



## Тема лекции 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕОДЕЗИИ

### Вопросы:

- 2.1. Понятие о форме и размерах Земли. Геоид. Эллипсоид. Референц-эллипсоид Красовского Ф.Н.
- 2.2. Влияние кривизны Земли при определении горизонтальных расстояний и высот.
- 2.3. Системы координат, применяемые в геодезии.
- 2.4. Абсолютные и относительные высоты точек местности.
- 2.5. Топографические планы и карты.
  - 2.5.1. Назначение топографических планов и карт. План. Карта. Профиль.
  - 2.5.2. Масштабы: численный, линейный, поперечный. Точность масштаба.
  - 2.5.3. Содержание топографических планов и карт. Условные знаки.
  - 2.5.4. Разграфка и номенклатура топографических планов и карт.
- 2.6. Ориентирование линий.
  - 2.6.1. Понятие об ориентировании линий.
  - 2.6.2. Истинные азимуты, прямой и обратный. Сближение меридианов.
  - 2.6.3. Дирекционные углы, румбы. Формулы связи дирекционного угла с румбом.
  - 2.6.4. Магнитный азимут. Склонение магнитной стрелки. График ориентирования.
- 2.7. Рельеф местности.
  - 2.7.1. Рельеф местности. Основные формы рельефа.
  - 2.7.2. Изображение рельефа на топографических планах и картах. Горизонтали и их свойства.
  - 2.7.3. Уклон линии и его определение.
  - 2.7.4. Решение по карте задач с горизонталями.

### Литература

1. Юнусов, А.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов. / А.Г. Юнусов, А.Б. Беликов, В.Н. Баранов, Ю.Ю. Каширкин. – М.: Академический проект, 2011. 409 с.
2. Куштин, И.Ф. Геодезия: учебно-практическое пособие. / И. Ф. Куштин, В.И. Куштин. – Ростов н/Д. Феникс, 2009. – 909 с.
3. Ямбаев, Х.К. Геодезическое инструментоведение: учебник для вузов./ Х.К. Ямбаев. – М.: Академический проект, 2011. – 583 с.
4. Неумывакин, Ю.К., Практикум по геодезии / Ю.К.Неумывакин, А.С.Смирнов. – М.: Недра, 1995.
5. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия : учебник / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск : Выш. шк., 2011. – 463 с.
6. Янченко, Е.А. Геодезия [Текст]: курс лекций для студ. I курса очной и заочной форм обучения направления «Землеустройство и кадастры», профилей «Землеустройство», «Земельный кадастр», «Кадастр недвижимости» / Е.А. Янченко; Инж. мелиор. ин-т. ДГАУ, каф. геодезии. – Новочеркасск, 2014. - 174 с.

## Вопрос 2.1. Понятие о форме и размерах Земли. Геоид. Эллипсоид. Референц-эллипсоид Красовского Ф.Н.

Размеры и форму физической поверхности планеты Земля относят к той или иной ее геометрически правильной модели, поверхность которой используется в качестве основы для установления глобальных, региональных или же частных систем координат для выполнения геодезических работ и картографирования.

Реальная поверхность земной коры представляет собой рельеф, выраженный сочетаниями неровностей различной величины и формы. Воды Мирового океана покрывают более 71% твердой поверхности Земли, поэтому поверхность его послужила основой для создания физической модели Земли, представляющей фигуру нашей планеты. Гладкая, всюду выпуклая поверхность, образованная уровнем воды Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия, мысленно продолженная под сушей, называется геоидом. Поверхность геоида в каждой своей точке перпендикулярна направлению силы тяжести (отвесной линии), т.е. повсюду горизонтальна и представляет основную уровенную поверхность, относительно которой отсчитывают высоты точек на земной поверхности в принятой системе. В связи с тем, что в различных странах положение геоида определяется от уровня воды в ближайшем море или океане, принимаются различные системы высот. Например, у нас в Беларуси принята Балтийская система высот, за отсчетную поверхность в которой взята поверхность геоида, проходящая через нуль Кронштадтского футштока, фиксирующего средний уровень поверхности воды Финского залива Балтийского моря. Из-за неравномерного распределения плотности в земной коре и рельефа поверхность геоида имеет глобальные и локальные волны и не имеет строгого геометрического описания, поэтому невозможно решение на ней задач вычисления и передачи координат точек земной поверхности. Для решения этих задач в геодезии используют математическую модель – общий земной эллипсоид, представленный эллипсоидом вращения, сжатым у полюсов, ось вращения которого и геометрический центр совпадают с осью вращения и центром масс Земли на определенную эпоху (рис.2.1, а).

Системы геодезических (географических) координат (широт  $\varphi$ , долгот  $\lambda$ ), отнесенные к поверхности такого эллипсоида, называют общеземными геоцентрическими.

В 1940 г. на основе градусных измерений, выполненных на территории СССР и в ряде других стран, под научным руководством профессора Ф.Н. Красовского были получены наиболее точные для того времени параметры общего земного эллипсоида: размеры его большой полуоси  $a = 6\,378\,245$  м, малой полуоси  $b = 6\,356\,863$  м и полярное сжатие  $\alpha = (a - b) / a = 1/298,3$ . Данный эллипсоид был ориентирован относительно геоида под условием минимальных отклонений их поверхностей только на территории СССР. Эллипсоиду с

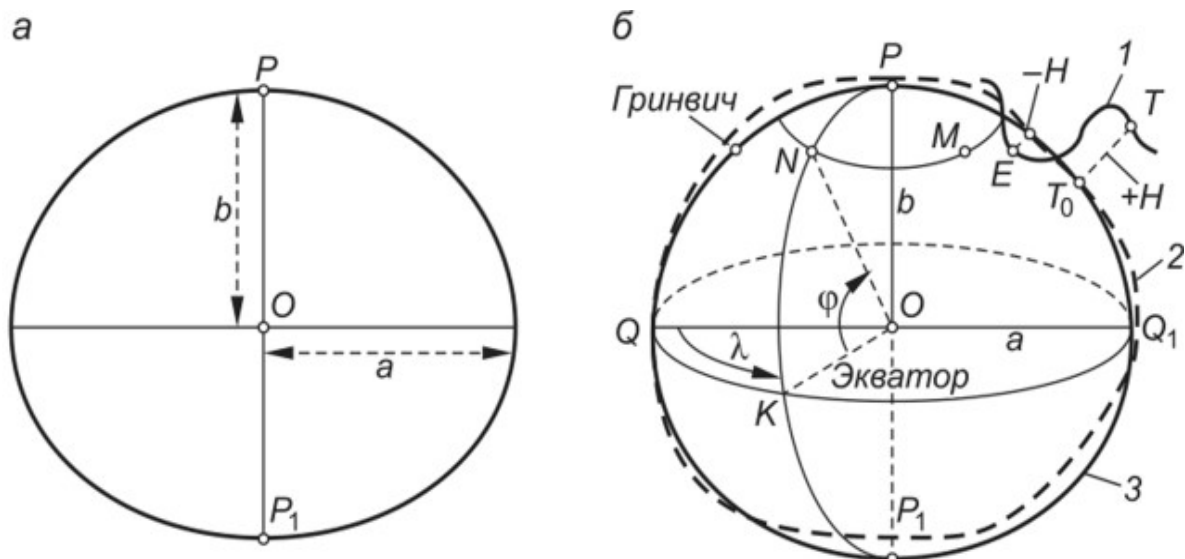


Рис. 2.1. Земной эллипсоид: а – эллипсоид вращения, б – географические координаты (изучаемые поверхности: 1 – Земли; 2 – геоида; 3 – земного эллипсоида)

указанными параметрами и ориентировкой в теле Земли присвоено наименование «референц-эллипсоид Красовского». Этот термин указывает на то, что данный эллипсоид является наиболее подходящим к геоиду не на всей поверхности Земли, а только на ее части. На его поверхность спроецировали центры геодезических пунктов полигонов триангуляции 1-го класса Государственной геодезической сети СССР, вычислили их координаты, используя геометрию и параметры этого эллипсоида. Таким образом была закреплена на территории СССР система координат СК-42, которая до настоящего времени используется на территории Республики Беларусь. После совместной математической обработки сплошной астрономо-геодезической сети 1–2-го классов, выполненной в 1990-м гг., а также с использованием данных спутниковых определений, накопленных к тому времени, на поверхности эллипсоида Красовского была закреплена референцная система геодезических координат СК-95. К настоящему времени с бурным развитием спутниковых методов в геодезии получены современные общеземные геоцентрические системы координат. Примерами таких систем служат WGS-84 (США), ПЗ-90 (Россия).

Высотная координата  $H$  точки  $T$  земной поверхности в инженерно-геодезических работах определяется вдоль отвесной линии  $TT_0$  относительно поверхности геоида (рис.2.1, б).

Во многих практических маркшейдерско-геодезических расчетах общий земной эллипсоид и референц-эллипсоид заменяются их более простой моделью – земным шаром радиуса  $R = 6371$  км (объем земного шара равен объему земного эллипсоида). Длина экватора  $L$  на эллипсоиде Ф.Н. Красовского равна  $2\pi a$ , или 40 075 км, на земном шаре  $2\pi R$ , или 40 030 км ( $\approx 40\,000$  км).

## Вопрос 2.2. Влияние кривизны Земли при определении горизонтальных расстояний и высот

*Искажение расстояний.* Небольшой участок сфероидической поверхности при определенных условиях можно принять за плоскость. Применение модели плоской поверхности при решении геодезических задач возможно лишь для небольших участков поверхности Земли, когда искажения, вызванные заменой поверхности сферы или эллипсоида плоскостью невелики и могут быть вычислены по простым формулам. Это тем более оправданно, если учесть, что измерения на местности и чертежные работы всегда выполняются с ошибками, а потому небольшую часть сферы (эллипсоида), отличающуюся от плоскости на величину меньшую ошибок измерений, можно считать плоской.

Рассчитаем какое искажение получит дуга окружности, если заменить ее отрезком касательной к этой дуге. На рис.2.2 точка  $O$  – центр окружности, дуга  $ABC$  радиусом  $R$  стягивает центральный угол  $\varepsilon$ . Проведем касательную через середину дуги в точке  $B$  и, продолжив радиусы  $OA$  и  $OC$  до пересечения с касательной, получим точки  $A'$  и  $C'$ .

Пусть дуга  $BC$  имеет длину  $S$ , а отрезок касательной  $BC'$  - длину  $t$ . Известно, что для окружности  $S=R*\varepsilon/2$ , причем угол  $\varepsilon$  выражен в радианах.

