) будут отличаться на величину сближения меридианов точек В и С: $A_{CD} = A_{BC} + \gamma$.

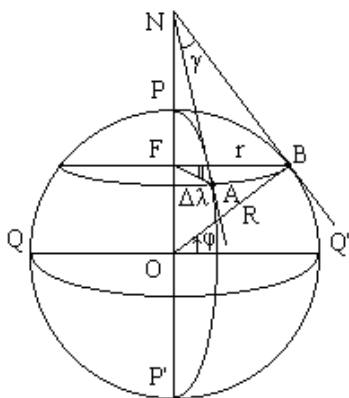
В геодезии различают *прямое* и *обратное* направление линии. Например, в точке С линии ВD прямое направление будет CD, а обратное — СВ. Прямой и обратный азимут линии в одной точке различаются на 180° , однако для разных точек линии это равенство не выполняется. Если ВС — прямое направление линии в ее начале (в точке В), A_{BC} — азимут прямого направления, СВ — обратное направление линии в ее конце (в точке С), A_{CB} — азимут обратного направления, то $A_{BC} = A_{CB} + 180^\circ + \gamma$, т. е. обратный азимут линии равен прямому азимуту $\pm 180^\circ$, плюс сближение меридианов точек начала и конца линии.

Различают *восточное* (положительное) и *западное* (отрицательное) сближение меридианов. Если конечная точка линии находится к востоку от начальной, то сближение меридианов будет восточным и положительным; если к западу от начальной, то сближение меридианов будет западным и отрицательным.

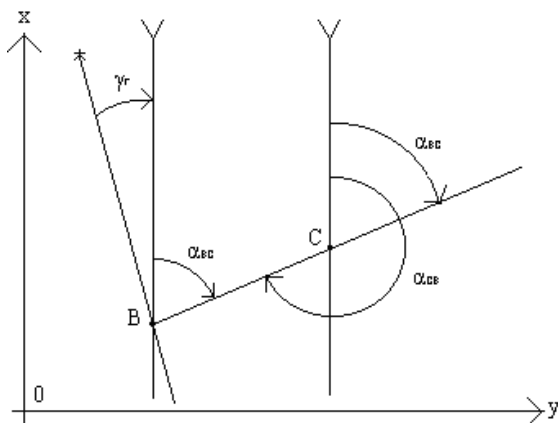
Например, для точек А и В, лежащих на сфере на одной параллели и поэтому имеющих одинаковую широту (см. рис. 1.8, а), формула сближения меридиана имеет вид: $\gamma = (\lambda_B - \lambda_A) \cdot \sin\beta = \Delta\lambda \cdot \sin\beta$, где β , λ_B , λ_A — широта и долготы точек А и В в радианах. Как видно из рис. 1.8, а, угол γ образован пересечением полуденных линий $AN = BN = R \cdot \text{ctg}\beta$ (R — радиус сферы) с продолжением оси вращения Земли, а разность долгот точек $\Delta\lambda$ — радиусами параллели $FA = FB = r = R \cdot \cos\beta$.

Частным случаем сближения меридианов является *гауссово сближение*, при котором начальная точка А лежит на осевом меридиане зоны. Такое сближение определяется формулой: $\gamma_T = L \cdot L_0 \cdot \sin B$, где L , B — геодезические долгота и широта точки; L_0 — долгота осевого меридиана зоны. В пределах зоны гауссова сближение меридианов не превышает $3^\circ \cdot \sin B$.

При ориентировании по осевому меридиану зоны используется понятие *дирекционного угла линии*, отсчитываемого по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны до направления линии (рис. 1.8, б); пределы изменения дирекционного угла от 0° до 360° .



а)



б)

Рис. 1.8. К определению сближения меридианов (а) и дирекционного (б) угла

Поскольку направление осевого меридиана для зоны одно, то дирекционный угол прямой линии одинаков в разных ее точках, а обратный дирекционный угол прямой линии отличается от прямого на 180° , т. е. $\alpha_{CB} = \alpha_{BC} + 180^\circ$. Связь географического азимута и дирекционного угла одной и той же прямой линии выражается формулой: $A = \alpha + \gamma_r$, где γ_r — гауссово сближение меридианов в точке начала линии.

