

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Майкопский государственный технологический университет»**

**Факультет аграрных технологий**

**Кафедра землеустройства**

# **Геодезия**

**Учебно-методическое пособие**



**Майкоп 2016**

УДК 528 (07)  
ББК 26.12  
Г–35

Печатается по решению учебно-методической комиссии по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Составитель: **Астахова И.А.**, канд. экон. наук, доцент кафедры землеустройства

**Геодезия.** Учебно-методическое пособие. – Майкоп, 2016. – 71с.

В учебно-методическом пособии изложены общие сведения по геодезии. Предназначено для студентов направления подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры».

Майкоп,  
МГТУ, 2016

# I. Общие сведения по геодезии

## 1. Предмет и задачи геодезии

Геодезия – , что в переводе с греческого означает «землеразделение» ("гео" – земля, "де" – разделять), наука об определении фигуры, размеров и гравитационного поля Земли, а так же об измерениях на её поверхности, с целью получения карт, планов и профилей местности для удовлетворения потребностей народного хозяйства.

По назначению геодезия подразделяется на ряд самостоятельных дисциплин:

Высшая геодезия – изучает форму, размеры и гравитационное поле Земли и планет Солнечной системы с помощью высокоточных геодезических, астрономических и спутниковых измерений, занимается созданием высокоточных опорных геодезических сетей.

Космическая геодезия – наука, изучающая использование результатов наблюдений искусственных и естественных спутников Земли для решения научных и научно технических задач геодезии.

Топография – рассматривает измерения, выполняемые для создания карт, планов, профилей и цифровых моделей местности сравнительно небольших участков земной поверхности. Также топография занимается построением сетей сгущения.

Фотограмметрия – дисциплина, рассматривающая законы, методы и приборы, используемые для определения взаимного положения объектов фотографирования по фотоснимкам. Фототопография – часть фотограмметрии, рассматривающая методы получения топографических планов по фотоснимкам.

Инженерная (прикладная) геодезия – изучает геодезические работы при изысканиях (исследованиях с целью использования), проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений, при разведке и добыче природных ресурсов. Инженерно-геодезические работы, имеющие прикладное значение, являются наиболее обширными.

Картография – занимается разработкой и изучением методов и процессов создания карт, планов, атласов и другой картографической продукции обширных территорий, всей поверхности Земли и других планет.

Морская геодезия занимается геодезическими работами на море и съемками шельфа.

Возможность использования искусственных спутников Земли для решения геодезических задач привела к появлению новых разделов геодезии – космической геодезии и геодезии планет.

По способу производства работ различают наземную геодезию, аэрогеодезию, космическую геодезию, подземную геодезию (маркшейдерия) и подводную геодезию.

Четко обозначенных границ между перечисленными дисциплинами нет. Так, топография включает в себя элементы высшей геодезии и картографии, инженерная геодезия использует разделы практически всех остальных геодезических дисциплин и т.д.

Среди многих задач геодезии можно выделить долговременные задачи и задачи на ближайшие годы.

К первым относятся: определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли; распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей Земли в целом; изображение участков поверхности Земли на топографических картах и планах; изучение глобальных смещений блоков Земной коры; и другие.

Ко вторым, в настоящее время, относятся: создание и внедрение геоинформационных систем; создание государственных и локальных кадастров: земельного, водного, лесного, городского и т.д.; топографо-геодезическое обеспечение делимитации (определения) и демаркации (обозначения) государственной границы России; разработка и внедрение стандартов в области цифрового картографирования; создание цифровых и электронных карт и их банков данных; разработка концепции и государственной программы повсеместного перехода на спутниковые методы автономного определения координат; создание комплексного национального атласа России; и другие.

## **2. Основные исторические этапы развития геодезии. Связь геодезии с другими науками**

Геодезия – одна из древнейших наук на Земле. Строительство выдающихся инженерных сооружений глубокой древности (каналы, дворцы, храмы, пирамиды в Египте, древние города Индии с их удивительно правильной планировкой, оросительные системы в Японии, Великая китайская стена и т.д.) было немислимо без глубокого знания основ геодезии и без наличия необходимых геодезических приборов.

В России первые геодезические работы, связанные с установлением границ земельных участков, датируются еще XI – XII вв.

Особенно большое развитие геодезические работы в России получили начиная с XVIIв. в связи с изобретением зрительной трубы с сеткой нитей и разработкой метода триангуляции.

Методы инженерной геодезии и картографии широко использовались и совершенствовались в период Петровских реформ, а дальнейшее их развитие связано с именем великого русского ученого М.В.Ломоносова, который с 1757 по 1763 годы возглавлял Географический департамент при Российской Академии наук, созданный в 1739г. В 1743г. в Географическом департаменте был создан «Атлас Российской империи» с пограничными землями.

С XVIIIв. развиваются и совершенствуются такие специальные виды съемок, как межевые, лесные, гидрографические, а с середины XIX столетия и путей сообщения.

В 1919г. создается Государственная картографо-геодезическая служба, реорганизованная впоследствии в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) Министерства геологии и охраны недр СССР.

Огромное внимание в этот период уделялось подготовке научных и производственных кадров геодезистов и картографов. Так, в 1928г. в стране был создан Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК), а также сеть вузов геодезического профиля, таких как МИГАиК и др.

Сотрудникам ЦНИИГАиК под руководством Ф.Н.Красовского были проведены фундаментальные исследования по определению формы и уточненных размеров Земли, получившие мировое признание, положенные в основу картографо-геодезических работ в СССР и ряде других стран. Принята и реализована программа государственной триангуляции.

Получило развитие отечественное приборостроение. Российскими конструкторами разработаны конструкции новых современных геодезических приборов, а отечественной промышленностью налажено производство оптических, электронных, стереофотограмметрических и лазерных приборов.

В годы первых послевоенных пятилеток в народном хозяйстве стали находить все более широкое применение методы аэросъемок, а после запуска первых искусственных спутников Земли и методы космических съемок.