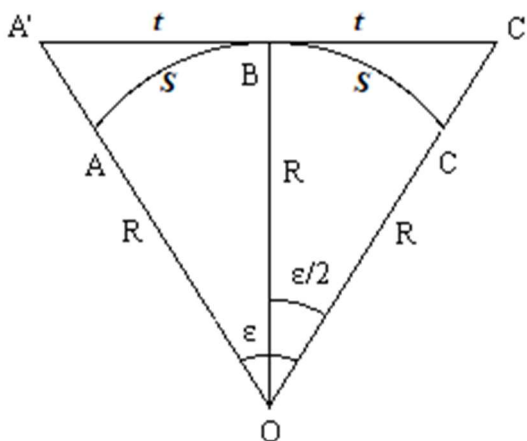


Рис. 2.2. Искажение расстояний и высот точек

Из треугольника  $OBС'$  имеем:

$$S = R * \frac{\varepsilon}{2} \quad (2.1)$$

а

$$t = R \operatorname{tg}(\varepsilon/2) \quad (2.2)$$

Разность  $(t-S)$  обозначим через  $\Delta t$  и запишем

$$\Delta t = R * (\operatorname{tg}(\varepsilon/2) - \varepsilon/2) \quad (2.3)$$

Разложим  $\operatorname{tg}(\varepsilon/2)$  в ряд, ограничившись в виду малости угла  $\varepsilon/2$  двумя членами разложения.

$$\operatorname{tg}(\varepsilon/2) = \varepsilon/2 + 1/3 * (\varepsilon/2)^3 \quad \text{или} \quad \operatorname{tg}(\varepsilon/2) = \varepsilon/2 + \varepsilon^3/24 \quad (2.4)$$

Подставим это выражение в формулу 2.3 и получим

$$\Delta t = R * \frac{\varepsilon^3}{24} \quad (2.5)$$

Но  $\varepsilon = 2S/R$ , поэтому

$$\Delta t = \frac{S^3}{3R^2} \quad (2.6)$$

Отношение  $\Delta t/S$  называется относительным искажением длины дуги при замене ее отрезком касательной, оно будет равно

$$\Delta t/S = S^2/(3 * R^2) \quad (2.7)$$

Подсчитаем конкретные значения относительного искажения для разных длин дуги  $S$ . При  $R=6400$  км  $S = 20$  км  $\Delta t/S=1/1\,218\,000$ , при  $S=30$  км  $\Delta t/S=1/541\,000$  и т.д.

Достигнутая точность измерения расстояний показывает искажение 1 000 000, поэтому при геодезических работах любой точности участок сферы 20 на 20 км<sup>2</sup> можно считать плоским. При работах пониженной точности размеры участка сферы, принимаемого за плоскость, можно увеличить.

*Искажение высот точек.* Если заменить небольшой участок сферы касательной плоскостью, то будут искажены не только длины линий, но и высоты точек. Изменение высот симметрично относительно точки В и зависит от удаленности от этой точки. Высота точки  $C'$ , находящейся на плоскости, отличается от высоты точки  $C$ , лежащей на сфере, на величину отрезка  $CC' = \Delta h$  (рис.2.2). Из треугольника  $OBC$  следует:

$$R^2 + t^2 = (R + \Delta h)^2 \quad (2.8)$$

Откуда получаем:

$$\Delta h = t^2 / (2 * R + \Delta h) \quad (2.9)$$

В знаменателе величина  $\Delta h$  намного меньше величины  $2 * R$ , поэтому отбросив ее мы допустим несущественную ошибку, таким образом

$$\Delta h = t^2 / (2 * R) \quad (2.10)$$

Влияние кривизны земли на отметки точек нужно учитывать при любых расстояниях между точками. Например, при  $s = 10$  км  $\Delta h = 7,8$  м, а при  $s = 100$  м  $\Delta h = 0,8$  мм.

### Вопрос 2.3. Системы координат, применяемые в геодезии

Координатами называют числа, определяющие положение точки земной поверхности относительно исходных линий или поверхностей. В геодезии наибольшее применение получили системы географических, прямоугольных и полярных координат.

**Система географических координат.** Географические координаты могут быть геодезическими и астрономическими. Геодезические координаты определяют положение точки на поверхности референц-эллипсоида. В этой системе координатами являются широта и долгота точки, а исходными линиями – меридианы и параллели (рис.2.3).

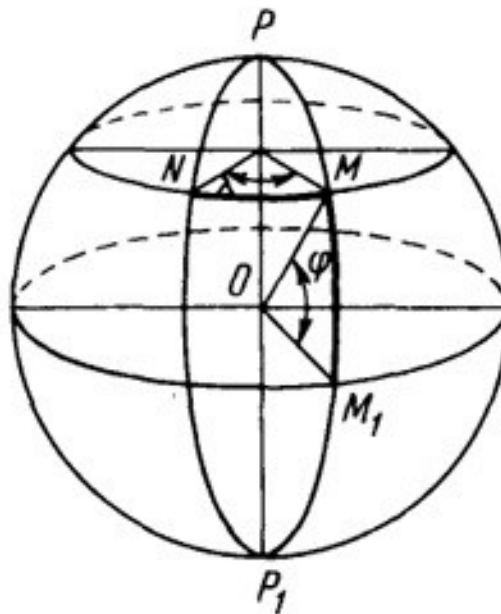


Рис. 2.3. Геодезическая система координат

*Меридианами* называются линии пересечения поверхности референц-эллипсоида плоскостями, проходящими через его малую ось, а параллелями – линии пересечения плоскостями, перпендикулярными к малой оси.

*Параллель*, плоскость которой проходит через центр эллипсоида, называется *экватором*. За начальный меридиан принят Гринвичский меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию в окрестностях Лондона.

*Долготой* ( $L$ ) называется двугранный угол, составленный плоскостью начального меридиана и меридиана данной точки  $M$ . Долготы отсчитываются от начального меридиана на восток и на запад от  $0$  до  $180^\circ$ .

*Широтой* точки ( $B$ ) называется угол между нормалью (отвесной линией) данной точки  $M$  и плоскостью экватора. Широты отсчитываются от плоскости экватора к северу от  $0$  до  $+90^\circ$  и к югу от  $0$  до  $-90^\circ$ . На экваторе широта точки равна  $0^\circ$ .

Если широты и долготы точки отнесены к поверхности геоида, то они называются *астрономическими* координатами и обозначаются:  $\varphi$  – широта и  $\lambda$  – долгота. Астрономические координаты могут быть определены из астрономических наблюдений.

При составлении планов и карт, а также при пользовании ими удобно применять не географические, а плоские прямоугольные системы координат.

**Система плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера.** Данную систему используют при крупномасштабном изображении значительных частей земной поверхности (рис.2.4).

В проекции Гаусса–Крюгера обеспечивается сохранение подобного изображения фигур (контуров местности) при переходе с поверхности земного эллипсоида на плоскость. Возникающие при этом искажения в размерах фигур достаточно малы и легко учитываются.

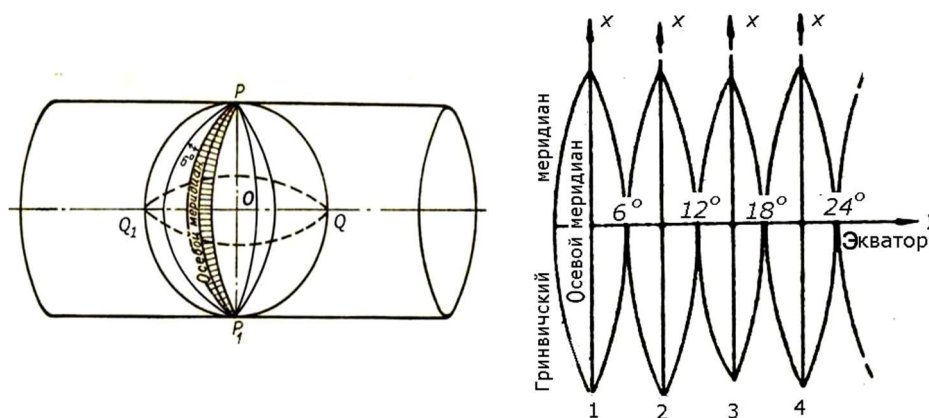


Рис. 2.4. Зональная система прямоугольных координат Гаусса–Крюгера

В этой системе поверхность земного эллипсоида разграничивают меридианами через  $6^\circ$  или  $3^\circ$  по долготе на зоны. Нумерацию зон ведут от нулевого (Гринвичского) меридиана на восток. Число зон с долготой  $6^\circ$  составляет 60, а с долготой  $3^\circ$  – 120. Земной эллипсоид вписывают в цилиндр так, чтобы плоскость экватора совместилась с осью цилиндра (рис.2.4).

Каждая зона из центра Земли проектируется на боковую поверхность цилиндра. Затем боковую поверхность цилиндра разворачивают в плоскость, разрезая ее по образующим, проходящим через полюса Земли. На полученном изображении средние (осевые) меридианы зон и экватор остаются без искажений и изображаются прямыми линиями. Остальные меридианы и параллели

изображаются кривыми. Искажения размеров контуров возрастают по мере удаления от осевого меридиана к краям зоны. Например, линия длиной  $d$  при переходе с поверхности земного эллипсоида на плоскость получит искажение

$$\Delta d = \frac{y_T^2}{2R^2} * d, \quad (2.11)$$

где  $y_T = (y_1 + y_2)/2$  – среднее значение из ординат начальной  $y_1$  и конечной  $y_2$  точек линии;

$R$  – радиус Земли.

На краях шестиградусных зон относительные искажения могут достигать  $\Delta d / d = 1 / 1500$ , а в трехградусных –  $\Delta d / d = 1 / 6000$ .

За начало отсчета координат в каждой зоне принимают точку пересечения осевого меридиана зоны и экватора. При этом осевой меридиан является осью абсцисс ( $x$ ), а экватор – осью ординат ( $y$ ). Координатами любой точки  $M$  будут являться длины перпендикуляров, опущенные из точки  $M$  на оси координат.

Если провести в каждой зоне линии, параллельные оси ординат и абсцисс с интервалом в 1 км, то получится так называемая километровая сетка, которую строят на всех топографических картах. Для территории СНГ, расположенной в северном полушарии, абсциссы всегда положительны. Для того чтобы и ординаты были положительны, начало координат в зоне смещают на запад на 500 км. В этом случае все точки к востоку и западу от осевого меридиана будут иметь положительные ординаты, которые называются преобразованными.

*Преобразованные координаты* всегда начинаются с номера зоны. Например, если точка  $M$  расположена в четвертой зоне в 25340 км к востоку от осевого меридиана, то ее преобразованная ордината равна 4525340 м, а если на том же расстоянии к западу от того же осевого меридиана, то преобразованная ордината будет  $y = 4474660$  м.

**Система плоских прямоугольных координат.** Эту систему координат применяют для определения координат точек, на небольших участках земной поверхности, принимаемых за плоскость (не более  $20 \times 20$  км<sup>2</sup>).

На плоскости берутся две взаимно-перпендикулярные линии, которые называются о с я м и к о о р д и н а т: *ось абсцисс XX* и *ось ординат YY* (рис.2.5). Точка пересечения их  $O$  служит *началом координат*.

Направление оси абсцисс обычно принимают совпадающим с направлением меридиана. Координатами любой точки  $M$  будут являться длины перпендикуляров, опущенных из точки  $M$  на оси координат. Счет четвертей ведется от первой до четвертой по ходу часовой стрелки.

Абсциссы точек в первой и в четвертой четвертях будут положительными, а во второй и третьей – отрицательными. Ординаты точек в первой и второй четвертях положительные, а в третьей и четвертой – отрицательными.

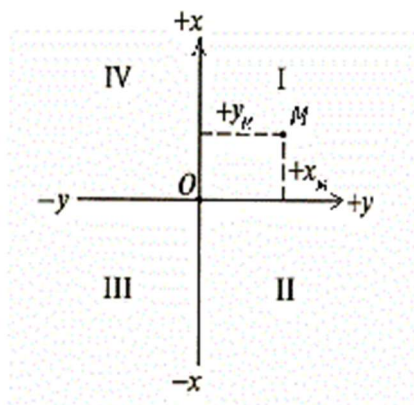


Рис. 2.5. Прямоугольная система координат

**Система полярных координат.** Эту систему применяют при определении положения точек на небольших участках земной поверхности, обычно при топографических съемках местности или при разбивочных работах в строительстве.

За начало координат в данной системе принимают точку  $O$  местности (рис.2.6), которую называют **п о л ю с о м**.