При ориентировании по магнитному меридиану точки пользуются *магнитным азимутом* AM (рис. 1.9, а), равным углу, отсчи-

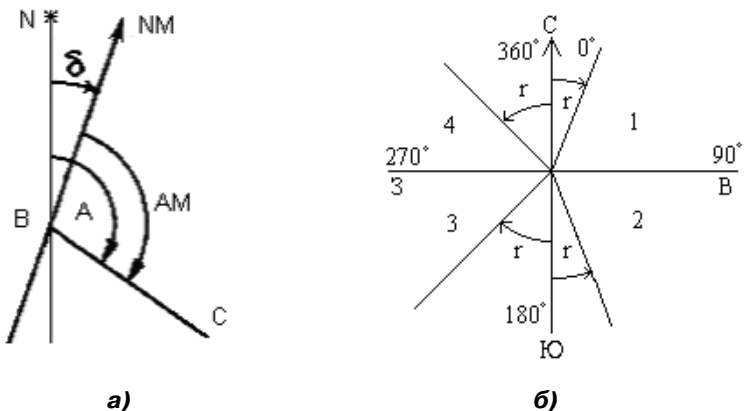


Рис. 1.9. К определению магнитного азимута (а) и румба (б)

танном по часовой стрелке от северного направления NM магнитного меридиана точки до направления линии BC; он изменяется от 0° до 360° .

Угол δ между географическим меридианом BN и магнитным меридианом NM называется *магнитным склонением*. Если северный конец магнитной стрелки отклоняется к востоку от географического меридиана, то склонение считается *восточным* (положительным); если к западу, — то *западным* (отрицательным). Направление BC характеризуется двумя ориентирными углами: географическим и магнитным азимутами, т. е. $A = A_M + \delta$ или, с учетом ранее полученной формулы связи географического азимута и дирекционного угла линии, $A = \alpha + \gamma_{\Gamma} = A_M + \delta - \gamma_{\Gamma} = A_M + \Pi$, где Π — поправка на склонение магнитной стрелки и сближение меридианов.

Для ориентирования на местности по магнитному меридиану используется *буссоль*, по принципу действия аналогичная магнитному компасу.

Кроме географического и магнитного азимутов и дирекционного угла, к ориентирным углам относятся также *румб* r — острый угол от ближайшего направления меридиана до направления линии с пределами изменения от 0° до 90° . Название румба зависит от названия меридиана: географический, магнитный и дирекционный (или осевой). Для однозначного определения направления по значению румба он сопровождается названием четверти (см. рис. 1.9, б): 1-ая четверть — СВ (северо-восток), 2-ая — ЮВ

(юго-восток), 3-я — ЮЗ (юго-запад), 4-ая — СЗ (северо-запад); например, $r = 30^\circ$ ЮВ.

Как следует из рис. 1.9, β , связь румба с соответствующим азимутом A определяется формулами: для 1-ой четверти $r = A$ и $A = r$; для 2-ой — $r = 180^\circ - A$ и $A = 180^\circ - r$; для 3-ей — $r = A - 180^\circ$ и $A = 180^\circ + r$; для 4-ой — $r = 360^\circ - A$ и $A = 360^\circ - r$.

1.6. Геодезические измерения

Геодезические измерения чаще всего сводятся к измерениям углов и расстояний.

При измерении расстояний используют инварные проволоки, мерные ленты, рулетки и дальномеры. Инварные проволоки (сплав из 64% железа и 36% никеля) отличаются малым коэффициентом линейного расширения ($5 \cdot 10^{-6}$) и позволяют измерять расстояния с ошибкой в одну миллионную, т. е. расстояние 1 км может быть измерено с ошибкой 1 мм. Мерные ленты (шириной 10...20 мм, толщиной 0,4... 0,5 мм, длиной 20, 24 и 50 м) обеспечивают точность измерений около 1/2 000.

Определение площади участков местности производится с использованием геометрического, аналитического или механического способов. На местности применяют два первых способа, на картах и планах — все три.

При геометрическом и аналитическом способах площади вычисляются по длинам сторон и углам между ними, полученными в результате измерений. При механическом способе (при измерении на карте или плане) используется планиметр.

Углы обычно измеряют в градусной мере (градусы, минуты, секунды), реже — в радианной. В геодезии имеют дело с углами, лежащими в горизонтальной или вертикальной плоскостях. Угол на чертеже или карте в простейшем случае измеряют транспортиром (рис. 1.10, *a*). Если N_1 и N_2 — отсчеты по шкале транспортира в точках пересечения ее сторонами угла, то горизонтальный угол $\beta = N_1 - N_2$; если $N_1 = 0$, то $\beta = N_2$.

На местности угол фиксируется тремя точками: одна из них — точка A — является вершиной угла, две другие — B и C — фиксируют направления первой и второй сторон угла соответственно (рис. 1.10, *б*).

