

**Геодезия
для
чайников
и
школьников**

Сергей Киселев

Сергей Киселев
Геодезия для чайников
и школьников

<https://litres.ru/74439468>

SelfPub; 2026

Аннотация

Геодезия - ненаучная книга о науке, максимально упрощенный взгляд на сложную геодезию и ее основное применение без заумных слов и формул, без таблиц и графиков, максимально наглядно. Про инструменты и обработку данных и основы геодезии.

Содержание

Введение	4
Глава 1. Геодезия в каждом шаге	7
Глава 2. Как люди мерили землю раньше (и зачем)	13
Глава 3. Точка, линия, угол – три кита	18
Глава 4. Где мы находимся? Системы координат и высот	25
Глава 5. Ошибки – неизбежные спутники	32
Конец ознакомительного фрагмента.	38

Сергей Киселев

Геодезия для чайников и школьников

*Я, Сергей Киселев,
инженер-геодезист, десяток лет
работал и в изысканиях, и на
стройке. Сколько раз я видел
людей, которым интересна геодезия,
которые хотели бы её освоить, но
отступали перед формулами и
терминами. Геодезия кажется
сложной, потому что стоит на
декартовой системе координат и
тригонометрии. Без них в неё не
войти. Но я написал эту книгу,
чтобы попробовать объяснить всё
простыми словами. Если вы
когда-нибудь хотели понять, как
измеряют землю, — эта книга для
вас*

Сергей Киселев

Введение

ВВЕДЕНИЕ

Представьте, что вы смотрите на строящийся дом. Снаружи — бетон, краны, рабочие. Но кто-то ещё до начала работ пришёл на пустой участок с непонятной трубой на треноге. Он долго смотрел в окуляр, что-то записывал в блокнот и ставил колышки. Почему? Потому что без него стены не встанут ровно, а крыша не соединится с перекрытиями. Этого человека зовут **геодезист**. Его работа — начать с нуля, с самой первой точки, с которой начинается всё.

Геодезия — наука об измерениях Земли. Звучит grandioзно и немного пугающе. На деле она проще, чем кажется. Это умение точно отвечать на два вопроса: «Где находится эта точка?» и «Как перенести её на бумагу — или обратно, с бумаги на землю?». Вокруг нас множество **геодезических данных**: **координаты** дома, высота горы, глубина фундамента. Мы пользуемся навигатором, смотрим на карты в телефоне и не задумываемся, как они появились. А создали их именно **геодезисты** — с помощью приборов, математики и логики.

Эта книга — не университетский учебник. В ней нет сложных дифференциальных уравнений и заумных терминов, от которых кружится голова. Вместо этого мы пройдем путь **геодезиста** шаг за шагом: разберёмся, что такое **системы координат**, зачем нужны **нивелир** и **тахеометр**, чем различаются **съёмка** и **разбивка**, и как специальные про-

граммы превращают измерения в чертежи. Я не буду скрывать техническую суть — наоборот, покажу её на пальцах, с примерами из повседневности. После прочтения вы сможете понимать **геодезические отчёты**, поговорить со специалистом на одном языке и, возможно, сами выполнить простые **измерения** на дачном участке.

Главное, что я хочу донести: **геодезия** — это не магия и не скука. Это точная, красивая и очень практичная наука, которая держит на себе весь наш рукотворный мир. Откройте книгу — и вы убедитесь: **геодезия** действительно проста, если подойти к ней с интересом.

Глава 1. Геодезия в каждом шаге

Вы когда-нибудь задумывались, почему слово «**геодезия**» звучит так торжественно и немного пугающе? Попробуем разобрать его по косточкам. Оно пришло к нам из древнегреческого: «гео» — земля, «дайо» — делю, разделяю. Буквальный перевод — «**землеразделение**». И в древности так и было: **геодезией** называли искусство мерить участки, чтобы справедливо распределять поля между соседями или устанавливать границы городов. Звучит как работа землемера с верёвкой и кольями.

Но если бы **геодезия** ограничивалась только разделом земли, она бы давно стала музейным экспонатом. На деле её суть куда шире и глубже. По сути, **геодезия** — это наука о том, как определить, где мы находимся, какой формы наша планета и как правильно перенести любое желание человека (построить дом, проложить тоннель, прорыть канал) с бумажного чертежа на реальную поверхность Земли. Она отвечает на два самых главных вопроса в пространстве: «где это?» и «как туда попасть?». А заодно — «насколько выше или ниже одно относительно другого?».

И тут возникает удивительное открытие: вы пользуетесь **геодезией** каждый день, даже не подозревая об этом.

Где мы сталкиваемся с ней каждый день

Откройте смартфон. Запустите карты или навигатор. Видите синюю точку, которая движется по улицам? Это **геодезия** в чистом виде. Спутники **GPS** или **ГЛОНАСС**, вращающиеся вокруг Земли, — это часть **геодезических инструментов**. По их сигналам **приёмник** измеряет расстояние до спутников, вычисляет **координаты** с точностью до нескольких метров (а в профессиональных приёмниках — до сантиметров) и показывает вам путь. Когда вы заказываете такси и видите, где находится машина, — это **геодезия**. Когда курьер доставляет пиццу именно к вашему подъезду, а не к соседнему — спасибо **геодезии**. Когда вы смотрите на карту погоды и видите траекторию циклона — и тут она.