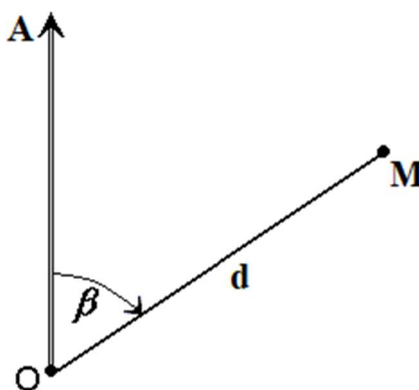


Рис. 2.6. Полярная система координат

За начальную координатную линию принимают **п о л я р н у ю о с ь**  $OA$ , расположенную на местности произвольно или вдоль известной стороны. Полярными координатами любой точки  $M$  местности будут являться **п о л я р н ы й у г о л** ( $\beta$ ), отсчитываемый от полярной стороны по ходу часовой стрелки, и **п о л я р н о е р а с с т о я н и е**  $OM = d$ , определяемое как радиус-вектор.

**Всемирная геоцентрическая система координат WGS-84** (World Geodetic System, 1984 г.) поддерживается созвездием спутников GPS-NAVSTAR и рекомендована к практическому применению Международным союзом геодезии и геофизики. Представляет одну из глобальных координатных систем, используемых в спутниковых технологиях определения координат неподвижных объектов (статическое позиционирование, или местоопределение) и находящихся в движении (кинематическое местоопределение) на

земной поверхности и в пространстве. Пространственные прямоугольные координаты  $x, y, z$  точки  $N$  определяют относительно центра масс Земли  $M$  и координатных осей  $X, Y, Z$  (рис.2.7). Ось  $Z$  совмещена со средним положением оси вращения Земли, положительное направление оси – северное. Ось  $X$  направлена от центра масс к точке  $K$  пересечения плоскости экватора с плоскостью нулевого меридиана  $ВН$ , положение которого определено Международным бюро времени (Bureau International de l'Heure – ВИН) в пункте закрепления Гринвичского меридиана. Ось  $Y$  расположена в плоскости экватора под углом  $90^\circ$  к востоку от оси  $X$ , этим установлена правосторонняя ориентация геоцентрической системы координат.

**Российская геоцентрическая система ПЗ-90** (параметры Земли, 1990 г.) поддерживается созвездием спутников ГЛОНАСС, является аналогом системы WGS-84, но ориентирована с максимальным приближением к геоиду на территории бывшего СССР. Параметры земного эллипсоида в основных современных системах координат приведены в табл. 2.1. СК-42 не потеряла значения, поскольку на практике используется большой объем соответствующих ей картографогеодезических материалов и в этой системе могут выполняться отдельные геодезические съемки.

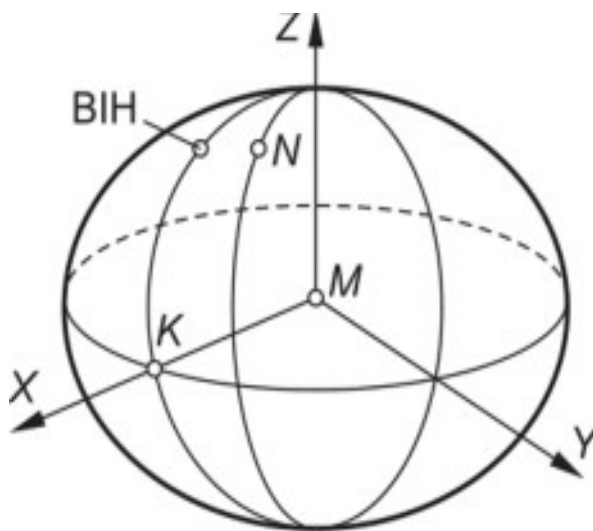


Рис. 2.7. Схема прямоугольной геоцентрической системы координат WGS-84

Таблица 2.1. Параметры основных земных эллипсоидов

Эллипсоид	Экваториальная полуось $a$ , м	Погрешность $\Delta a$ , м	Сжатие, $\alpha$
WGS-84	6 378 137	+(0,6 – 0,9)	1/298,2572
ПЗ-90	6 378 136	–(0,1 – 0,4)	1/298,2578
Красовского (СК-42)	6 378 245	+109	1/298,3

Параметры систем координат WGS-84 и ПЗ-90 различаются на малые величины, характеризующие точность методов их определения. В настоящее время принимаются попытки совместного применения созвездий ИСЗ этих систем, ведутся работы по созданию аналогичных спутниковых систем в других странах.

#### Вопрос 2.4. Абсолютные и относительные высоты точек местности

Для определения положения точек на физической поверхности Земли, кроме плоских прямоугольных координат  $X$  и  $Y$ , называемых плановыми, нужно знать еще третью координату, характеризующую отстояние точки земной поверхности от начальной поверхности. Расстояние  $H$  от точки  $A$  земной поверхности по отвесной линии до начальной поверхности называют *высотой точки  $A$*  (рис.2.8). За начальную поверхность для определения высот в геодезии принимают основную уровенную поверхность (поверхность геоида), которую называют также *уровнем моря*.

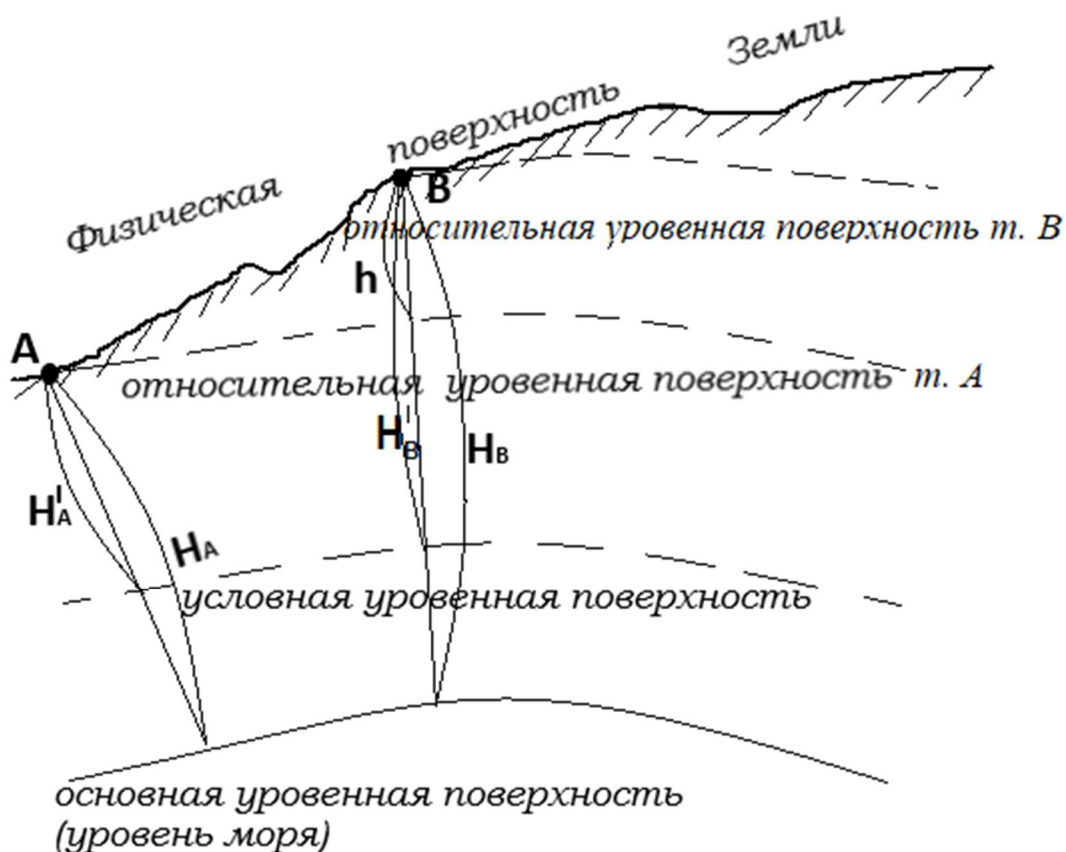


Рис. 2.8. Системы высот

В странах СНГ и Республике Беларусь принята Балтийская система высот, в которой все высоты отсчитываются от среднего уровня воды в Балтийском море и соответствующего нулю Кронштадского футштока. Нуль Кронштадского футштока представляет собой черту на медной доске, зацементированной в гранитный устой моста. Чертой на футштоке зафиксирован уровень воды в Финском заливе, выведенный из многолетних наблюдений. Высоты, отсчитываемые от уровня Балтийского моря, называют абсолютными. Если за начало отсчета принимают любую другую поверхность, то высоты, отсчитываемые от этой поверхности, называют относительными. В строительстве часто используют относительную систему высот при возведении зданий и сооружений, принимая за отсчетную поверхность урвенную поверхность, совпадающую с уровнем чистого пола первого этажа здания или цеха промышленного предприятия. Высоты, отсчитываемые от этого уровня, называют условными.

Численное значение абсолютной или относительной (условной) высоты называют отметкой.

На рис.2.8  $H_A$  и  $H_B$  – абсолютные высоты точек А и В земной поверхности, а  $H'_A$  и  $H'_B$  – условные высоты точек А и В.

Разность абсолютных высот двух точек называют превышением и обозначают  $h$ .

Превышение может быть положительным, если точка В выше точки А, или отрицательным, если точка В ниже точки А. Для линии АВ превышение  $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$  называется прямым превышением, а для линии ВА –  $h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B$  и называется обратным превышением. Очевидно, что  $h_{AB} = -h_{BA}$ , т. е. прямое и обратное превышение одной и той же линии равны по величине и обратны по знаку.

## **Вопрос 2.5. Топографические планы и карты**

### **Вопрос 2.5.1. Назначение топографических планов и карт. План.**

#### **Карта. Профиль**

Картографирование населенных мест, промышленных предприятий, дорожных сетей, подземных коммуникаций, водных и других объектов необходимо для инженерного обеспечения их функционирования. При проектировании таких объектов используют топографические планы, а также специальные строительные чертежи, которые составляют в масштабах 1:200; 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000. На них показывают существующие объекты и проектируют новые поверхностные и подземные сооружения. На исполнительных чертежах отображают все построенные наземные и подземные сооружения (здания,

спортивные объекты, мосты, дороги, трубопроводы, кабели, тоннели, штреки и др.).

К картографическим материалам относят также и профили – уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности вдоль выбранного направления.

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.2.9).

Сущность его состоит в том, что точки местности переносят на горизонтальную плоскость по отвесным линиям, параллельным друг другу и перпендикулярным горизонтальной плоскости. Например, точка А местности (перекресток дорог) проецируется на горизонтальную плоскость Н по отвесной линии Аа, точка В — по линии Вв и т. д., точки а и в являются ортогональными проекциями точек А и В местности на плоскости Н.

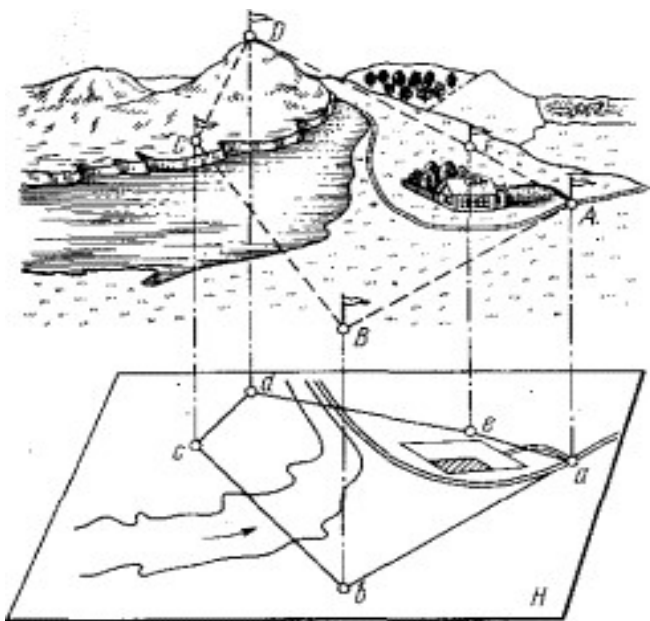


Рис. 2.9. Ортогональное проецирование местности

Полученное на плоскости изображение участка земной поверхности уменьшают с сохранением подобия фигур. Такое уменьшенное 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 и разрывов. *Изображение Земли на плоскости, уменьшенное и искаженное вследствие кривизны поверхности, называют картой.*

Для построения карт точки и линии местности проектируют нормальными на поверхность эллипсоида, а затем поверхность эллипсоида по определенным математическим законам изображают на плоскости.