В настоящее время в связи с появлением систем спутниковой навигации «GPS», позволяющих быстро и с высокой точностью определять трехмерные координаты характерных точек местности, в инженерной геодезии происходит кардинальный пересмотр технологии и методов производства инженерно-геодезических работ.

Достижения отечественной геодезии, картографии, аэросъемки, электронной, лазерной и космической геодезии позволили разработать и перейти к использованию качественно новых технологий системного автоматизированного проектирования; строительства и эксплуатации инженерных объектов.

Геодезия тесно связана с другими науками. Методы решения научных и практических задач геодезии основываются на законах математики и физики. На основе математики производится обработка результатов измерений, позволяющая получать с наибольшей достоверностью значения искомых величин. Задача изучения фигуры Земли и ее гравитационного поля решается на основе законов механики. Сведения из физики, особенно ее разделов – оптики, электроники и радиотехники, необходимы для разработки геодезических приборов и правильной их эксплуатации. Изобретение лазера привело к появлению

лазерных геодезических приборов – лазерных нивелиров и светодальномеров. Кодовые измерительные приборы с автоматической фиксацией отсчетов могли появиться только на определенном уровне развития микроэлектроники и автоматики. Что же касается информатики, то ее достижения вызвали в геодезии подлинную революцию, которая происходит сейчас на наших глазах. Геодезия связана с астрономией, геологией, геофизикой, геоморфологией, географией и другими науками. Геоморфология наука о происхождении и развитии рельефа земной поверхности необходима геодезии для правильного изображения форм рельефа на планах и картах. Без знания размеров и формы Земли невозможно создание топографических карт и решение многих практических задач на земной поверхности. Планы и карты должны быть ориентированы относительно стран света, поэтому геодезия пользуется астрономическими методами определения углов ориентирования линий местности. География помогает понять некоторые закономерности в природе и правильно отобразить их на плане.

### **3. Место геодезической службы в землеустройстве и других областях народного хозяйства**

Для государственного планирования и развития производительных сил страны необходимо изучать ее территорию в топографическом отношении. Топографические карты и планы, создаваемые геодезистами, нужны всем, кто работает или передвигается по Земле: геологам, морякам, летчикам, проектировщикам, строителям, земледельцам, лесоводам, туристам, школьникам и т.д. Особенно нужны карты армии: строительство оборонительных сооружений, стрельба по невидимым целям, использование ракетной техники, планирование военных операций, – все это без карт и других геодезических материалов просто невозможно.

Материалы геодезических работ в виде планов, карт и числовых величин (координат и высот) точек земной поверхности имеют большое применение в различных отраслях народного хозяйства. Они используются при проектировании, строительстве и эксплуатации дорог, мостов, транспортных тоннелей, аэродромов, каналов, подземных коммуникаций, воздушных сетей, зданий, сооружений и т.д.

Организация и землеустройство сельскохозяйственных предприятий, осушение и орошение земель, проведение мероприятий по борьбе с эрозией почв, работы по ведению лесного хозяйства также немыслимы без геодезии.

Землеустроительные органы занимаются проблемой рационального использования земель, ведется их систематический учет, все эти вопросы можно решить только с помощью картографо-геодезического материала.

### **4. Единицы измерений, применяемые в геодезии**

За единицу линейных и высотных измерений в геодезии принят метр:

$$1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 1000 \text{ мм} = 1\,000\,000 \text{ мкм}.$$

Единицей для измерений углов служит градус ( $^{\circ}$ ), представляющий 1/90 прямого угла, или 1/360 окружности:

$$1^{\circ} = 60'; \quad 1' = 60''.$$

Меньше распространена градусная система, в которой 1 градус составляет 1/400 окружности (сотенная система, прямой угол делят на 100). Градусная минута – 1/100 града, градусная секунда – 1/100 градусовой минуты:

$$1^g = 100^c; \quad 1^c = 100^{cc}.$$

В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерений служит гон, равный 1 граду или 54 угловым минутам. Тысячная доля гона, равная 3,24 угловых секунд, называется миллигон.

В радианной мере (отношение длины соответствующей дуги к ее радиусу) окружность длиной  $2\pi R$  содержит  $2\pi$  радиан:

$$\rho^{\circ} = 57,3^{\circ}; \quad \rho' = 3438'; \quad \rho'' = 206265''.$$

Для перевода угла из градусной меры в радианную надо разделить его значение на радиан в соответствующих единицах.

$$\alpha = \alpha^{\circ} / \rho^{\circ} = \alpha' / \rho' = \alpha'' / \rho''.$$

Единица измерения площадей кв. метр:

$$10\,000 \text{ м}^2 = 1 \text{ га (гектар)};$$
$$1\,000\,000 \text{ м}^2 = 100 \text{ га} = 1 \text{ км}^2.$$

## 5. Правила работы с округленными числами. Тригонометрические функции

Правила округления:

1. Если первая из отбрасываемых цифр (считая слева на право) меньше 5, то последняя сохраняемая цифра не меняется:

$$12,23 \approx 12,2; \quad 0,02499 \approx 0,02; \quad 8449 \approx 84 \cdot 10^2; \quad 12456 \approx 12 \cdot 10^3.$$

2. Если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) больше 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу:

$$24,6 \approx 25; \quad 0,2361 \approx 0,24; \quad 1483 \approx 15 \cdot 10^2; \quad 0,00375 \approx 0,004 \approx 4 \cdot 10^{-3}.$$

3. Если отбрасываемая часть равна 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу, если она нечетная, или оставляют без изменения, если она четная:

$$4,55 \approx 4,6; \quad 122,5 \approx 122; \quad 0,0695 \approx 0,07 \approx 70 \cdot 10^{-3}.$$

4. Необходимо знать, с какой точностью надо производить вычисления, до каких знаков производить округления. Нельзя оставлять лишние знаки, но всегда нужно сохранять необходимые.

5. Округление приближенных чисел необходимо выполнять сразу до требуемого разряда.

Тригонометрические функции.