А теперь выйдите на улицу. Дорога, по которой вы идёте, — она не просто проложена «на глаз». Сначала **геодезисты** измерили **рельеф**, нашли **отметки высот**, чтобы рассчитать уклоны для стока воды. Затем строители, вооружившись теми же **геодезическими данными**, выставили бордюры так, чтобы лужи не стояли у ваших ног. Светофоры, столбы, подземные коммуникации — всё привязано к **системе координат**. Если бы кто-то решил копать котлован без **геодезической разбивки**, он рисковал бы задеть газовую трубу, которая «по документам» лежит на три метра левее, а на самом деле — прямо под ковшом экскаватора.

Даже ваш дачный забор — и тот требует **геодезии**. Когда вы ставите столбы по границе с соседом, вы неосознанно выполняете простейшую **геодезическую задачу**: определяе-

те направление и расстояние. Хотя без точных приборов эта «**геодезия**» часто заканчивается скандалом — потому что метр туда-сюда решает всё. Вот почему профессиональные **геодезисты** с их лазерами и спутниками так востребованы при любом строительстве.

Почему геодезию называют «глазами строительства»

Представьте, что вы строите большой дом. У вас есть красивый проект: на бумаге нарисованы стены, балки, этажи, окошки. Вы приходите на пустой участок — голая земля, трава, ни одной зацепки. И вам нужно сказать экскаваторщику: «Копай вот здесь, на глубину ровно два метра, а угол фундамента пусть будет в той точке, где сейчас валяется камень». Но как указать это на местности, если вокруг нет никаких ориентиров?

Вот тут и нужны «глаза». **Геодезист** — это человек, который приносит с собой точный прибор (**тахеометр, нивелир, GPS-антенну**) и по заранее известным **опорным геодезическим пунктам** определяет, где именно на земле должны находиться все ключевые точки будущего здания. Он ставит колышки с натянутыми лесками или яркой краской — это и есть **разбивка**. Теперь строители видят очертания будущего фундамента прямо на земле. Они как бы «надевают» чертёж на ландшафт.

Без этих «глаз» строитель был бы слеп. Он не знал бы, какой угол наклона у трубы канализации, чтобы вода тек-

ла, а не застаивалась. Он не знал бы, где верхний край **ростверка**, чтобы балки перекрытия легли ровно. Каждый новый этаж, каждая плита, каждая **лифтовая шахта** требуют **геодезического контроля**. Строители видят, куда класть кирпичи, а **геодезист** проверяет, не отклонилась ли стена от вертикали на пару сантиметров. Если отклонение есть, он сигнализирует: «Стоп, исправляйте!» Иначе потом дом может «поплыть» или дать трещину.

Поэтому **геодезия** — это не просто вспомогательная дисциплина. Это сенсорная система стройки. Без неё все усилия архитекторов, инженеров и рабочих становятся бессмысленными, потому что результат не будет соответствовать замыслу. Как человек без зрения на ощупь может собрать сложный конструктор, так и строитель без **геодезии** обречён на ошибки.

Как рождаются карты — главный продукт геодезии

Но **геодезия** нужна не только для того, чтобы что-то построить. Её второй, не менее важный плод — это **карты**. Ими мы пользуемся постоянно: в телефоне, в автомобиле, в туристическом походе. Но мало кто задумывается, сколько труда стоит за каждым миллиметром бумажной или пикселем цифровой карты.

Представьте, что **геодезист** выходит в поле с прибором и обходит участок. Он измеряет тысячи точек: где находится дерево, где поворот ручья, где начинается обрыв, где стоит столб электропередач. Каждой точке он присваивает **ко-**

ординаты и высоту. Но сами по себе эти точки — просто цифры в блокноте или в памяти прибора. Чтобы они превратились в карту, их нужно обработать.

Сначала все измерения собирают в компьютере. Специальные программы «сшивают» их в единую сеть, проверяют на ошибки и вычисляют точные **координаты** всех объектов. Затем наступает черёд **картографа**: он рисует линии (дороги, реки, границы участков), добавляет **условные знаки** (лес обозначается зелёным, болото — штриховкой, школа — значком), подписывает названия. В результате получается **план** или **топографическая карта** — уменьшенная, но точная копия местности.

Но карты бывают разными. Есть **кадастровые** — они нужны, чтобы знать, кому принадлежит каждый клочок земли. Есть **инженерно-топографические** — на них показаны все коммуникации под землёй: трубы, кабели, колодцы. Есть **навигационные** — для водителей, пилотов и моряков. А ещё есть **цифровые 3D-модели местности**, где рельеф можно вращать и рассматривать со всех сторон, как в компьютерной игре.