*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, на плане изображение получают практически без искажения.

*Профилем местности называется уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению.* Как правило, разрез местности (рис.2.10, а) представляет собой кривую линию ABC...G. На профиле (рис.2.10, б) она строится в виде ломаной линии abc...g.

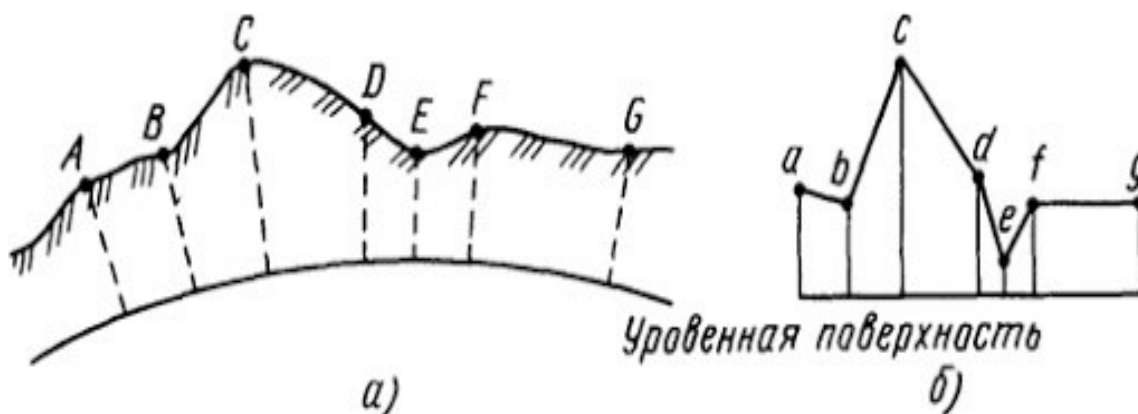


Рис. 2.10. Разрез (а) и профиль (б) местности

Уровенную поверхность изображают прямой линией; для большей наглядности вертикальные отрезки (высоты, превышения) делают крупнее, чем горизонтальные (расстояния между точками).

### Вопрос 2.5.2. Масштабы: численный, линейный, поперечный. Точность масштаба

Для составления планов, карт и профилей результаты измерений линий на местности уменьшают в несколько сотен или тысяч раз. На степень этого уменьшения указывает масштаб.

*Масштаб — это отношение длины  $s$  линии на плане, или карте к длине  $S_m$  горизонтального проложения, соответствующей линии на местности.*

$$\frac{1}{M} = \frac{s}{S_m} \quad (2.12)$$

Различают *численный* и *графические* масштабы; к последним относятся линейный и поперечный масштабы.

*Численный масштаб* выражается в виде дроби, числитель которой равен единице, а в знаменателе стоит число М- знаменатель масштаба плана, показывающее степень уменьшения горизонтальных проложений. На топографических картах численный масштаб подписывается внизу листа карты в виде 1:М например, 1:10000. Если длина линии на карте равна s, то горизонтальное проложение  $S_M$  линии местности будет равно:

$$S_M = s * M \quad (2.13)$$

В нашей стране приняты следующие масштабы топографических карт: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000. Этот ряд масштабов называется стандартным.

*Линейный масштаб* - это графический масштаб; он строится в соответствии с численным масштабом карты в следующем порядке:

- проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок **a** постоянной длины, называемый основанием масштаба (при длине основания **a**=2 см линейный масштаб называется нормальным); для масштаба 1:10 000 отрезок **a** соответствует 200 м;
- у конца первого отрезка ставится нуль;
- влево от нуля подписывают одно основание масштаба и делят его на 20 частей;
- вправо от нуля подписывают несколько оснований;
- параллельно основной прямой проводят еще одну прямую и между ними прочерчивают короткие штрихи (рис.2.11).

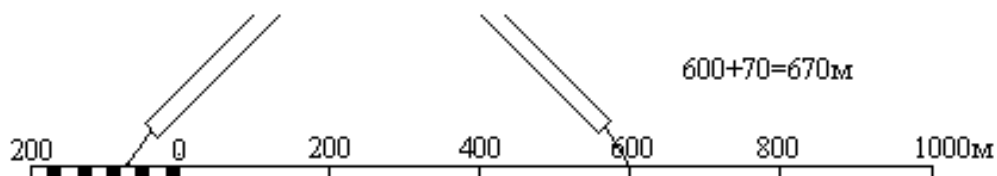


Рис. 2.11. Линейный масштаб

Линейный масштаб помещается внизу листа карты. Порядок пользования линейным масштабом:

- измерить длину линии на карте, зафиксировав ее раствором циркуля-измерителя;

- затем одну ножку циркуля ставят на штрих, разделяющий основания так, чтобы другая ножка попала на левое основание;
- считают с масштаба два отсчета:  $N_1$  - по правой игле и  $N_2$  - по левой;
- длина линии равна сумме отсчетов

$$S = N_1 + N_2 \quad (2.14)$$

*Поперечный масштаб.* Проведем прямую линию CD и отложим на ней несколько раз основание масштаба - отрезок а длиной 2 см (рис.2.12). В полученных точках восстановим перпендикуляры к линии CD; на крайних перпендикулярах отложим  $m$  раз вверх от линии CD отрезок постоянной длины и проведем линии, параллельные линии CD. Крайнее левое основание разделим на  $n$  равных частей. Соединим  $i$ -тую точку основания CA с  $(i-1)$ -й точкой линии BL; эти линии называются *трансверсалими*. Построенный таким образом масштаб называется *поперечным*.

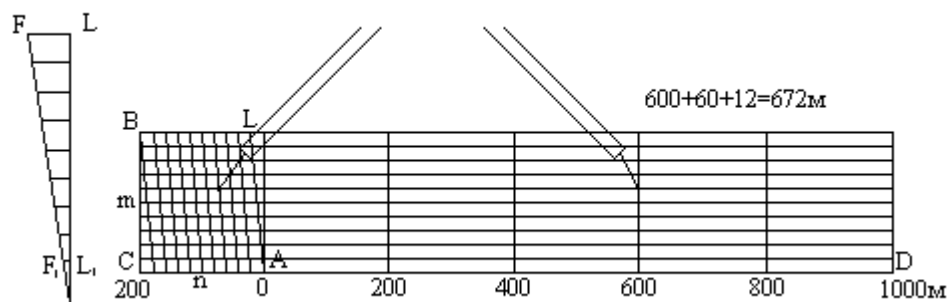


Рис. 2.12. Поперечный масштаб

Если основание масштаба равно 2 см, то масштаб называется нормальным; если  $m = n = 10$ , то масштаб называется сотенным.

Наименьшее деление поперечного масштаба равно отрезку  $F_1L_1$ ; на такую длину отличаются два соседних параллельно расположенных отрезка при движении вверх по трансверсали и по вертикальной линии. Теория поперечного масштаба заключается в выводе формулы цены его наименьшего деления.

Рассмотрим два подобных треугольника  $AF_1L_1$  и  $AFL$ , из подобия которых следует:

$$\frac{F_1L_1}{FL} = \frac{AL_1}{AL} \quad (2.15)$$

откуда  $F_1L_1 = FL * (AL_1 / AL)$ .

По построению  $FL = a/n$  и  $(AL_1 / AL) = 1/m$ . Подставим эти равенства в формулу (2.15) и получим:

$$F_1L_1 = \frac{a}{m * n} \quad (2.16)$$

При  $m = n = 10$  имеем  $F_1L_1 = a/100$ , то-есть, у сотенного масштаба цена наименьшего деления равна одной сотой доле основания.

Порядок пользования поперечным масштабом:

- циркулем-измерителем зафиксировать длину линии на карте;
- одну ножку циркуля поставить на один из перпендикуляров, разделяющих основание, а другую - на любую трансверсаль, при этом обе ножки циркуля должны располагаться на одной линии, параллельной линии CD;
- длина линии составляется из трех отсчетов: отсчет целых оснований, умноженный на цену основания, плюс отсчет делений левого основания, умноженный на цену деления левого основания, плюс отсчет делений вверх по трансверсали, умноженный на цену наименьшего деления масштаба.

Точность измерения длины линии по поперечному масштабу оценивается половиной цены его наименьшего деления.

*Точность масштаба.* Карта или план - это графические документы. Принято считать, что точность графических построений оценивается величиной 0.1 мм. *Длина горизонтального проложения линии местности, соответствующего на карте отрезку 0.1 мм, называется точностью масштаба.*

Так, для плана масштаба 1/5000 точность масштаба будет  $0,1 * 5000 = 0,5$  м.

Практический смысл этого понятия заключается в том, что детали местности, имеющие размеры меньше точности масштаба, на карте в масштабе изобразить невозможно, и приходится применять так называемые внемасштабные условные знаки.

Кроме понятия "точность масштаба" существует понятие "точность плана". Точность плана показывает, с какой ошибкой нанесены на план или карту точечные объекты или четкие контуры. Точность плана оценивается в большинстве случаев величиной 0.5 мм; в нее входят ошибки всех процессов создания плана или карты, в том числе и ошибки графических построений.

### Вопрос 2.5.3. Содержание топографических планов и карт. Условные знаки

На планах и картах изображается большое количество объектов местности – контуров с.х. угодий, лесов, кустарников, болот, прудов, рек и др. Совокупность этих объектов называется *ситуацией*.

Объекты местности (ситуация) и некоторые разновидности рельефа изображаются на топографических картах условными знаками. Различают четыре типа условных знаков: масштабные, внемасштабные, линейные и пояснительные (рис.2.13).

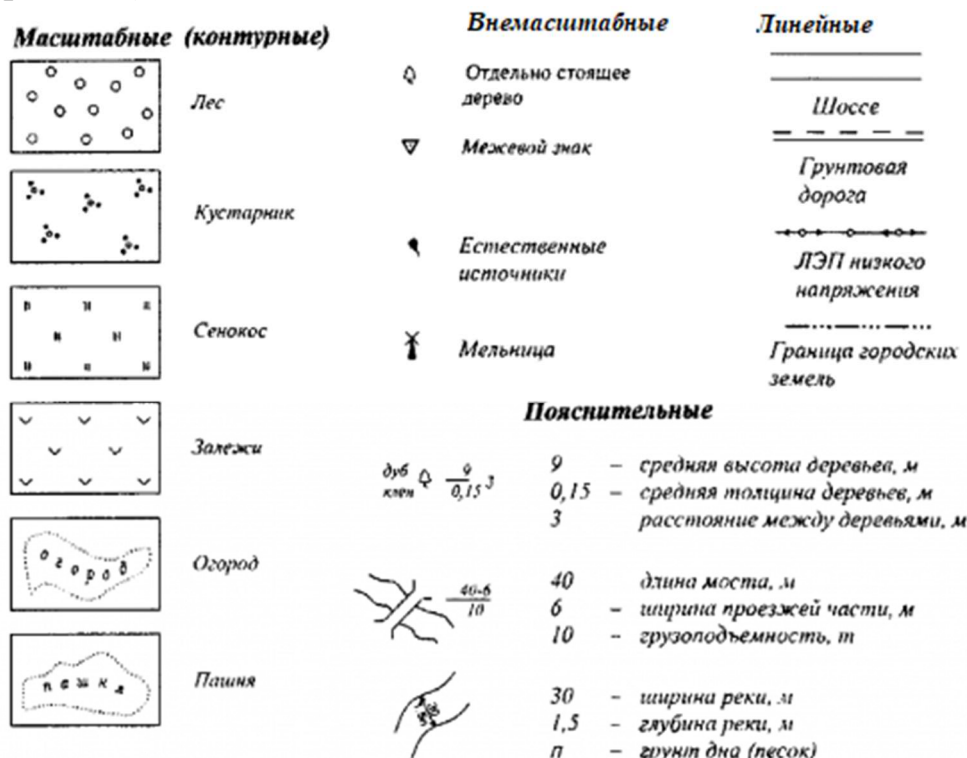


Рис. 2.13. Типы условных знаков

*Масштабные условные* знаки служат для изображения объектов, занимающих определенную площадь и выражающихся в масштабе карты. Контур вычерчивают точечным пунктиром или тонкой сплошной линией и заполняют условными значками леса, луга, сада, огорода, болота и т.д.