Синусом (*sin*) острого угла прямоугольного треугольника называют отношение катета, лежащего против этого угла, к гипотенузе.

Косинусом (*cos*) называется отношение катета, прилежащего к этому углу, к гипотенузе.

Тангенсом (*tg*) называется отношение катета, лежащего против этого угла, к катету, прилежащему к этому углу.

Котангенсом (*ctg*) называется отношение катета, прилежащего к этому углу, к катету, лежащему против этого угла.

## 6. Общие правила оформления материалов

Четкость ведения записей достигается следующим образом:

1) цифры пишутся разборчиво, легко читаемо, красиво. Нельзя писать скорописью, надо выработать почерк или пользоваться специальным шрифтом;

2) числа в столбцах надо записывать так, чтобы цифры соответствующих разрядов были под цифрами тех же разрядов в записанном выше числе;

3) все результаты измерений, выполненные с одинаковой точностью, пишутся с одинаковым числом знаков, например: если длины линий измеряют с точностью до 0,01 м, то записи их длин должны быть 248,60 м и 164,30 м, а не 248,6 и 164,3 м; если углы измеряют с точностью до 0,1', то записи их величин должны быть 75°16,0' и 243°37,5', а не 75°16' и 234°37'30";

4) значение минут и секунд всегда записывают двузначным числом, например, 138°06'05" и 4°01'02", а не 138°6'5" и 4°1'2";

5) большие многозначные цифры надо писать с интервалами в целых числах и в десятичных дробях, начиная от правой руки к левой, каждые три цифры, например: 6 163 176,3; 12 198 553,0; 0,76 345; 0,001 345 и т.д.

Все результаты промежуточных вычислений надо контролировать или повторением этих вычислений, или получением их другим путем. Не проконтролировав предыдущее действие нельзя двигаться дальше.

Все материалы оформляются черной пастой. Заголовки в тексте выделяют или шрифтом, или подчеркиванием (одной или двумя линиями). Неверные записи аккуратно зачеркивают одной чертой. Грязь в записях недопустима.

Отступы при работе с листами формата А-4: слева – 3 см; справа – 1 см; снизу и сверху – 2 см. Текст пишется с одной стороны листа.

**Греческое письмо:**

*Aα* – альфа

*Hη* – эта

*Nν* – ни

*Tτ* – тау

$B\beta$ – бета	$\Theta\theta$ – тета	$\Xi\xi$ – кси	$\Upsilon\upsilon$ – и псилон
$\Gamma\gamma$ – гамма	$I\iota$ – иота	$O\omicron$ – о микрон	$\Phi\phi$ – фи
$\Delta\delta$ – дельта	$K\kappa$ – каппа	$\Pi\pi$ – пи	$\Chi\chi$ – хи
$E\varepsilon$ – э псилон	$\Lambda\lambda$ – ламбда	$\rho\rho$ – ро	$\Psi\psi$ – пси
$Z\zeta$ – дзета	$M\mu$ – ми	$\Sigma\sigma$ – сигма	$\Omega\omega$ – о мега

### Геодезический шрифт:

При заполнении ведомостей рекомендуется пользоваться геодезическим вычислительным шрифтом (рис.1). Цифры 1 и 0 пишутся посередине; 2, 4, 6 и 8 выступают чуть выше; а 3, 5, 7 и 9 чуть ниже средней линии.

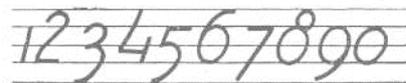


Рис.1. Геодезический вычислительный шрифт.

## II. Основные понятия геодезии

### 1. Земля и ее отображение на плоскости

#### 1.1. Понятие о физической поверхности Земли, ее форме и размерах

Земля не является правильным геометрическим телом, ее поверхность представляет собой сочетание возвышенностей и углублений. Большая часть углублений заполнена водой океанов и морей (71% занимает океан).

Поверхность суши Земли со всеми ее неровностями называют **физической**, или **топографической поверхностью**. Она очень сложна и трудно поддается математическому выражению. Поэтому для построения карт приходится проецировать ее на иную, более простую, теоретическую поверхность, которую называют **уровенной**.

**Основная уровенная поверхность** – поверхность Мирового океана (средний уровень воды в океанах), мысленно продолженная под материками. По сравнению с физической поверхностью, уровенную отличает большая сглаженность.

Основная уровенная поверхность образует общую фигуру Земли – **геоид**. Свойство поверхности геоида – в каждой своей точке она нормальна (перпендикулярна) к направлению отвесной линии, проходящей через эту точку (действие силы тяжести).

Поверхность геоида сложная и неправильная, что не дает возможности пользоваться ею при геодезических и картографических расчетах. Поэтому за математическую фигуру для Земли принимают эллипсоид вращения, наиболее приближенный к геоиду, который

ориентируют в теле Земли. Называется он – **референц – эллипсоид Ф.К. Красовского.**

В разных странах размеры земного эллипсоида несколько различаются. В России с 1946 г. для геодезических и картографических работ приняты следующие размеры:

большая полуось  $a=6\ 378\ 245$  м;  
 малая полуось  $b=6\ 356\ 863$  м;  
 полярное сжатие  $\alpha=(a-b)/a=1/298,3$ ;

В ряде случаев Землю принимают за шар с радиусом ( $R$ ).

$R=6\ 371\ 110$  м  $\approx 6\ 371,11$  км.

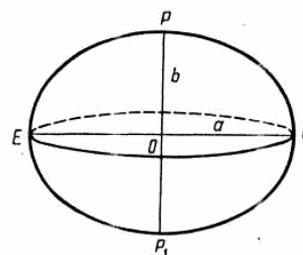


Рис.2. Земной эллипсоид.  
 EQ – экваториальная ось;  
 PP<sub>1</sub> – полярная ось.

## 1.2 Системы координат

Определение положения точки на Земной поверхности – одна из основных задач в геодезии.

**Система координат** – опорная система для определения положения точек в пространстве или на плоскостях и поверхностях относительно выбранных осей, плоскостей или поверхностей.