Все эти карты создаются на основе одних и тех же **геодезических измерений**. Без них мы бы не знали, где проходят границы стран, как проложить маршрут через горы, где прорыть тоннель, чтобы не столкнуться с подземной пустотой. **Карта** — это язык **геодезии**, понятный любому: строителю, фермеру, путешественнику или чиновнику. И этот язык го-

ворит только правду, потому что каждое число на ней подтверждено приборами, а не придумано на глаз.

Так что, когда вы в следующий раз включите навигатор, увидите человека с трубой на штативе или откроете карту в смартфоне, знайте: вы столкнулись с той самой наукой, которая незаметно, но прочно держит наш мир в рамках порядка и точности. **Геодезия** — это не про скучные формулы, а про понимание пространства, в котором мы живём. И это понимание начинается с каждого шага, который вы делаете. Буквально. И с каждой карты, на которую вы смотрите.

Глава 2. Как люди мерили землю раньше (и зачем)

В первой главе мы привыкли, что **геодезия** — это лазеры, спутники и компьютеры. Но так было не всегда. Представьте: никаких **GPS**, никаких калькуляторов, даже простого точного метра нет. Как измерить поле? Как построить пирамиду, чтобы она не развалилась? Как провести границу между двумя царствами, чтобы никто не обиделся?

Оказывается, люди справлялись с этими задачами за тысячи лет до нашей эры. И справлялись блестяще. Просто вместо сложной электроники у них были смекалка, природные ориентиры и собственное тело.

От верёвки и шагов до первых приборов

Самый древний и универсальный измерительный инструмент — это человек. **Шаг, ладонь, локоть, палец** — все эти меры когда-то были реальными эталонами. Длина локтя определялась по руке фараона, а ширина поля — по количеству шагов. Звучит удобно, но у каждого шаг разный, и если мерить полями от дома до реки, то утром получится одно число, а вечером — другое (потому что шаг усталого землемера становится короче).

Поэтому люди быстро поняли: нужны постоянные, повто-

ряемые единицы. Так появились первые **эталонные верёвки** — длинная бечёвка с узелками через равные промежутки. В Древнем Египте, например, использовали размеченные верёвки для измерения полей после разлива Нила. Каждый год река затапливала и уничтожала межевые знаки, и землемеры заново определяли границы наделов, чтобы государство могло собирать налоги справедливо. Без этой работы вся сельскохозяйственная система рухнула бы.

Но верёвка — штука гибкая. Ею трудно измерить высоту здания или угол наклона. Тогда появились **ватерпас** (примитивный уровень) и **отвес** — просто камень на верёвке, показывающий строгую вертикаль. С помощью отвеса египтяне и греки выравнивали стены и колонны.

Самым же хитрым инструментом древности была **диоптра** — один из первых угломерных приборов, предшественник **теодолита**. Представьте себе линейку с прорезями для глаз на одном конце и небольшим визиром на другом. Глядя через прорези, вы могли точно навестись на удалённую точку и измерить угол между двумя направлениями. Греки и римляне использовали диоптру для прокладки дорог и акведуков. Конечно, точность была не такой, как у современных приборов, но для своего времени — настоящий прорыв!

Как геодезия помогала строить пирамиды и прокладывать границы

Самая известная геодезическая задача древности — это, пожалуй, пирамиды Египта. Глядя на их идеальные пропор-

ции, не верится, что их строили без сложных расчётов. Но секрет — в простых геометрических приёмах.

Во-первых, египтяне умели находить направление строго на север. Они наблюдали за звёздами и определяли точку, вокруг которой вращается небо. От этой точки они откладывали оси, чтобы грани пирамиды смотрели на четыре стороны света. Это было не просто архитектурным изыском — так они «настраивали» пирамиду на космический порядок, чтобы душа фараона нашла путь к звёздам.

Во-вторых, они контролировали горизонтальность основания. Представьте, что фундамент пирамиды должен быть идеально плоским, иначе стены разъедутся. Для этого землемеры использовали длинные канавы, заполненные водой. Вода всегда стремится к горизонтальному уровню, и если по краям канавы стояли одинаковые метки, значит, поверхность ровная. Метод «**гидроуровня**» — один из самых древних и до сих пор используется на стройках (пусть и в более современном исполнении).

А ещё геодезия помогала делить землю. В Риме существовала целая профессия — **агрименсор** (землемер). Они не просто измеряли поля, но и прокладывали сетку дорог. Римляне строили города как на шахматной доске: главные улицы — **кардо** (север-юг) и **декуманус** (восток-запад) — пересекались под прямым углом, а от них уже шли кварталы. Агрименсор с помощью диоптры и размеченных верёвок буквально «рисовал» город на пустом месте. Эта сетка была так точ-

на, что в некоторых старых европейских городах, основанных римлянами, её следы видны до сих пор: просто посмотрите на карту центра — не везде, но кое-где видно римское наследие в виде ровных кварталов.

А ещё римские агрименсоры были судьями в земельных спорах. Если соседи не могли поделить участок, они приглашали землемера, который мерил по своим стандартам и выносил вердикт. И слово его было законом. Так геодезия стала не просто измерительной наукой, но и инструментом правосудия.