*Внемасштабные условные* знаки служат для показа объектов, не выражающихся в масштабе карты: геодезических пунктов, километровых столбов, теле- и радиовышек, фабрик, заводов, различного рода опор, и т.д. Местоположение объекта соответствует характерной точке условного знака, которая может располагаться в центре условного знака, в середине его основания и т.д.

*Линейные условные* знаки служат для изображения линейных объектов: дорог, ЛЭП, линий связи, различных продуктопроводов и т.д. Масштаб по линии равен масштабу карты, а в поперечнике - на несколько порядков крупнее.

*Пояснительные условные* знаки служат для дополнительной характеристики объектов: у брода через реку подписывают глубину и характер грунта, у моста - его длину, ширину и грузоподъемность, у дороги - ширину проезжей части и характер покрытия и т.д.

Таблицы условных знаков для карт разных масштабов составляются в соответствии с этим делением объектов; они утверждаются государственными органами и издаются в форме обязательных для исполнения документов.

#### **Вопрос 2.5.4. Разграфка и номенклатура топографических планов и карт**

*Номенклатурой* называется система нумерации отдельных листов топографических карт и планов разных масштабов. Схема взаимного расположения отдельных листов называется *разграфкой*.

В нашей стране принята международная система разграфки и номенклатуры топографических карт; ее основой является лист карты масштаба 1:1 000 000.

Земной шар делится меридианами на  $6^\circ$  зоны, а параллелями через  $4^\circ$ . В результате между смежными параллелями создаются *поояса*, которые обозначаются заглавными буквами латинского алфавита от экватора к северу и к югу, а между смежными меридианами образуются *колонны*. Колонны имеют порядковые номера от 1 до 60. Нумерация колонн осуществляется от Тихоокеанской ветви Гринвичского меридиана.

Номенклатура листа карты миллионного масштаба составляется из буквы ряда и номера колонны, например, N-37(рис.2.14).

Листы карты масштаба 1:500 000 получают делением листа миллионного масштаба на 4 части средним меридианом и средней параллелью.

Размеры листа -  $3^\circ$  между меридианами и  $2^\circ$  между параллелями. Номенклатуру листа карты масштаба 1:500 000 получают, добавляя к номенклатуре миллионного листа справа прописную букву русского алфавита А, Б, В, Г, например, N-37-А.

Листы карты масштаба 1:200 000 получают делением листа миллионного масштаба на 36 частей меридианами и параллелями. Размеры листа -  $1^\circ$  между меридианами и  $40'$  между параллелями. Номенклатуру листа карты масштаба 1:200 000 получают, добавляя к номенклатуре миллионного листа справа римскую цифру от I до XXXVI, например, N-37-XXIV.

Листы карты масштаба 1:100 000 получают делением листа миллионного масштаба на 144 части меридианами и параллелями. Размеры листа -  $30'$  между меридианами и  $20'$  между параллелями. Номенклатуру листа карты масштаба 1:100 000 получают, добавляя к номенклатуре миллионного листа слева числа от 1 до 144, например, N-37-144.

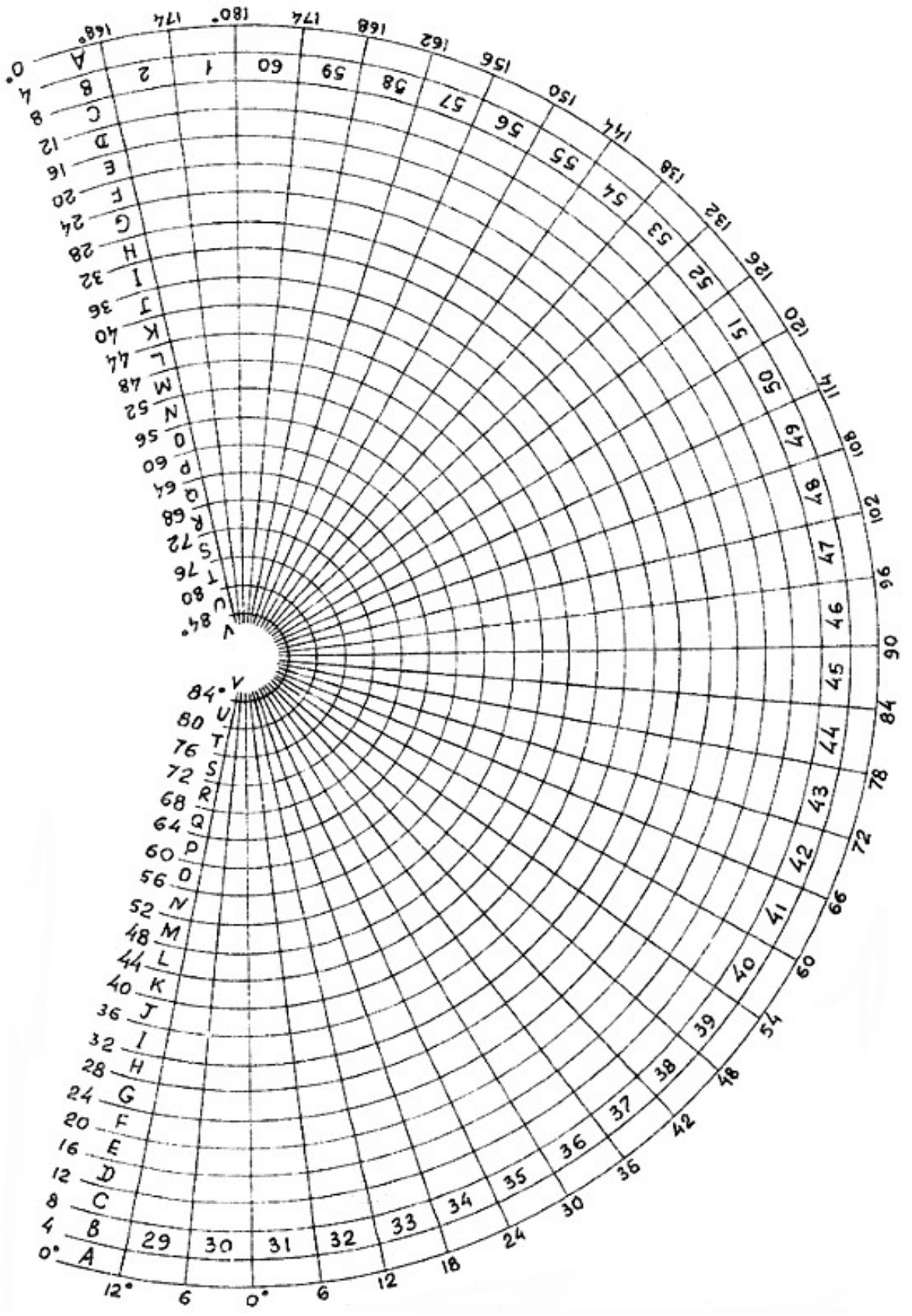


Рис. 2.14. Схема расположения листов карты масштаба 1: 1 000 000

Листы карты масштаба 1:50 000 получают делением листа масштаба 1:100 000 на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа - 15' между меридианами и 10' между параллелями. Номенклатуру листа карты масштаба 1:50 000 получают, добавляя к номенклатуре листа 1:100 000 справа прописную букву русского алфавита А, Б, В, Г, например, N-37-144-А.

Листы карты масштаба 1:25 000 получают делением листа масштаба 1:50 000 на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа - 7'30" между меридианами и 5' между параллелями. Номенклатуру листа карты масштаба 1:25 000 получают, добавляя к номенклатуре листа 1:50 000 справа строчную букву русского алфавита а, б, в, г, например, N-37-144-А-а.

Листы карты масштаба 1:10 000 получают делением листа масштаба 1:25 000 на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа - 3'45" между меридианами и 2'30" между параллелями. Номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000 получают, добавляя к номенклатуре листа 1:25 000 справа цифру от 1 до 4, например, N-37-144-А-а-1.

Листы планов масштаба 1:5 000 получают делением листа масштаба 1:100 000 на 256 частей меридианами и параллелями. Размеры листа - 1'52.5" между меридианами и 1'15" между параллелями. Номенклатуру листа плана масштаба 1:5 000 получают, добавляя к номенклатуре листа карты 1:100 000 справа в скобках число от 1 до 256, например, N-37-144-(256).

Листы планов масштаба 1:2 000 получают делением листа масштаба 1:5 000 на 9 частей меридианами и параллелями. Размеры листа - 37.5" между меридианами и 25" между параллелями. Номенклатуру листа плана масштаба 1:2 000 получают, добавляя к номенклатуре листа плана 1:5 000 справа в скобках строчную букву русского алфавита от *а* до *и*, например, N-37-144-(256-и).

Сводная схема разграфки и номенклатуры топографических карт показана на рис.2.15.