В геодезической практике применяется большое количество систем координат: общеземные системы, референчные системы, системы астрономических, пространственных, прямоугольных и геодезических координат, система прямоугольных координат на плоскости и т.д.

Если положение точки физической поверхности Земли определяется её проекцией на поверхность геоида, то система координат **астрономическая**; если на поверхность эллипсоида, то – **геодезическая**; если на поверхность шара, то – **географическая**.

Различие геодезических и астрономических координат точки зависит от угла между отвесной линией данной точки и нормалью к поверхности эллипсоида в этой же точке (рис.3). Этот угол называется **уклонением отвесной линии ( $\epsilon$ )**; он обычно не превышает 5". В некоторых районах Земли, называемых аномальными, уклонение отвесной линии достигает нескольких десятков секунд.



Рис.3. Уклонение отвесной линии.

При геодезических работах невысокой точности астрономические и геодезические координаты не различают; их общее название – **географические координаты** – используется довольно часто.

Рассмотрим две системы координат: пространственную и прямоугольную, они даются на топографических картах.

### 1.3 Система пространственных координат

В пространственной системе координат положение любой точки определяется тремя координатами – долготой, широтой и высотой точки.

**Долгота** ( $\lambda$  на рис.4а и  $L$  на рис.4б) двугранный угол, образованный плоскостью начального (Гринвичского) меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку.

Начальным меридианом на поверхности Земли принято считать меридиан, проходящий через центр меридианного зала старейшей в Европе астрономической обсерватории в городе Гринвиче, вблизи Лондона.

Долготы бывают восточные и западные, к западу от Гринвича – западные и к востоку – восточные. Измеряются от  $0^\circ$  (на Гринвичском меридиане) до  $180^\circ$ .

Записывают так:

$62^\circ$  в.д.;  $124^\circ$ з.д.

Линия, проходящая через точки с одинаковыми долготами, называется **меридианом**.

**Широта** ( $\varphi$  на рис.4а и  $B$  на рис.4б) угол, образованный плоскостью экватора и отвесной линией, проходящей через данную точку.

Широты бывают северные и южные. Измеряются от  $0^\circ$  (на экваторе) до  $90^\circ$  (на земных полюсах).

Записывают так:  $56^\circ$  с.ш.;  $48^\circ$  ю.ш.

Линия, проходящая через точки с одинаковыми широтами, называется **параллелью**.

**Высотой**, или **альтитудой** (от лат.), точки земной поверхности называется расстояние по вертикали от этой точки до уровенной поверхности. Числовое значение высоты точки называется ее **отметкой**.

**Абсолютной высотой** ( $H_A$ ,  $H_B$ ) точки земной поверхности называется отвесное расстояние от этой точки до уровенной поверхности Земли (рис.5). В России началом счета абсолютных высот является нуль Кронштадтского футштока (от англ. фут – единица длины и нем. Stock – палка, стержень). На местности это пластина, прикрепленная к устью моста через Обводной канал в г. Кронштадте, на которой отмечен средний уровень воды в Финском заливе.

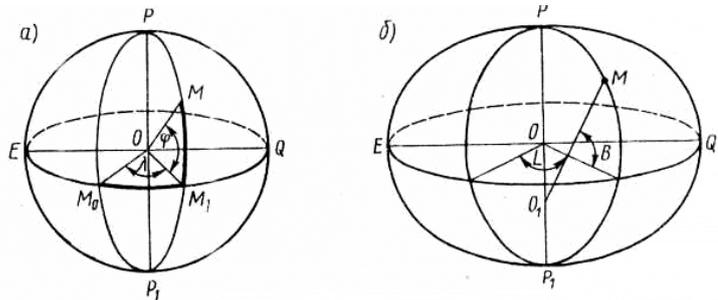


Рис.4. Система пространственных координат:  
а) географических; б) геодезических.

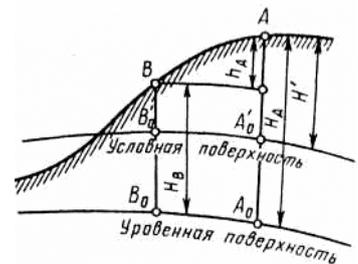


Рис.5. Высоты точек.

**Условной высотой** ( $H'_A$   $H'_B$ ) точки земной поверхности называется отвесное расстояние от этой точки до уровенной поверхности, условно принятой за исходную (нулевую).

**Относительной высотой**, или **превышением** ( $h_{BA}$ ), точки земной поверхности называется высота этой точки над другой точкой земной поверхности.

$$h_{BA} = H_B - H_A = H'_B - H'_A. \quad (1)$$

## 1.4 Система прямоугольных координат на плоскости

Выполнять геометрические вычисления на плоскости проще, чем на криволинейной поверхности эллипсоида. Поэтому осуществляют проецирование референц-эллипсоида на плоскость, результатом чего является плоскость, принятая для обработки геодезических измерений называемая **геодезической (картографической) проекцией**.

В России топографические карты строят в равноугольной поперечной цилиндрической проекции и соответствующей ей системе плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера (названа по имени немецких ученых, предложивших эту проекцию и разработавших формулы для применения ее в геодезии).

Систему Гаусса–Крюгера иногда называют **зональной**, потому что поверхность Земли делят меридианами на зоны и в каждой зоне принимается своя система координат.

Последовательность построения равноугольной поперечной цилиндрической проекции Гаусса–Крюгера:

1. Поверхность эллипсоида условно делят меридианами на  $6^\circ$ -ые зоны (для планов масштабов 1:5000 и крупнее зоны  $3^\circ$ -ые) (рис.6). Вся земную поверхность охватывает 60  $6^\circ$ -ых зон. Счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток. Первая зона ограничена меридианами с долготами  $180^\circ$  и  $174^\circ$  з.д., вторая –  $174^\circ$  и  $168^\circ$  з.д. и т.д. Средний меридиан зоны называется **осевым**. Долгота осевого меридиана любой зоны определяется по формуле:

$$L_0 = 6^\circ \cdot N - 3^\circ, \quad (2)$$

где  $N$  – номер  $6^\circ$ -ой зоны.