Что изменилось с появлением точных инструментов

Долгое время люди обходились простыми верёвками и угломерами. Но в XVI–XVII веках случилась настоящая революция. Появились **зрительные трубы**. Теперь геодезист мог видеть не просто на глаз, а в увеличенном виде, и ошибка наведения уменьшилась в разы.

А главное — стали возможны **градусные измерения**. Учёные поняли: если знать длину небольшого кусочка земной дуги (скажем, между двумя городами на одном меридиане) и измерить, сколько градусов между ними, можно вычислить радиус всей Земли. Это была грандиозная задача: люди впервые хотели не просто измерить свой участок, а понять, на какой огромной планете они живут, какова её форма и размер. Геодезия вышла из своих «земных» рамок и стала частью большой астрономии.

Появились первые **теодолиты** — приборы, которые умели измерять горизонтальные и вертикальные углы гораздо точнее старых диоптр. Со временем **нивелиры** (приборы для измерения высот) и **теодолиты** стали настолько точными, что позволяли прокладывать тоннели в горах с противоположных сторон и встречаться в центре с небольшой погрешностью. А это уже не шутки: если бы геодезисты ошиблись на метр при прокладке тоннеля под Альпами, они просто прошли бы мимо друг друга под землёй!

С появлением точных инструментов геодезия перестала быть искусством «пальцем в небо». Она стала наукой чисел. Формулы, таблицы, вычисления — теперь каждый промер можно было повторить и проверить. Это изменило всё: строительство стало безопаснее, карты — точнее, а люди обрели уверенность: теперь они знали, где чей участок, куда течёт река и на какой высоте стоит их дом.

Но даже самая точная оптика не могла сравниться с тем, что пришло в XX веке — лазеры, электроника, спутники. Однако фундамент заложен именно тогда, когда землемер с верёвкой и уровнем на воде совершал чудо: из хаоса земли он создавал порядок, по которому можно было строить города и измерять саму планету. Эти древние инженеры были гениями, потому что они делали точные вещи без точных приборов — используя лишь логику, терпение и наблюдательность. И этой логике мы следуем до сих пор.

Глава 3. Точка, линия, угол – три кита

Всё здание **геодезии** держится на трёх простых вещах: **точке**, **линии** и **угле**. Как дом стоит на фундаменте, так и любая геодезическая задача — от разбивки дачного забора до прокладки тоннеля под Ла-Маншем — сводится к этим трём понятиям. Звучит почти по-школьному: **точка**, **линия**, **угол**. Но за этой простотой прячется удивительная глубина. Давайте разберёмся, что же скрывается за каждым из «трёх китов».

Что такое точка на местности (и почему её нельзя «потрогать»)

Начнём с самого простого и одновременно самого загадочного. **Точка** — это то, что не имеет ни длины, ни ширины, ни высоты. В математике это идеальный объект: ноль размеров, но конкретное положение в пространстве. В **геодезии точка** — это место на поверхности Земли, которое мы определили с помощью **координат** и **высоты**. И вот тут кроется первый парадокс.

Точку нельзя потрогать. Её нет в физическом мире. Вы не можете взять **точку** в руки, положить её в карман или показать другу. У неё нулевой размер — значит, она невидима

и неосвязаема. Но при этом она существует! Просто не как вещь, а как адрес. Точно так же, как «город Москва» существует, но вы не можете потрогать город целиком — вы можете потрогать лишь его здания, улицы, землю. А сам «город» — это понятие, обозначающее место.

В **геодезии**, чтобы работать с **точкой**, её материализуют. То есть ставят на её месте какой-то физический знак: колышек, металлический штырь, бетонный монолит, гвоздь в асфальте или даже крестик, нацарапанный на скале. Этот знак называется **маркой** или **репером**. Он не является **точкой**, но указывает, где эта **точка** находится. Геодезист всегда оговаривает: «**Точка** — вот здесь, на верхней грани этого гвоздя» или «на центре креста, выбитого на бетоне». И все измерения привязываются именно к этому центру.

Из-за этого возникает вечная проблема — **центрирование**. Когда вы ставите прибор над **точкой**, нужно, чтобы его вертикальная ось проходила точно через ту самую математическую **точку**, а не через край колышка. Представьте, что вы пытаетесь попасть иголкой в невидимую **точку** на кончике другой иглы. Ошибка в пару миллиметров при **центрировании** — и все дальнейшие измерения «уедут». Поэтому геодезисты так трепетно относятся к установке приборов и используют **оптические центриры** или **лазерные отвесы**. Всё ради того, чтобы поймать неуловимую **точку**.

А ещё у каждой **точки** есть **высота**. Это не просто «где», но ещё и «насколько выше или ниже». **Высота** тоже при-

вязана к воображаемой поверхности — **уровню моря** или другому исходному уровню. И тут снова парадокс: **точка** висит в пространстве, но её **высота** отсчитывается от поверхности, которой в реальности не существует (**уровень моря** — это условность, ведь море волнуется). Мы просто договорились считать так — и все согласились. В этом и сила **геодезии**: она создаёт общую **систему отсчёта**, в которой невидимые **точки** становятся реальными ориентирами.