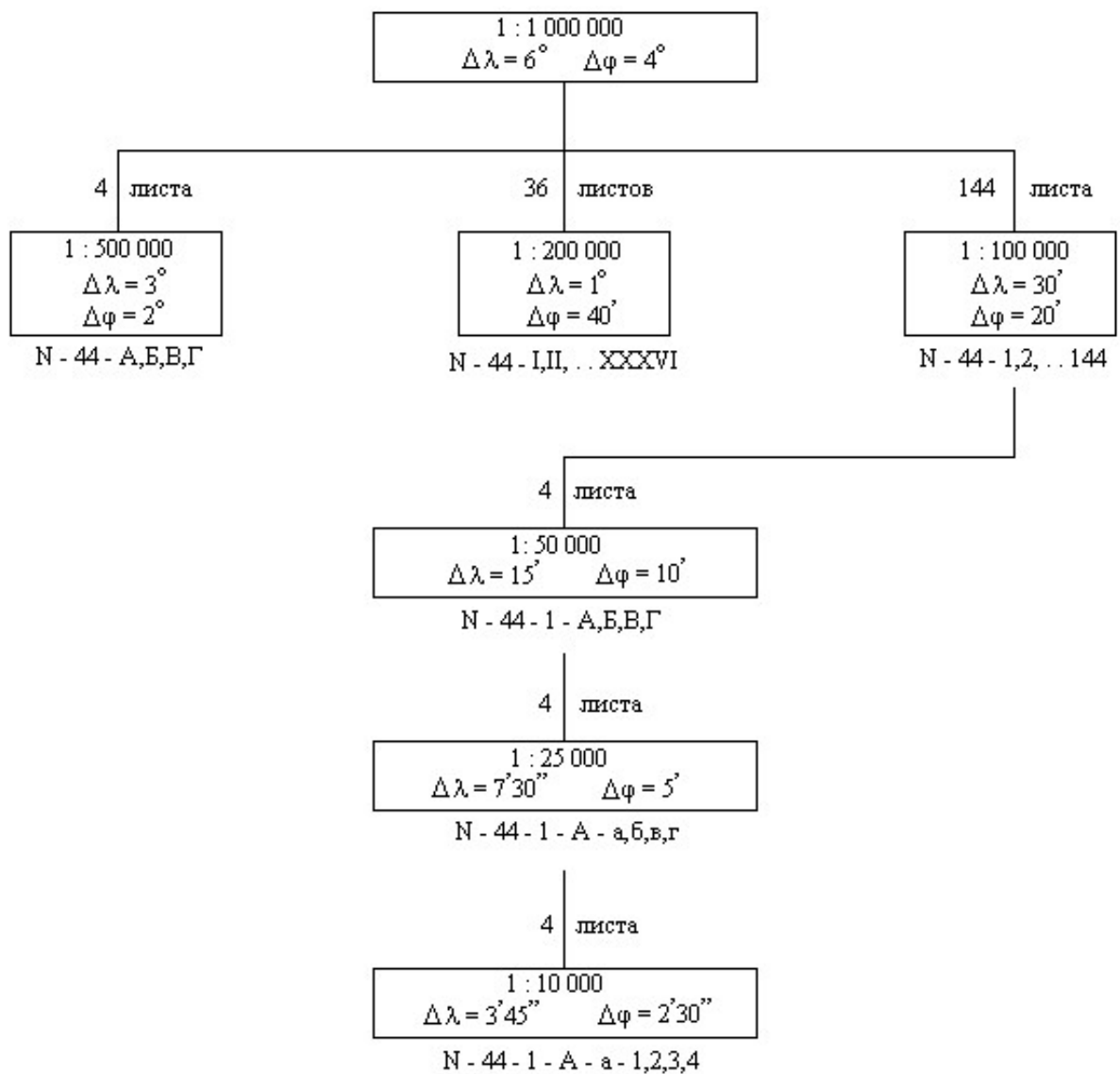


Рис. 2.15. Сводная схема разграфки и номенклатуры топографических карт

## Вопрос 2.6. Ориентирование линий

### Вопрос 2.6.1. Понятие об ориентировании линий

При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой, планом возникает необходимость в определении положения линий местности относительно стран света или какого-нибудь направления, принятого за исходное.

За **исходное направление** в геодезии принимают **направление истинного (географического) меридиана**, в качестве исходного можно принять

направление **магнитного меридиана**, а также в качестве исходного направления очень часто принимают направление **осевого меридиана зоны**.

Ориентировать линию – это значит определить ее положение относительно меридиана.

### Вопрос 2.6.2. Истинные азимуты, прямой и обратный. Сближение меридианов

Напомним, что **меридиан** – это есть след от сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через точку на поверхности и ось вращения Земли. При ориентировании относительно истинного или географического меридиана нужно определить угол между исходным направлением и направлением данной линии, который называется *истинным азимутом*.

**Истинный (географический) азимут** – угол, который отсчитывается по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана точки до данной линии. Он обозначается буквой *A* (рис.2.16,а). Пределы изменения истинного азимута от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

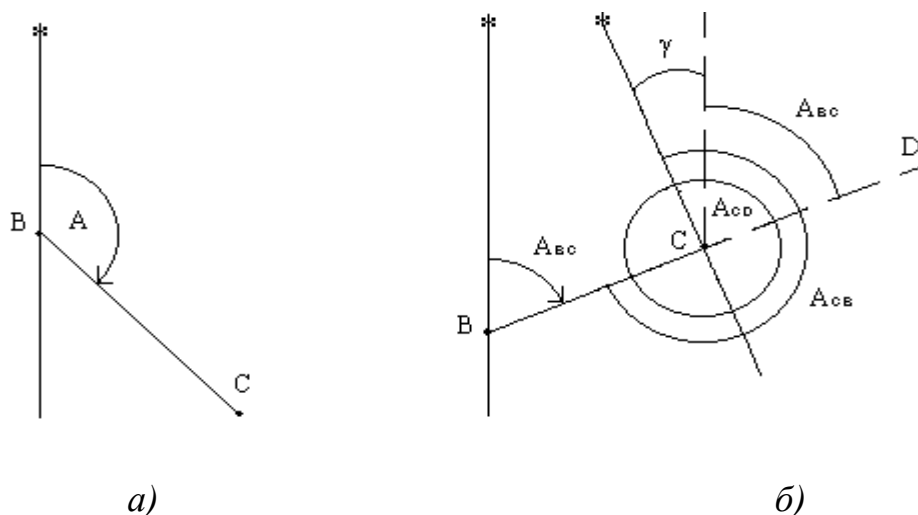


Рис. 2.16 Ориентирование линий: *a* – истинный азимут; *б* – сближение меридианов.

Азимут прямой линии в разных ее точках имеет разные значения, так как меридианы на поверхности сферы непараллельны между собой. Проведем линию *BC* и меридианы в точках *B* и *C* (рис.2.16,б). Азимут этой линии в точке *C* отличается от азимута линии в точке *B* на величину  $\gamma$  - **сближения меридианов** точек *B* и *C*:

$$A_{CD} = A_{BC} + \gamma \quad (2.17)$$

В геодезии различают прямое и обратное направление линии. Пусть *BC* - прямое направление линии в ее начале (в точке *B*),  $A_{BC}$  - азимут прямого направления; *CB* - обратное направление линии в ее конце (в точке *C*),  $A_{CB}$  - азимут обратного направления, тогда обратный азимут линии равен прямому

азимуту плюс-минус  $180^\circ$ , плюс сближение меридианов точек начала и конца линии.

$$A_{CB} = A_{BC} + 180^\circ + \gamma \quad (2.18)$$

Для небольших линий, менее километра, сближением меридианов можно пренебречь и считать что, азимут обратный равен азимуту прямому плюс-минус  $180^\circ$ .

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 конечная точка линии лежит к западу от начальной, то сближение меридианов будет западным и отрицательным.

*Формула сближения меридиана.* На сфере наметим две точки А и В, лежащие на одной параллели, то есть, имеющие одинаковую широту (рис.2.17).



Рис. 2.17. Определение сближения меридианов по координатам точек А и В.

Проведем на поверхности сферы экватор и параллель точек А и В; в плоскости параллели проведем радиусы параллели  $FA = r$  и  $FB = r$ ; угол между ними равен разности долгот точек.

Через точки А и В проведем полуденные линии AN и BN, которые, пересекаясь на продолжении оси вращения Земли, образуют угол  $\gamma$ , являющийся сближением меридианов точек А и В. Требуется выразить угол  $\gamma$  через координаты точек А и В, то есть, через широту  $\phi$  и долготы  $\lambda_A$  и  $\lambda_B$ , причем  $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$ .

Выразим длину дуги АВ двумя способами: из  $\triangle ABN$   $AB = BN * \gamma$  и из  $\triangle ABF$   $AB = r * \Delta\lambda$  ( углы  $\gamma$  и  $\Delta\lambda$  выражены в радианах ). Далее запишем:

$$BN \cdot \gamma = r \cdot \Delta \lambda, \quad (2.19)$$

откуда

$$\gamma = \Delta \lambda \cdot \frac{r}{BN} \quad (2.20)$$

Радиус параллели выразим из  $\triangle OFB$   $r = R \cdot \cos(\varphi)$ , а отрезок  $BN$  - из  $\triangle ONB$   $BN = R \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$ , где  $R$  - радиус сферы; тогда

$$\gamma = \Delta \lambda \cdot \sin(\varphi),$$

или

$$\gamma = (\lambda_A - \lambda_B) \cdot \sin(\varphi) \quad (2.21)$$

В этой формуле размерность  $\gamma$  соответствует размерности  $\lambda$ .

*Гауссово сближение меридианов.* Частным случаем сближения меридианов является гауссово сближение меридианов, когда начальная точка  $A$  лежит на осевом меридиане зоны. Величина гауссова сближения меридианов, равного сближению меридиана точки и осевого меридиана зоны, является одной из характеристик положения точки внутри зоны. Формула гауссова сближения меридианов имеет вид

$$\gamma_G = (L - L_0) \sin(B) \quad (2.22)$$

Буквами  $L$  и  $B$  здесь обозначены геодезические долгота и широта точки, буквой  $L_0$  - долгота осевого меридиана зоны. В пределах зоны гауссово сближение меридианов не может превышать величины  $3^\circ \cdot \sin(B)$ .

### **Вопрос 2.6.3. Дирекционные углы, румбы. Формулы связи дирекционного угла с румбом**

В системе прямоугольных координат углами ориентирования являются дирекционные углы.

*Дирекционным углом линии называется угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны до направления линии; он обозначается буквой  $\alpha$ .* Пределы изменения дирекционного угла от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Кроме географического и магнитного азимутов и дирекционного угла к ориентирным углам относятся также румбы.

*Румб* - это острый угол отсчитываемый от ближайшего направления меридиана до направления линии; он обозначается буквой  $r$ . Пределы изменения румба от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Название румба зависит от названия меридиана: истинный (географический), магнитный и дирекционный (или осевой).

Для однозначного определения направления по значению румба он сопровождается названием четверти:

- 1 четверть - СВ (северо-восток),
- 2 четверть - ЮВ (юго-восток),
- 3 четверть - ЮЗ (юго-запад),
- 4 четверть - СЗ (северо-запад),

например,  $r = 30^\circ$  ЮВ.

Связь румба с соответствующим азимутом выявляется из рис.2.18.

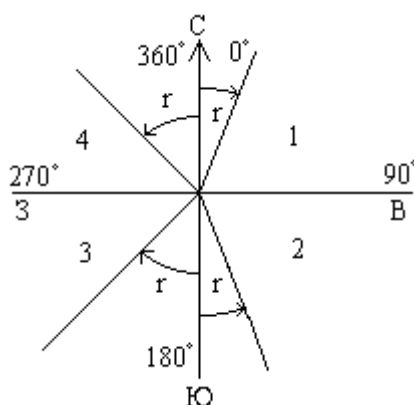


Рис. 2.18. Связь румба с дирекционным углом

- 1 четверть  $r = \alpha$  ;  $\alpha = r$ ;
- 2 четверть  $r = 180^\circ - \alpha$  ;  $\alpha = 180^\circ - r$ ;
- 3 четверть  $r = \alpha - 180^\circ$  ;  $\alpha = 180^\circ + r$ ;
- 4 четверть  $r = 360^\circ - \alpha$  ;  $\alpha = 360^\circ - r$ .

#### Вопрос 2.6.4. Магнитный азимут. Склонение магнитной стрелки.

##### График ориентирования

При составлении плана на небольшой участок разрешается ориентировать линии по направлению магнитного меридиана. *Направлением магнитного меридиана называют линию, получающуюся в пересечении вертикальной плоскости, проходящей через полюс магнитной стрелки, с горизонтальной плоскостью.*

**Магнитным азимутом** называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана точки до направления линии; он обозначается буквой  $A_M$ . Пределы изменения магнитного азимута от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Проведем через одну и ту же точку В истинный (географический) меридиан N и магнитный меридиан  $N_M$ ; угол между ними называется склонением магнитной стрелки и обозначается буквой  $\delta$ . Если северный конец магнитной стрелки отклоняется к востоку от географического меридиана, то склонение считается восточным и положительным; если к западу, - то западным и отрицательным (рис.2.19).

Магнитное склонение – величина не постоянная, известны его суточные, годовые и вековые изменения. Уточнённую величину магнитного склонения можно узнать на метеостанциях и по специальным картам, среднее значение приводится на топографических картах.