Если номер зоны больше 30, то из него необходимо вычесть 30:

$$L = 6^\circ \cdot (N - 30) - 3^\circ. \quad (3)$$

2. Каждую зону проецируют на

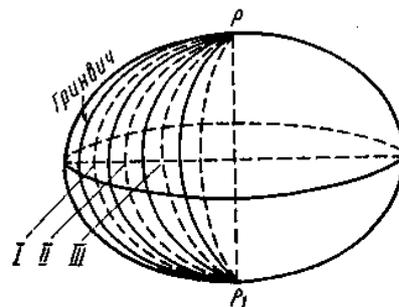


Рис.6. Деление эллипсоида на зоны.

внутреннюю боковую поверхность цилиндра (рис.7), направляющая которого (АВ, А<sub>1</sub>В<sub>1</sub>, РР<sub>1</sub>) совпадает со средним, осевым, меридианом зоны. Каждая зона имеет вид двуугольника, ограниченного двумя меридианами.

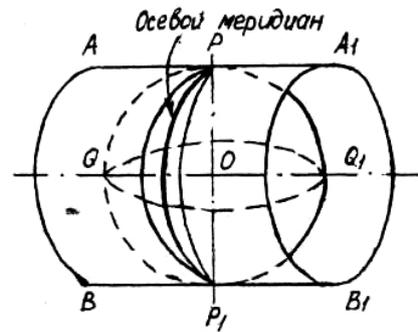


Рис.7. Проецирование зон.

3. Поверхность цилиндра разрезают по образующим (АА<sub>1</sub>, ВВ<sub>1</sub>) и разворачивают в плоскость. При этом осевой меридиан изобразится без искажений прямой РР<sub>1</sub>, его принимают за ось абсцисс ХХ; экватор QQ<sub>1</sub> также изобразится прямой, перпендикулярной к осевому меридиану, – его принимают за ось ординат УУ. Начало координат в каждой зоне в точке пересечения экватора и осевого меридиана – т.О<sub>1</sub>, О<sub>2</sub>, О<sub>3</sub>, и т.д. (рис.8.).

На топографических картах и планах прямоугольные координаты Х и У представлены прямоугольной координатой (километровой) сеткой;

4. Положительным направлением абсцисс считается направление от экватора к северу, положительным направлением ординат – направление от осевого меридиана на восток. Для всех точек на территории нашей страны абсциссы имеют положительный знак. Для того чтобы ординаты точек также были только положительными, в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км. Ширина зоны на экваторе около 670 км, т.е. крайние точки зоны удалены от осевого меридиана примерно на 335 км. Т.о. точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты меньше 500 км, а к востоку – больше 500 км (рис.9). Эти ординаты называются **преобразованными (приведенными)** –  $\bar{Y}$  :  $\bar{Y}_A = 500 \text{ км} + Y_A$ ;  $\bar{Y}_B = 500 \text{ км} + Y_B$ .

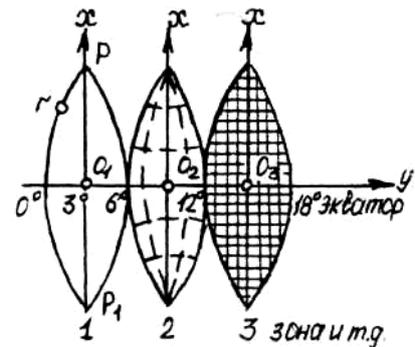


Рис.8. Зоны, развернутые в плоскости.

Для однозначного определения положения точки перед каждой приведенной ординатой ставится номер зоны.

Например, если наши точки А и В (рис.9), расположены в 11-ой зоне, то у них будут примерно такие приведенные ординаты:

$$\bar{Y}_A = 11\,611,24 \text{ км}; \quad \bar{Y}_B = 11\,319,32 \text{ км}.$$

Можно определить положение точек относительно осевого меридиана:

$$Y_A = 611,24 - 500 = +111,24 \text{ км};$$

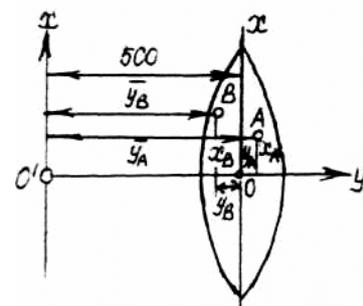


Рис.9. Прямоугольные координаты.

$$У_B = 319,32 - 500 = -180,68 \text{ км.}$$

Результаты указывают на то, что т.А расположена к востоку от осевого меридиана (т.к. знак «+») на 111,24 км, а т.В – к западу (т.к. знак «-») на 180,68 км.

Начало отсчёта плановых координат для всех карт находится в центре Круглого зала Пулковской обсерватории г. Санкт-Петербурга.

Можно использовать условную систему координат.

Система пространственных координат удобна для изучения всей физической поверхности Земли или значительных её участков. Проекция Гаусса в географическом отношении не имеет практического значения, т.к. даёт изображение земной поверхности с разрывами. Но её ценность в том, что в силу малых искажений сближает карту с планом и позволяет назначить систему плоских координат в каждой зоне, что удобно при решении инженерных задач.

## 2. Ориентирование линий

**Ориентировать линию** – значит определить ее направление относительно другого направления, принятого за исходное. Направление определяется величиной ориентирного угла, то есть, угла между начальным направлением и направлением линии.

За начальное направление принято северное направление меридианов.

### 2.1. Ориентирование линий по истинному и магнитному меридианам

**Географический (истинный) меридиан** – обобщенное понятие об астрономическом и геодезическом меридианах.

**Магнитный меридиан** проходит через полюса магнитной стрелки.

Положение географического и магнитного полюсов не совпадают, поэтому истинный и магнитный меридиан образуют угол, называемый **склонением магнитной стрелки ( $\delta$ )**.