Расстояния: как мы их понимаем и измеряем

Второй кит — **линия**, а точнее, **расстояние** между двумя **точками**. Казалось бы, что тут сложного? Берёшь рулетку и меряешь. Но в **геодезии** не всё так просто.

Первое открытие: **расстояние** бывает разным. Если вы стоите на вершине холма, а ваш друг — у подножия, то **расстояние** «по земле» (вдоль склона) будет одним, а **расстояние** «по карте» (по горизонтали) — совсем другим. Геодезистов в первую очередь интересует **горизонтальное расстояние** — проекция **линии** на горизонтальную плоскость. Почему? Потому что карты, планы и чертежи — плоские. Мы как бы мысленно выравниваем все холмы и низины, чтобы нарисовать местность на бумаге. А для этого измеряем не то, что прошли ногами, а то, что получилось бы, если бы земля была ровной.

Отсюда — разница между длиной **линии** на местности (наклонной) и **горизонтальным проложением** (плоским). В строительстве, в кадастре, на картах используется именно

второе. Если вы купили участок, его площадь считается по **горизонтальному проложению**, а не по поверхности холма. Иначе получилось бы, что на склоне у вас «больше» земли, чем на равнине, хотя границы одни и те же.

Второе открытие: **расстояние** можно измерить напрямую и косвенно. Напрямую — это рулеткой, мерной лентой или лазерным дальномером: прибор посылает луч, тот отражается от цели и возвращается, а мы считаем время. Косвенно — через **углы** и другие **расстояния**. Например, зная длину одной стороны треугольника и два **угла**, можно вычислить две другие стороны, даже не подходя к ним. Это называется **триангуляцией**, и об этом мы поговорим позже. Сейчас важно запомнить: в **геодезии** часто выгоднее измерить **углы** и одну сторону, чем тащить рулетку через реку или овраг.

И третье: любое **расстояние** — это не просто число, а число с точностью. Если вы скажете «**расстояние** равно 100 метров», это ничего не значит. А если «100 метров плюс-минус 2 сантиметра» — это уже инженерная информация. В **геодезии** принято указывать точность измерения: она зависит от метода и условий, а ошибка имеет свойство накапливаться при увеличении длины. Поэтому для длинных **линий** используют специальные методы, чтобы не накапливать погрешность.

Углы: зачем их считать и где они прячутся

Третий кит — **угол**. И вот тут начинается настоящая ма-

гия **геодезии**. **Углы** — это то, что позволяет определять положение **точек**, не измеряя до них **расстояние**. Звучит невероятно, но это факт.

Представьте, что вы стоите на берегу реки и видите на другом берегу дерево. Вы не можете протянуть рулетку через воду. Но вы можете измерить **угол** между направлением на это дерево и направлением на другой ориентир — скажем, на церковь слева. Затем отойдите на сто метров вдоль берега и снова измерьте **углы**. Получился треугольник, в котором одна сторона известна (те самые сто метров), а **углы** — измерены. Дальше — простая геометрия, и вы вычисляете **расстояние** до дерева, не переплывая реку. Именно так геодезисты «достають» до недоступных объектов.

Углы бывают **горизонтальные** и **вертикальные**. **Горизонтальный угол** показывает, насколько одна **линия** «повёрнута» относительно другой в плоскости горизонта. **Вертикальный угол** (его ещё называют **углом наклона**) показывает, насколько **линия** поднимается или опускается относительно горизонта. Оба нужны: первый — чтобы понять взаимное расположение объектов на карте, второй — чтобы вычислить **превышение** одной **точки** над другой.

Где **углы** прячутся в повседневности? Да повсюду! Уклон крыши вашего дома — это **вертикальный угол**. Поворот дороги — **горизонтальный**. Наклон пандуса для коляски — снова **вертикальный угол**, только с ограничением по нормативу. Даже положение стрелки часов — это **угол**, от-

считанный от условного начала отсчёта. Геодезисты просто научились измерять эти **углы** с высокой точностью и использовать их для построения всего остального.

И вот что важно: **углы** измерять часто выгоднее, чем **расстояния**. Современный **тахеометр** измеряет **угол** с точностью до нескольких **угловых секунд**. Одна **угловая секунда** — это **угол**, под которым видна монета диаметром один сантиметр с расстояния два километра! Представляете, насколько это точно? Благодаря такой точности можно определять положение объектов на расстоянии сотен метров с погрешностью в миллиметры, не приближаясь к ним.

Как три кита работают вместе

По отдельности **точка**, **линия** и **угол** — простые вещи. Но вместе они образуют геометрическую основу всего. **Точка** даёт начало отсчёта. **Линия** задаёт направление и **расстояние**. **Угол** позволяет «поворачивать» и строить треугольники. А из треугольников можно собрать любую фигуру — от границы дачного участка до сети **опорных пунктов** на территории всей страны.