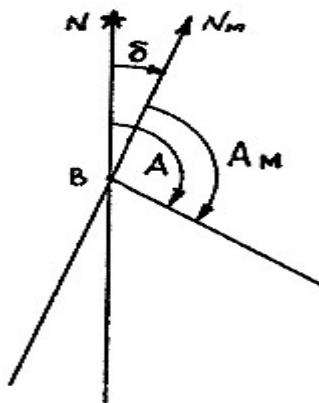


Рис. 2.19. Склонение магнитной стрелки

Направление ВС характеризуется двумя ориентирными углами: истинным азимутом и магнитным азимутом; из рисунка 4.5 видно, что

$$A = A_M + \delta \quad (2.23)$$

Учитывая формулу связи географического азимута и дирекционного угла линии (2.21), можно написать:

$$A = A_M + \delta = \alpha + \gamma_r \quad (2.24)$$

и

$$\alpha = A_M + \delta - \gamma_r = A_M + \Pi \quad (2.25)$$

где  $\Pi$  - поправка за склонение магнитной стрелки и сближение меридианов.

## Вопрос 2.7. Рельеф местности

## Вопрос 2.7.1. Рельеф местности. Основные формы рельефа

Совокупность неровностей на земной поверхности называется **рельефом**.

Несмотря на большое разнообразие неровностей земной поверхности, можно выделить основные формы рельефа (рис.2.20): *гора, котловина, хребет, лощина, седловина*.

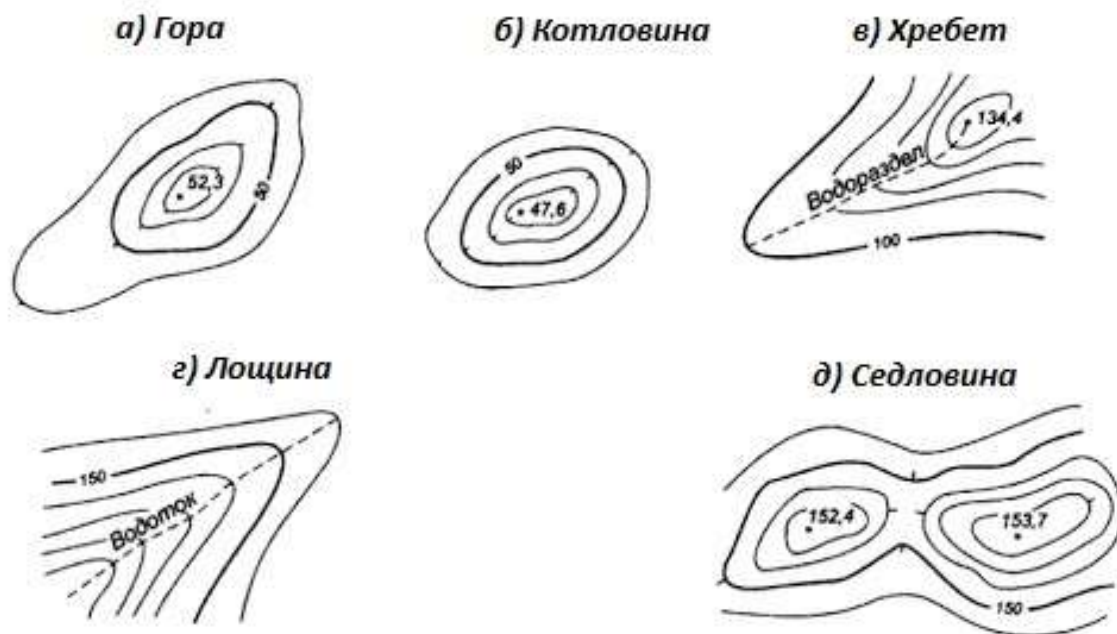


Рис. 2.20. Основные формы рельефа

*Гора (или холм)* - это возвышенность конусообразной формы. Гору высотой менее 200 м называют *холмом*. Она имеет характерную точку - *вершину*, *боковые скаты* (или склоны) и характерную линию - *линию подошвы*. Линия подошвы - это линия слияния боковых скатов с окружающей местностью. На скатах горы иногда бывают горизонтальные площадки, называемые *уступами*.

*Котловина* - это углубление конусообразной формы. Котловина имеет характерную точку - *дно*, боковые скаты (или склоны) и характерную линию - *линию бровки*. *Линия бровки* - это линия слияния боковых скатов с окружающей местностью.

*Хребет* - это возвышенность удлиненной формы. Он имеет характерные линии: линию вдоль хребта, проходящую по самым высоким точкам, называют *линией водораздела*, и две линии подошвы.

*Лощина* - это вытянутое и постепенно понижающееся углубление. Лощина имеет характерные линии: одну линию *водослива* (или *линию тальвега*), которая проходит по самым низким точкам лощины, и две линии *бровки*.

*Седловина* - это небольшое понижение между двумя соседними горами; как правило, седловина является началом двух лощин, понижающихся в противоположных направлениях. Седловина имеет одну характерную точку - точку седловины, располагающуюся в самом низком месте седловины.

Существуют разновидности перечисленных основных форм, например, разновидности лощины: *долина, овраг, каньон, промоина, балка* и т.д. Иногда разновидности основных форм характеризуют особенности рельефа конкретного участка местности, например, в горах бывают *пики* - остроконечные вершины гор, *ущелья, теснины, щели, плато, перевалы* и т.д.

Вершина горы, дно котловины, точка седловины являются *характерными точками рельефа*; линия водораздела хребта, линия водослива лощины, линия подошвы горы или хребта, линия бровки котловины или лощины являются *характерными линиями рельефа*.

### **Вопрос 2.7.2. Изображение рельефа на топографических планах и картах. Горизонтالي и их свойства**

Способ изображения рельефа на топографических планах и картах должен обеспечивать хорошее пространственное представление о рельефе местности, надежное определение направлений и крутизны скатов и высот отдельных точек, решение различных инженерных задач.

За время существования геодезии было разработано несколько способов изображения рельефа на топографических планах и картах. Перечислим некоторые из них.

1. Способ отмывки. Этот способ применяется на мелкомасштабных картах. Поверхность Земли показывается коричневым цветом: чем больше высота, тем гуще цвет. Глубины моря показывают голубым или зеленым цветом: чем больше глубина, тем гуще цвет.
2. Способ штриховки, которая наносится параллельно скату по принципу: чем круче склон, тем толще штрих.
3. Способ высот. При этом способе на карте подписывают высоты отдельных точек местности.
4. Способ горизонталей.

В настоящее время на топографических картах применяют способ горизонталей в сочетании со способом высот, причем на одном квадратном дециметре карты подписывают, как правило, не менее пяти высот точек.

*Способ горизонталей. Горизонталь* - след, получающийся от сечения земной поверхности урванной поверхностью. Сущность способа горизонталей можно понять из рис.2.21.

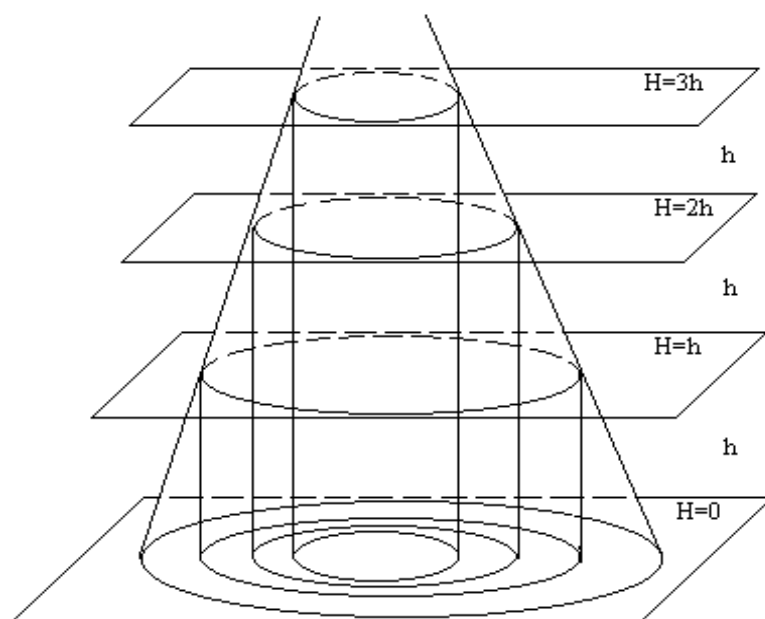


Рис. 2.21. Сущность способа горизонталей

Мысленно рассечем участок местности горизонтальной плоскостью на высоте  $H$ . Линия пересечения этой плоскости с поверхностью Земли называется *горизонталью*. *Горизонталь на местности* - это замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одинаковые высоты.

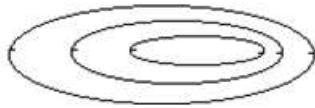
Для того, чтобы изобразить горизонталями рельеф участка местности, нужно рассечь его не одной, а несколькими горизонтальными плоскостями, расположенными на одинаковом расстоянии по высоте одна от другой. Это расстояние называется *высотой сечения рельефа* и обозначается буквой  $h$ . На местности горизонтали не пересекаются, так как они лежат в разных параллельных плоскостях.

***Свойства горизонталей:***

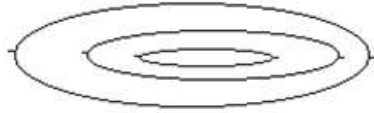
1. горизонтали никогда не пересекаются;
2. все точки на горизонтали имеют одинаковую высоту;
3. высота горизонтали кратна высоте сечения рельефа;
4. чем круче скат, тем гуще горизонтали.

Все основные формы рельефа имеют свой рисунок горизонталей; при этом и гора и котловина изображаются системами замкнутых горизонталей (рис.2.22). Чтобы различить эти формы рельефа, а также для некоторых других целей на карте принято показывать направление скатов вниз; для этого применяются *бергштрихи* - короткие штрихи, перпендикулярные горизонталям и направленные по скату вниз.

Для выражения характерных особенностей рельефа рекомендуется проводить полугоризонталю и четвертьгоризонталю; они проводятся штриховыми линиями через половину и четверть сечения рельефа на отдельных участках карты (где расстояние между основными горизонталями слишком большое).



а) Котловина



б) Гора

Рис. 2.22. Изображение горы и котловины замкнутыми горизонталями

Каждая пятая основная горизонталь при  $h = 1, 2, 5, 10$  м и каждая четвертая при  $h = 0.5$  и  $2.5$  м утолщаются. Отметки некоторых горизонталей на карте подписывают, ориентируя основания цифр вниз по склону.

### Вопрос 2.7.3. Уклон линии и его определение

Уклоном линии ( $i$ ) – называют отношение превышения  $h$  между точками к горизонтальному проложению между ними.

$$i = \frac{h}{a} \quad (2.24)$$

Рассечем скат горы горизонтальными плоскостями при высоте сечения  $h$  (рис.2.23); на участке BC скат имеет угол наклона  $v_1$ , на участке CD - угол наклона  $v_2$ . Расстояние  $a_1$  - это горизонтальное проложение линии ската BC; оно называется заложением.

Из рис.2.23 следует, что уклон линии есть тангенс угла наклона, поэтому

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{a} \quad (2.26)$$

Измерив на карте отрезок  $a$  и зная высоту сечения рельефа  $h$ , по формуле (2.26) можно вычислить уклон линии (тангенс угла наклона), а затем и сам угол наклона  $v$ .

Уклон линии может быть положительным или отрицательным в зависимости от знака превышения.