Склонение магнитной стрелки отсчитывается от истинного (географического) меридиана (рис.10). Если магнитный меридиан восточнее истинного, то склонение восточное и имеет знак «+»;

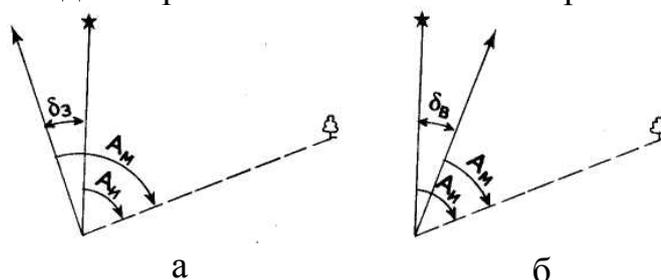


Рис.10. Склонение магнитной стрелки: а – западное; б – восточное.

если магнитный меридиан западнее истинного, то склонение западное, знак «←».

Склонение магнитной стрелки величина не постоянная, известны ее суточные, годовые и вековые изменения. Уточнённую величину магнитного склонения можно узнать на метеостанциях и по специальным картам, среднее значение приводится на топографических картах.

**Азимут** линии называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления исходного меридиана (истинного или магнитного) по ходу часовой стрелки до заданного направления.

**Истинный (географический) азимут**  $A_{и}$  отсчитывают от северного направления истинного меридиана.

**Магнитный азимут**  $A_{м}$  – от северного направления магнитного меридиана.

Азимуты измеряются от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Для определения на местности магнитных азимутов в геодезии и топографии применяют специальный геодезический компас – **буссоль**.

## 2.2. Осевой меридиан. Дирекционный угол

Так как направления истинных меридианов на плоскости не параллельны между собой, то для направления достаточно длинной линии истинные азимуты в каждой точке имеют свое значение. Это создает неудобства при геодезических вычислениях.

Линия  $KN$  (рис.11) расположена в  $6^\circ$ -ой зоне. Точки  $K$  и  $L$  расположены к западу от осевого меридиана;  $M$  и  $N$  – к востоку; а т.  $O$  – на осевом меридиане. Истинный азимут в каждой точке имеет свое значение.

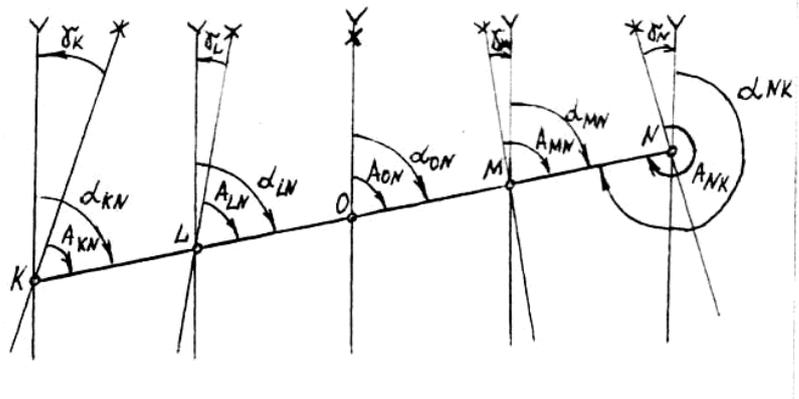


Рис.11. Азимуты и дирекционные углы линии в отдельных точках.

Из рисунка видно, что:

$$A_{KN} < A_{LN} < A_{ON} < A_{MN},$$

поэтому за начальное направление принимают направление осевого меридиана и пользуются дирекционными углами.

**Дирекционным углом** ( $\alpha$ ) называют горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана (или линии, параллельной осевому меридиану) по ходу часовой стрелки до заданного направления.

Дирекционные углы измеряются от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Дирекционный угол в разных точках прямой одинаков. На рис.11 видно, что:

$$\alpha_{KN} = \alpha_{LN} = \alpha_{ON} = \alpha_{MN} = \alpha_{NK} - 180^\circ.$$

Между направлениями истинного меридиана и линии, параллельной осевому меридиану, в каждой точке образуется угол (рис.11), который называется **сближением меридианов** ( $\gamma$ ).

Сближение меридианов отсчитывается от истинного меридиана. По мере удаления от осевого меридиана оно увеличивается. Сближение меридианов положительно для всех точек зоны, расположенных к востоку от осевого меридиана (восточное сближение), и отрицательно для всех точек зоны, расположенных к западу от осевого меридиана (западное сближение).

На рис.11 видно, что:

$$\gamma_K = A_{KN} - \alpha_{KN}.$$

Алгебраическая разность склонения магнитной стрелки и сближения меридианов называется **поправкой**:

$$П = \delta - \gamma. \quad (4)$$

На топографических картах и планах линии координатной сетки север–юг совпадают с направлением осевого меридиана. Ориентировка по отношению к другим меридианам для конкретного участка территории приводится в виде схемы за южной рамкой карты.

## 2.3. Румбы

**Румб** ( $r$ ) – острый угол, отсчитываемый от ближайшего (северного или южного) направления исходного меридиана до заданного направления.

От магнитного меридиана отсчитывается магнитный румб, от истинного – истинный (географический), от осевого – осевой или дирекционный.

Румб измеряется от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Для однозначного определения румба к его градусной мере добавляется указание стороны света. Например: СЗ:  $53^\circ$ .

Численные значения румбов называют **табличными углами**.

Обратный румб имеет градусную меру прямого румба, но обратное направление стороны света.

Связь между румбами и азимутами или дирекционными углами показана в таблице 1.

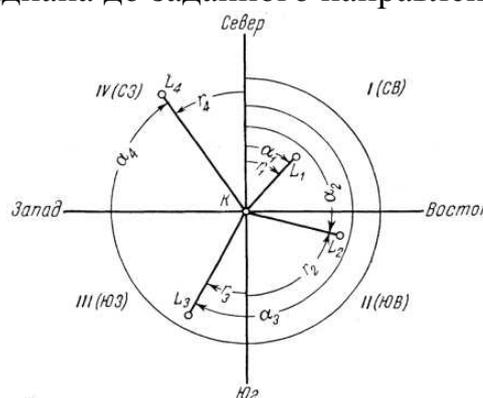


Рис.12. Румбы и дирекционные углы.