Именно поэтому **геодезию** называют **прикладной геометрией**. Мы не просто измеряем — мы строим модель мира, в которой каждая **точка** имеет адрес, каждая **линия** — длину и направление, каждый **угол** — своё значение. А потом по этой модели можно строить дома, прокладывать дороги, рисовать карты и даже следить за тем, как ведёт себя здание со временем.

Три кита — **точка, линия, угол** — держат на себе всю **геодезию**. И если вы поймёте их, вы поймёте язык, на котором говорит эта наука. А значит, сможете читать геодезические чертежи, планы и карты так же свободно, как читаете эту книгу.

Глава 4. Где мы находимся?

Системы координат и высот

В предыдущей главе мы выяснили: **точка** — это невидимый «адрес» на поверхности Земли. Но чтобы этот адрес стал полезным, его нужно записать. Как записать адрес дома? «Улица Ленина, дом 5, квартира 12». В **геодезии** всё устроено похожим образом, только вместо улиц — **координаты**, а вместо этажей — **высоты**.

Но тут возникает вопрос посложнее: как записать адрес **точки**, если на Земле нет ни «улиц», ни «домов»? Нет даже углов и стен — планета круглая, вращается, и вообще непонятно, от чего отсчитывать. Именно поэтому человечество придумало **системы координат** — универсальные «сетки», натянутые на всю планету. И **системы высот** — способ договориться, что считать «нулём» для вертикали.

Разберёмся, как это работает.

Как записать адрес любой точки Земли (простые аналогии)

Самый простой способ описать положение на поверхности — использовать две **координаты**: **широту** и **долготу**. Вы наверняка слышали эти слова, но давайте разберёмся, что за ними стоит.

Представьте глобус. На нём есть две особые линии: **эква-**

тор — горизонтальная полоса, делящая Землю на северное и южное полушария, и **нулевой меридиан** — вертикальная линия, проходящая через Гринвич (район Лондона). От **экватора** отсчитывается **широта**: от 0° на экваторе до 90° на полюсах. От **нулевого меридиана** отсчитывается **долгота**: от 0° до 180° на восток и на запад.

Теперь адрес любой **точки** — это просто пара чисел. Например, Москва: 55° северной широты, 37° восточной долготы. Сидней: 33° южной широты, 151° восточной долготы. Эти два числа однозначно определяют **точку** на поверхности Земли. Как «улица и дом» в обычной жизни.

Но есть нюанс. **Широта** и **долгота** — это **угловые координаты**. Они измеряются в градусах, минутах и секундах. Одна **угловая секунда** по широте — это примерно 30 метров на местности. Звучит точно? Не очень. Если вам нужно поставить колышек с точностью до сантиметра, градусы не подходят. Для этого используют **прямоугольные координаты** — метры.

Представьте, что вы расстелили на Земле гигантскую миллиметровку. По горизонтали — ось **X** (на восток), по вертикали — ось **Y** (на север). Начало отсчёта — какая-то выбранная **точка**. Теперь адрес — это два числа: «на сколько метров восточнее и на сколько метров севернее». Например: **X** = 4500 метров, **Y** = 7200 метров. Это уже привычные метры, с которыми легко работать строителям и инженерам.

Но и это ещё не всё. Существует третья **координата** —

высота. Без неё адрес неполный: две **точки** могут иметь одинаковые **X** и **Y**, но одна будет на вершине холма, а другая — в подвале. Поэтому в **геодезии** говорят о **трёхмерных координатах**: **X**, **Y** и **H** (высота).

Что такое «высота над уровнем моря» и почему она не везде одинакова

Теперь про **высоту**. Все мы слышали: «Москва стоит на высоте 150 метров над уровнем моря». Но что это значит? Уровень какого моря? И почему он «уровень»?

Начнём с простого. **Уровень моря** — это средний уровень воды в океане, если убрать волны, приливы и отливы. Это воображаемая поверхность, которая как бы «продолжает» океан под материками. Её называют **уровенной поверхностью**. Она не плоская, а слегка изогнутая — повторяет форму Земли. И вот тут кроется главный сюрприз.

Уровень моря не везде одинаков. Из-за вращения Земли, различий в силе тяжести и плотности земной коры вода в разных океанах стоит на разной высоте. Например, уровень Балтийского моря и уровень Чёрного моря — это не одно и то же. Разница может достигать десятков сантиметров. А если сравнивать океаны, разница ещё больше.

Поэтому в каждой стране есть свой **футшток** — специальная линейка, по которой следят за уровнем воды. В России традиционно отсчитывают **высоты** от нуля Кронштадтского футштока (Балтийское море). В других странах — от своих «нулей». Это называется **Балтийская система вы-**

сот. И когда вы видите на карте отметку «150 метров», это значит «на 150 метров выше, чем средний уровень Балтики у Кронштадта».

Почему так сложно? Потому что единого мирового нуля для **высот** не существует. Каждая страна или регион выбирает свой. Это как с часовыми поясами: есть Гринвич, но каждый живёт по своему времени. Главное — чтобы внутри одной системы все договорились и использовали один и тот же ноль. Тогда все **высоты** будут согласованы между собой.