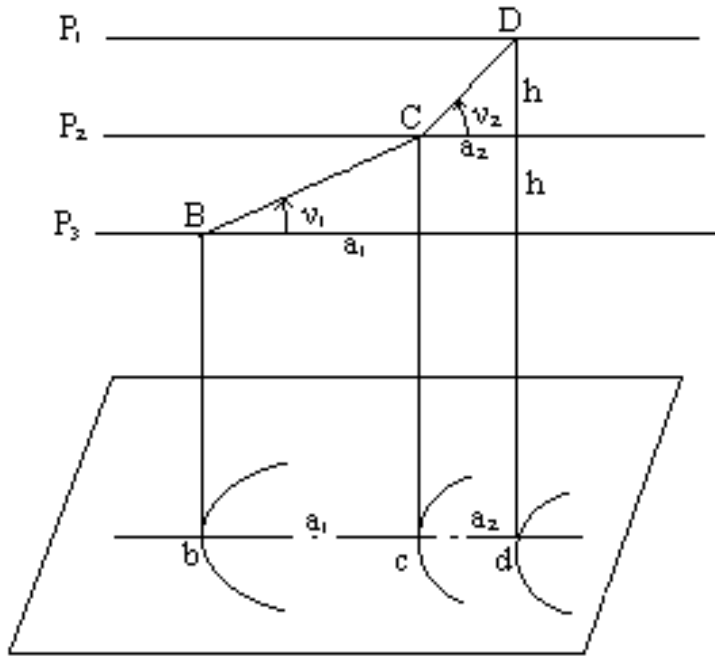


Рис. 2.23. Определение уклона линии

Например,  $h = +2,5$  м,  $a = 60,5$  м,  $i = +2,5/60,5 = +0,0413$   $v = 2^{\circ} 22'$ .

Уклон обычно выражают в процентах или промилле (промилле - это тысячная доля единицы). В данном случае уклон равен  $+41,3\%$  (промилле) или  $4,13\%$ .

*График заложений.* Для быстрого определения угла наклона между точками, лежащими на соседних горизонталях, пользуются специальным графиком на карте, который называется графиком заложений. Он строится следующим образом (рис.2.24):

- вычисляют заложение ската по заданной высоте сечения рельефа для разных углов наклона  $0,5^{\circ}$ ,  $1^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$  и т.д.;

$$a = h \cdot ctgv \quad (2.27)$$

- проводят прямую линию и откладывают на ней равные отрезки длины, которые подписывают в градусах угла наклона;
- перпендикулярно этой линии откладывают в масштабе карты заложения ската  $a$ , вычисленные для каждого значения угла наклона;
- соединяют полученные точки плавной кривой.

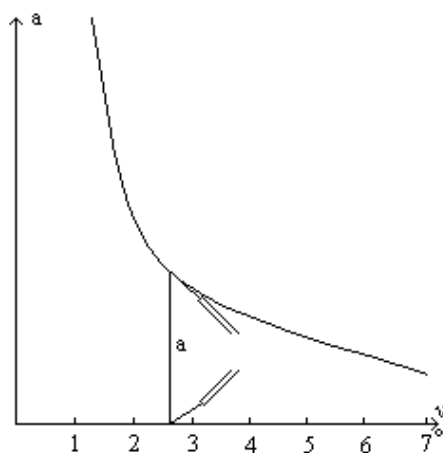


Рис. 2.24. График заложений

Если требуется определить угол наклона для конкретного заложения ската  $a$ , раствором циркуля, равным  $a$ , находят соответствующее место на графике и считывают угол наклона (на рис.2.24  $v = 2^{\circ} 30'$ ).

Аналогично можно построить график заложения для уклонов  $i$ .

График заложения помещается внизу листа карты справа.

#### Вопрос 2.7.4. Решение задач по карте с горизонталями

1. *Расчет высоты сечения рельефа.* При проектировании работ по созданию карты или плана высоту сечения рельефа  $h$  выбирают в зависимости от масштаба карты, характера рельефа и назначения карты или плана. При этом условились изображать горизонталями скаты до  $45^{\circ}$ ; скаты большей крутизны изображают специальным условным знаком обрыва. С другой стороны, расстояние между горизонталями на карте нельзя уменьшать до бесконечности, иначе они сольются. Считается, что наименьшее расстояние между горизонталями может быть 0.2 мм. При  $a_{\min} = 0.2$  мм и  $v_{\max} = 45^{\circ}$  высоту сечения рельефа для конкретного масштаба можно подсчитать по формуле:

$$h = a_{\min} * M * \operatorname{tg}(v_{\max}) \quad (2.28)$$

Например, для масштаба  $1:M = 1:5\,000$  получим  $h = 1$  м.

По формуле (2.28) находят так называемую расчетную высоту сечения рельефа. В зависимости от характера рельефа [6] рекомендуется для планов масштаба 1:5000 несколько значений высоты сечения рельефа:

- для плоскоравнинной местности  $h = 0.5$  м или  $h = 1$  м;
- для равнинной и всхолмленной местности  $h = 1$  м или  $h = 2$  м;
- для горной местности  $h = 5$  м.

Правильный выбор высоты сечения рельефа очень важен с экономической точки зрения, так как при уменьшении высоты сечения возрастает объем работ и расходы на производство съемки.

Пользуясь уклоном можно вычислить высоту точки В, зная высоту точки А, уклон и горизонтальное проложение линии АВ.

Напомним, что превышение  $h$  – это есть разность высот точек, и оно равно произведению уклона на горизонтальное проложение  $S$ .т.е.

$$h_{AB} = H_B - H_A = i * S$$

Отсюда

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + i * S \quad (2.29)$$

2. *Определение высоты точки В, лежащей между горизонталями* (рис.2.25,а ).

Для этого через точку В проводят прямую АС, как кратчайшее расстояние между соседними горизонталями и по плану определяют расстояния АС и АВ =  $s$ . Решение задачи сводится к вычислению  $h$  по формуле (2.29). На рис.2.25,б , представляющим профиль местности  $h = B'B$ , а высота сечения рельефа  $h_C = C'C$ .

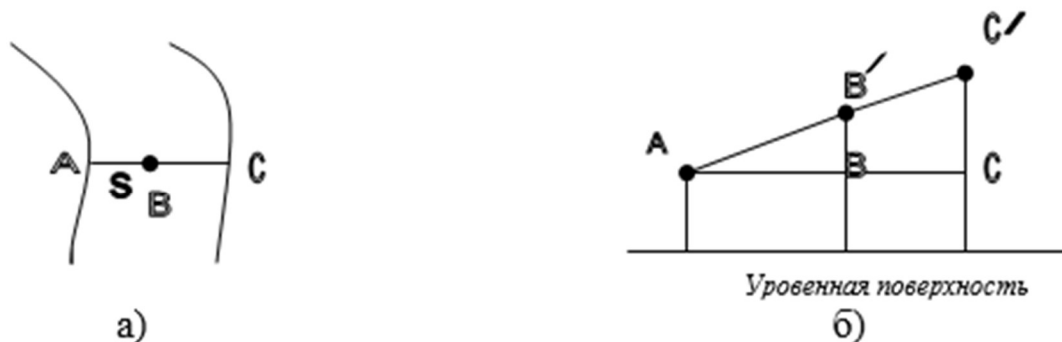


Рис. 2.25. Определение высоты точки В

Из подобия треугольников  $AC'C$  и  $AB'B$  следует

$$\frac{h}{s} = \frac{h_C}{AC} \quad (2.30)$$

но  $\frac{h_C}{AC} = i$ , поэтому  $h_{AB} = is$ . Теперь по формуле (2.29) определяем искомую высоту точки В.

Пример.  $h=2,5$  м;  $H_A=122,5$  м;  $AC=136$  м;  $s=76$  м.

$$H_B = 122,5 + \frac{2,5}{136} \cdot 76 = 122,5 + 1,40 = 123,9 \text{ м.}$$

3. *Проведение горизонталей по высотам точек.* Чтобы провести на карте (или плане) горизонтали, необходимо иметь точки с известными высотами, которые назовем пикетами. Пусть даны точки 1, 2, 3, 4 (рис.2.26), и предполагается, что вдоль линий 1-2, 1-3, 1-4, 2-3 и 3-4 местность имеет равномерный уклон. Требуется провести горизонтали внутри участка, ограниченного линиями 1-2, 2-3, 3-4, 4-5; высота сечения рельефа  $h = 1$  м.

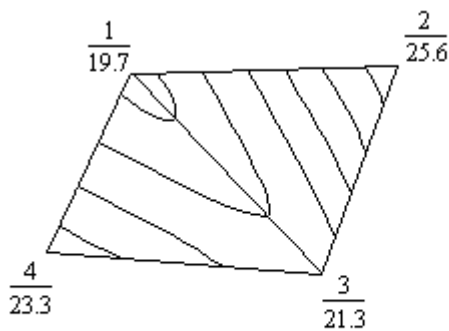


Рис. 2.26. Равный уклон местности

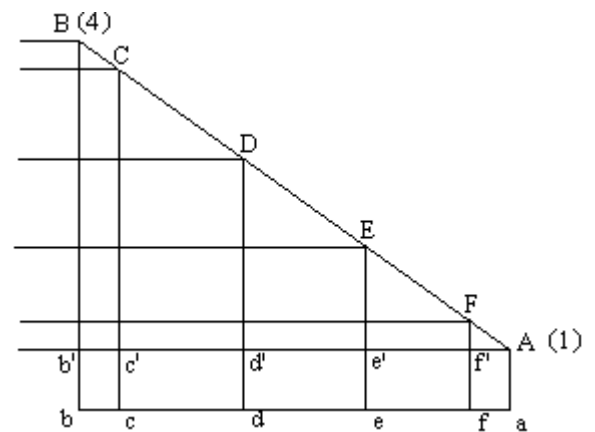


Рис. 2.27. Интерполирование горизонталей

Процесс нахождения на линии, соединяющей две точки, точек, через которые пройдут горизонтали, называется **интерполированием горизонталей**. Известны три способа интерполирования: *аналитический, графический и на глаз*.

Рассмотрим *аналитический способ*, являющийся основой для двух остальных способов. На рис.2.27 проведем линию местности, например, 4-1, и ее горизонтальную проекцию и затем покажем секущие плоскости, проходящие через 1 м по высоте. Обозначим точки линии 4-1 буквами А, F, E, D, С, В. Спроектируем эти точки пересечения секущих плоскостей с линией 4-1 на ее горизонтальную проекцию, получим точки а, f, e, d, с, b. Задача заключается в вычислении расстояний af, ae, ad, ac.

Из подобия треугольников  $FAf'$  и  $BAb'$  имеем:

$$Af'/Ab' = Ff'/Bb' , \quad (2.31)$$

откуда

$$Af' = Ab' \cdot (Ff'/Bb') \quad (2.32)$$

и

$$af = Af' = Ab' * (H_F - H_1) / (H_4 - H_1).$$

Обозначим  $Ab'$  через  $s$  и запишем окончательно:

$$af = s * \frac{(H_F - H_1)}{(H_4 - H_1)} \quad (2.33)$$

Если рис.2.27 построить в масштабе карты (плана), то отрезок  $s$  можно взять прямо с карты; высоты пикетов 1 и 4 известны, высота точки  $F$  равна высоте первой секущей плоскости выше точки  $A$ .

Аналогично можно вычислить остальные отрезки. Отложив их на линии 4-1, получим на ней искомые точки.

На отрезках 1-2, 2-3 и других таким же образом найдем точки их пересечения с горизонталями. Затем плавными линиями соединим точки с одинаковыми высотами и получим рисунок горизонталей.

Аналитический способ применяют довольно редко ввиду его большой трудоемкости. Гораздо чаще применяют графический способ, при котором используется палетка (лист прозрачной бумаги или пластика), на котором проведены параллельные или расходящиеся прямые линии. Интерполирование на глаз применяют при небольших расстояниях между точками и при малых разностях высот точек.