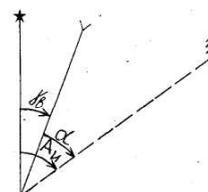
Таблица 1.

Связь между румбами и азимутами (дирекционными углами).

Азимут (дирекционный угол) линии	Название румба	Номер четверти	Вычисление румба	Вычисление азимута (дирекционного угла)	Знаки приращений	
					$\Delta X$	$\Delta Y$
$0^\circ - 90^\circ$	СВ	I	$r = A(\alpha)$	$A(\alpha) = r$	+	+
$90^\circ - 180^\circ$	ЮВ	II	$r = 180^\circ - A(\alpha)$	$A(\alpha) = 180^\circ - r$	-	+
$180^\circ - 270^\circ$	ЮЗ	III	$r = A(\alpha) - 180^\circ$	$A(\alpha) = r + 180^\circ$	-	-
$270^\circ - 360^\circ$	СЗ	IV	$r = 360^\circ - A(\alpha)$	$A(\alpha) = 360^\circ - r$	+	-

## 2.4. Решение задач по теме «Ориентирование линий»

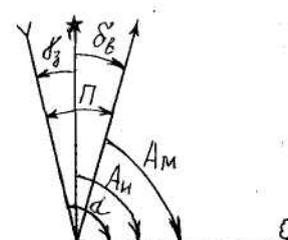
**Задача 1.** Известен дирекционный угол линии  $\alpha = 67^\circ 17'$  и сближение меридианов  $\gamma_B = 2^\circ 24'$ . Найти азимут истинный  $A_{и}$ .



Решение:  $A_{и} = \alpha + \gamma_B$ ;  
 $A_{и} = 67^\circ 17' + 2^\circ 24' = 69^\circ 41'$ .

Ответ:  $A_{и} = 69^\circ 41'$ .

**Задача 2.** Известен магнитный азимут линии  $A_M = 88^\circ 33'$ ; склонение магнитной стрелки  $\delta_B = 3^\circ 58'$ ; сближение меридианов  $\gamma_3 = 5^\circ 03'$ . Найти азимут истинный  $A_{и}$  и дирекционный угол  $\alpha$  линии.

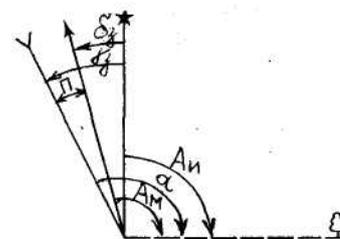


Решение:  $A_{и} = A_M + \delta_B$ ;  
 $A_{и} = 88^\circ 33' + 3^\circ 58' = 92^\circ 31'$ ;  
 $\alpha = A_{и} + \gamma_3$ ;  
 $\alpha = 92^\circ 31' + 5^\circ 03' = 97^\circ 34'$ .

Или  $\alpha = A_M + \Pi$ ;  $\Pi = \delta_B + \gamma_3$ ;  
 $\alpha = 88^\circ 33' + (3^\circ 58' + 5^\circ 03') = 97^\circ 34'$ .

Ответ:  $A_{и} = 92^\circ 31'$ ;  $\alpha = 97^\circ 34'$ .

**Задача 3.** Известен дирекционный угол линии  $\alpha = 89^\circ 05'$ ; склонение магнитной стрелки  $\delta_3 = 2^\circ 46'$ ; сближение меридианов  $\gamma_3 = 4^\circ 15'$ . Найти азимут истинный  $A_{и}$  и азимут магнитный  $A_M$ .

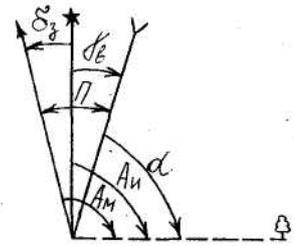


Решение:  $A_{и} = \alpha - \gamma_3$ ;  
 $A_{и} = 89^\circ 05' - 4^\circ 15' = 84^\circ 50'$ ;  
 $A_M = A_{и} + \delta_3$ ;  
 $A_M = 84^\circ 50' + 2^\circ 46' = 87^\circ 36'$ .

Или  $A_M = \alpha - \Pi$ ;  $\Pi = \gamma_3 - \delta_3$ ;  
 $A_M = 89^\circ 05' - (4^\circ 15' - 2^\circ 46') = 87^\circ 36'$ .

Ответ:  $A_{и} = 84^\circ 50'$ ;  $A_M = 87^\circ 36'$ .

Задача 4. Известен магнитный азимут линии  $A_M=93^\circ 12'$ ; склонение магнитной стрелки  $\delta_3=3^\circ 33'$ ; сближение меридианов  $\gamma_B=2^\circ 47'$ . Найти азимут истинный  $A_I$  и дирекционный угол  $\alpha$  линии.

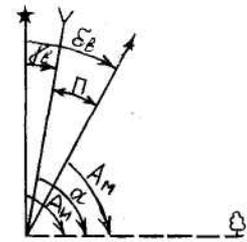


Решение:  $A_I = A_M - \delta_3$ ;  
 $A_I = 93^\circ 12' - 3^\circ 33' = 89^\circ 39'$ ;  
 $\alpha = A_I - \gamma_B$ ;  
 $\alpha = 89^\circ 39' - 2^\circ 47' = 86^\circ 52'$ .

Или  $\alpha = A_M - \Pi$ ;  $\Pi = \delta_3 + \gamma_B$ ;  
 $\alpha = 93^\circ 12' - (3^\circ 33' + 2^\circ 47') = 86^\circ 52'$ .

Ответ:  $A_I = 89^\circ 39'$ ;  $\alpha = 86^\circ 52'$ .