В геодезии обработка измерений выполняется на горизонтальной плоскости, поэтому угол BAC нужно спроектировать на гори-

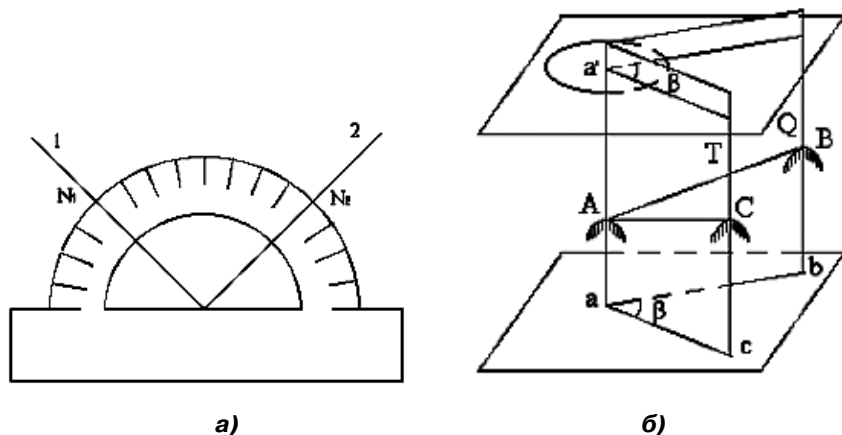


Рис. 1.10. К измерению горизонтальных углов

горизонтальную плоскость Н. Горизонтальная проекция точки находится в точке пересечения отвесной линии, проходящей через эту точку, с плоскостью Н. Для проектирования линии нужна отвесная проектирующая плоскость, проходящая через данную линию. Для этого через линии местности АВ и АС проводятся отвесные проектирующие плоскости Q и Т, линии пересечения которых с горизонтальной плоскостью Н будут горизонтальными проекциями линий АВ и АС. При этом искомый угол β — это двугранный плоский угол, лежащий в плоскости Н, перпендикулярной граням угла. Ребрам этого двугранного угла является отвесная линия, проходящая через вершину угла местности. Для его измерения угломерный круг устанавливается так, чтобы его центр находился на ребре двугранного угла, а его плоскость была горизонтальна (параллельна) плоскости Н.

Угол β равен углу $b'a'c'$; он вычисляется по разности отсчетов c' и b' на угломерном круге: $\beta = c' - b'$. Отсчет b' получается в точке пересечения шкалы угломерного круга плоскостью Q, отсчет c' — в точке пересечения шкалы плоскостью Т.

Таким образом, прибор для измерения горизонтальных углов на местности должен иметь угломерный круг, приспособление для наведения на точки местности и устройство для отсчета по шкале угломерного круга; такой прибор называется *теодолитом*.

У первых теодолитов в центре угломерного круга на острие иголки помещалась линейка, которая могла свободно вращаться

Содержание

Введение	3
1. Краткие сведения из геодезии	5
1.1. Понятие о фигуре Земли	5
1.2. Определение положения точек земной поверхности	7
1.3. Методы проекций	11
1.4. Понятие о плане, карте и аэроснимке	12
1.5. Ориентирование линий	15
1.6. Геодезические измерения	19
1.7. Определение прямоугольных координат точки	28
1.8. Определение координат нескольких точек	36
1.9. Топографические карты и планы	42
2. Спутниковые навигационные системы (СНС)	58
2.1. Общие сведения и принцип действия СНС	60
2.2. Дифференциальный режим СНС	67
2.3. Система NAVSTAR-GPS	71
2.4. Система ГЛОНАСС	81
2.5. Приемные устройства СНС	92
2.6. Некоторые применения СНС	106
2.7. СНС в Интернете	119
3. Навигационная программа OziExplorer	123
3.1. Навигационные карты и системы координат	124
3.2. Путьевые точки (Waypoints) и маршруты (Routes)	132
3.3. Треки (Tracks)	139
3.4. События (Events), точки (Points), наборы точек (Point Set), заметки (Features), комментарии (Comments)	147
3.5. Меню File	154
3.6. Меню Select	176

3.7. Меню View	177
3.8. Меню Map	181
3.9. Меню Optios	184
3.10. Меню Moving Map	184
3.11. Меню Navigation	189
3.12. Меню GPS — NMEA Only.	191
4. Другие навигационные программы.	197
4.1. ИНГИТ MapGPS	197
4.2. НАВИТЕЛ НАВИГАТОР	199
4.3. Проект ПРОБКИ НЕТ	217
4.4. Проект МОНИТОРИНГ	220
4.5. ГИС Русса и проект НАРИСУЙ КАРТУ	221
4.6. PocketGPS Pro	223
4.7. ПалмГИСGPS.	225
4.8. Программы для мобильных телефонов	226
5. Картографический редактор GPSMapEdit	230
5.1. Настройки карты и программы	230
5.2. Система меню	239
Приложение. Список терминов и сокращений	246
Литература	279