А ещё **высота** бывает разной по определению. Есть **абсолютная высота** — от уровня моря. Есть **относительная** — от какой-то другой **точки**. Например, «высота этажа» — это **относительная высота**: от пола до пола. В **геодезии** чаще используют **абсолютные высоты**, но иногда удобнее работать с **относительными** — например, на стройплощадке, где за ноль берут уровень первого этажа.

Глобальные и местные системы — чем они различаются

Мы подошли к важному моменту: **системы координат** бывают разного масштаба. И это не случайно.

Глобальные системы (их ещё называют **геодезическими**) описывают положение **точек** на всей Земле. Пример — **WGS-84**, которую используют спутники **GPS**. Или **ПЗ-90** — российская система для **ГЛОНАСС**. В этих системах **координаты точек** по всей планете согласованы между собой. Если вы определили **точку** в Москве и **точку** в Нью-Йорке

ке, вы можете вычислить расстояние между ними, и оно будет верным. **Глобальные системы** — это «мировой язык» **геодезии**.

Но у **глобальных систем** есть проблема: они неточные на малых расстояниях. Представьте, что вы пытаетесь измерить расстояние между двумя гвоздями в стене с помощью карты мира. Масштаб не тот! Точно так же **координаты GPS** дают положение с точностью до нескольких метров. Для навигатора этого хватит. Для строительства фундамента — нет.

Тогда на помощь приходят **местные (локальные) системы**. Их создают для конкретного города, района или стройплощадки. В них за начало **координат** берут удобную **точку** (например, угол здания или центр города), а оси направляют вдоль главных улиц или осей сооружения. Такая система «подстраивается» под задачу и даёт высокую точность на небольшой территории.

Пример: при строительстве моста через реку инженеры создают **местную систему координат**, где ось **X** идёт вдоль моста, ось **Y** — поперёк, а ноль — на одном из берегов. В этой системе все размеры моста, все **углы** и **высоты** прописаны с миллиметровой точностью. А потом, когда мост построен, его «привязывают» к **глобальной системе** — чтобы на карте города он стоял там, где надо.

Между системами существует связь — **переходные параметры**. Это как перевод с одного языка на другой: зная

несколько чисел (сдвиги, повороты, масштаб), можно пересчитать **координаты** из одной системы в другую. Геодезисты постоянно этим занимаются: получают данные от **GPS** в **глобальной системе**, пересчитывают в **местную**, работают с ней, а потом снова пересчитывают обратно для отчёта.

Как всё это работает вместе

Итак, чтобы описать положение **точки** на Земле, нужно три вещи:

Система координат — договорённость, от чего и как отсчитывать.

Две **плановые координаты** — **X** и **Y** (или **широта** и **долгота**).

Высота — **H**, отсчитанная от выбранного нуля.

Всё это вместе называется **пространственными координатами**. И хотя звучит сложно, на практике это просто набор чисел, с которыми работают приборы и программы. Вы нажимаете кнопку на **тахеометре** — и он показывает: «**Точка 1: X = 1234.567, Y = 7654.321, H = 150.123**». За этими числами стоит огромная работа: спутники, **опорные сети**, вычисления. Но для вас это просто адрес **точки** — точный, однозначный и понятный.

Теперь вы знаете, как геодезисты записывают положение объектов. В следующей главе мы поговорим о том, что неизбежно сопровождает любые измерения — об **ошибках**. Потому что даже самый точный прибор ошибается, и главное — научиться эти **ошибки** понимать и контролировать.

Глава 5. Ошибки – неизбежные спутники

В любой профессии есть тема, о которой не любят говорить вслух. У врачей — это врачебные ошибки. У пилотов — человеческий фактор. У **геодезистов — погрешности измерений**. Но если врач может скрыть ошибку, а пилот — списать на обстоятельства, то **геодезист** обязан говорить о своих ошибках открыто. Более того — он должен их измерять, вычислять и указывать в отчёте. Потому что без этого его работа ничего не стоит.

Звучит парадоксально: как так, работаешь-работаешь, а потом сам говоришь «я ошибся на три сантиметра»? Но в этом и есть сила **геодезии**. Она не притворяется идеальной. Она честно признаёт: абсолютно точных измерений не бывает. И строит на этом признании целую систему контроля качества.

Разберёмся, откуда берутся **ошибки**, как их ловят и что такое **допустимая погрешность** — словосочетание, которое новичка пугает, а профессионала успокаивает.

Почему даже самый точный прибор ошибается

Начнём с простого вопроса: может ли существовать идеально точный прибор? Ответ — нет. И вот почему.

Любой прибор — это физическое устройство. У него есть

детали, которые трутся, нагреваются, изнашиваются. У него есть электроника, которая шумит. У него есть оптика, которая искажает. Даже если вы создадите прибор из идеальных материалов, вы не сможете идеально его настроить. Всегда останется микроскопическое отклонение, которое невозможно устранить.

Но дело не только в приборе. Ошибается и сам **геодезист**. Человек не робот: у него дрожат руки, устают глаза, меняется внимание. Он может навести зрительную трубу на цель чуть левее, чем нужно. Или записать не то число в блокнот. Или перепутать, какую **точку** он измеряет. Это называется **личной ошибкой** — и она была бичом **геодезии** на протяжении тысячелетий.

А ещё ошибается среда. Солнце нагревает прибор — и металл расширяется. Ветер качает штатив — и ось прибора отклоняется. Влажность меняет свойства воздуха — и луч лазера искривляется. **Рефракция** (преломление света в атмосфере) заставляет видеть предметы чуть не там, где они находятся на самом деле. Всё это **внешние ошибки**, и их невозможно полностью исключить.

И наконец, есть **ошибки метода**. Мы измеряем не то, что хотим, а то, что можем. Например, мы хотим измерить расстояние между двумя невидимыми математическими **точками**, а измеряем расстояние между центрами **марок**, которые эти **точки** обозначают. Разница может быть в миллиметрах, но она есть. Или мы считаем **высоту точки**, но она

«плавает» из-за того, что Земля «дышит» — поднимается и опускается на несколько сантиметров в сутки из-за приливов и тектоники. Мы этого не замечаем, а прибор фиксирует.

Вот почему точность имеет предел. И этот предел не в приборе, а в самой природе вещей. Даже свет имеет конечную скорость, и это ограничивает точность лазерных дальнометров. Даже гравитация неоднородна, и это влияет на **уровненную поверхность**. Даже время течёт по-разному на разных высотах — и это учитывают в спутниковых измерениях.

Как геодезисты «ловят» и исправляют ошибки

Если **ошибки** неизбежны, что с ними делать? Ответ: управлять ими. **Геодезисты** разработали целую систему приёмов, чтобы **ошибки** не накапливались и не разрушали результат.

Первый приём — **многократные измерения**. Если измерить одну и ту же величину десять раз, получится десять немного разных чисел. Их среднее значение будет ближе к истине, чем любое отдельное измерение. Это называется **методом среднего**. Звучит просто, но работает безотказно: случайные **ошибки** «гасят» друг друга, а систематические — остаются. Поэтому **геодезист** никогда не измеряет **угол** один раз. Он делает два, три, пять приёмов — и берёт среднее.

Второй приём — **контрольные измерения**. Можно измерить одну и ту же величину разными способами и сравнить результаты. Например, расстояние можно измерить ла-

зерным дальномером, а можно — через **углы и тригонометрию**. Если оба результата совпадают — отлично, вы уверены. Если нет — ищите ошибку. Это называется **независимым контролем**.

Третий приём — **замкнутые ходы**. Представьте, что вы обходите участок по периметру и возвращаетесь в исходную **точку**. Сумма всех **углов** и расстояний должна сомкнуться в ноль. Если получилась **невязка** — значит, где-то есть ошибка. Величина **невязки** показывает, насколько всё плохо. Если она в пределах нормы — её распределяют (раскидывают по всем измерениям), и результат становится согласованным. Если **невязка** большая — работу переделывают. Этот метод называется **уравниванием**.

Четвёртый приём — **учёт поправок**. Многие **ошибки** известны заранее и поддаются расчёту. Например, **поправка за наклон линии** (мы измеряем наклонную, а нужна горизонтальная). Или **поправка за температуру** (рулетка удлиняется на жаре). Или **поправка за рефракцию** (луч искривляется). **Геодезист** не «борется» с этими **ошибками**, а вводит **поправки** — то есть заранее вычисляет, на сколько нужно изменить измеренное значение, чтобы получить истинное.

Пятый приём — повторные независимые измерения другим прибором или другим специалистом. Это самый надёжный способ поймать грубую ошибку — **промах**. Например, если один **геодезист** ошибся в записи числа, а второй изме-

рил то же самое заново, расхождение сразу бросится в глаза.

Все эти приёмы вместе создают культуру измерений. **Геодезист** не доверяет одному числу. Он проверяет, перепроверяет, сравнивает, усредняет. И только потом говорит: «Результат такой-то, с такой-то точностью».

Магия чисел: что значит «допустимая погрешность»

А теперь — самое важное. Как понять, что результат достаточно хорош? Для этого существует понятие **допустимой погрешности** (или **допуска**).

Допуск — это максимальная ошибка, при которой результат ещё считается правильным. Если ошибка меньше **допуска** — работа принимается. Если больше — переделывается. Всё просто.

Но откуда берётся число? Кто решает, что «плюс-минус два сантиметра» — это нормально, а «плюс-минус пять» — уже нет? Ответ: нормативные документы. В каждой области строительства и **геодезии** есть свои **допуски**, прописанные в **СП**, **ГОСТах** и инструкциях. Они основаны на многолетнем опыте и расчётах: какой точности нужно достичь, чтобы здание не рухнуло, мост не развалился, а тоннель сошёлся.

Например, при строительстве многоэтажного дома отклонение фундамента от проектного положения не должно превышать 20 миллиметров. При прокладке тоннеля метро — 5 миллиметров. При съёмке дачного участка для кадастра — 10 сантиметров. Чувствуете разницу? Чем ответственнее

объект, тем жёстче **допуск**

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.