Задача 5. Известен магнитный азимут линии  $A_M=91^\circ 41'$ ; склонение магнитной стрелки  $\delta_B=4^\circ 16'$ ; сближение меридианов  $\gamma_B=1^\circ 57'$ . Найти азимут истинный  $A_I$  и дирекционный угол  $\alpha$  линии.



Решение:  $A_I = A_M + \delta_B$ ;  
 $A_I = 91^\circ 41' + 4^\circ 16' = 95^\circ 57'$ ;  
 $\alpha = A_I - \gamma_B$ ;  
 $\alpha = 95^\circ 57' - 1^\circ 57' = 94^\circ 00'$ .

Или  $\alpha = A_M + \Pi$ ;  $\Pi = \delta_B - \gamma_B$ ;  
 $\alpha = 91^\circ 41' + (4^\circ 16' - 1^\circ 57') = 94^\circ 00'$ .

Ответ:  $A_I = 95^\circ 57'$ ;  $\alpha = 94^\circ 00'$ .

Задача 6. По дирекционным углам линий ( $\alpha$ ) определить румбы ( $r$ ):

$\alpha = 157^\circ 48'$ ;  $r_{ЮВ} = 180^\circ - \alpha$ ;  $r_{ЮВ} = 180^\circ - 157^\circ 48' = 22^\circ 12'$ ;  
 $\alpha = 203^\circ 01'$ ;  $r_{ЮЗ} = \alpha - 180^\circ$ ;  $r_{ЮЗ} = 203^\circ 01' - 180^\circ = 23^\circ 01'$ ;  
 $\alpha = 307^\circ 43'$ ;  $r_{СЗ} = 360^\circ - \alpha$ ;  $r_{СЗ} = 360^\circ - 307^\circ 43' = 52^\circ 17'$ .

Задача 7. По румбам ( $r$ ) определить дирекционные углы линий ( $\alpha$ ):

$r_{ЮЗ} = 38^\circ 32'$ ;  $\alpha = r_{ЮЗ} + 180^\circ$ ;  $\alpha = 38^\circ 32' + 180^\circ = 218^\circ 32'$ ;  
 $r_{ЮВ} = 9^\circ 15'$ ;  $\alpha = 180^\circ - r_{ЮВ}$ ;  $\alpha = 180^\circ - 9^\circ 15' = 170^\circ 45'$ ;  
 $r_{СЗ} = 79^\circ 55'$ ;  $\alpha = 360^\circ - r_{СЗ}$ ;  $\alpha = 360^\circ - 79^\circ 55' = 280^\circ 05'$ ;  
 $r_{СВ} = 65^\circ 43'$ ;  $\alpha = r_{СВ}$ ;  $\alpha = 65^\circ 43'$ .

### 3. Основные стандартные геодезические задачи

#### 3.1. Прямая геодезическая задача (ПГЗ)

Дана линия АВ. Известны координаты начальной точки А( $X_A$ ;  $Y_A$ ), длина линии  $d$  и дирекционный угол линии  $\alpha$ . Надо найти координаты конечной точки В( $X_B$ ;  $Y_B$ ) (рис.13).

Решение:

$$X_B - X_A = \Delta X_{AB}; \quad Y_B - Y_A = \Delta Y_{AB}, \quad (5)$$

где  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  – приращения координат.

Значит:

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB}; \quad Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB}. \quad (6)$$

Из прямоугольного треугольника ABC следует, что:

$$\Delta X_{AB} = d \cdot \cos \alpha; \quad \Delta Y_{AB} = d \cdot \sin \alpha.$$

Следовательно:

$$X_B = X_A + d \cdot \cos \alpha; \quad Y_B = Y_A + d \cdot \sin \alpha.$$

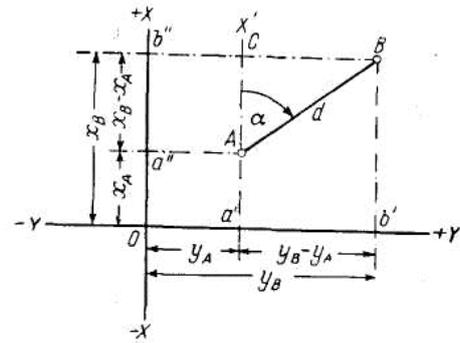


Рис.13. Схема к ПГЗ и ОГЗ.

### Формулы ПГЗ:

$$\Delta x = d \cdot \cos \alpha; \quad \Delta y = d \cdot \sin \alpha. \quad (7)$$

Задачу можно решить, используя вместо дирекционного угла румб. Ход решения тот же, только знаки приращений проставляют по наименованию румба.

## 3.2. Обратная геодезическая задача (ОГЗ)

Дана линия АВ. Известны координаты начальной точки А( $X_A$ ;  $Y_A$ ) и координаты конечной точки В( $X_B$ ;  $Y_B$ ). Надо найти длину линии  $d$  и дирекционный угол линии  $\alpha$  (рис.13).

Решение:

$$X_B - X_A = \Delta X_{AB}; \quad Y_B - Y_A = \Delta Y_{AB},$$

где  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  – приращения координат.

Из прямоугольного треугольника следует, что:

$$d = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}}; \quad \alpha_{AB} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}}.$$

### Формулы ОГЗ:

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}; \quad (8)$$

Задачу можно решить и так:

1. По знакам приращений определяют наименование румба.
2.  $\operatorname{tgr}_{AB} = \frac{|\Delta Y_{AB}|}{|\Delta X_{AB}|}; \quad r_{AB} = \operatorname{arctg} \frac{|\Delta Y_{AB}|}{|\Delta X_{AB}|}. \quad (9)$
3. От румба переходят к дирекционному углу.

## 3.3. Передача дирекционных углов

Имеется два направления ВС и CD и угол поворота между ними в точке С.

Известен дирекционный угол начального направления ВС –  $\alpha_{BC}$  и измеренный правый  $\beta_{ПР}$  или левый  $\beta_{Л}$  горизонтальный угол в точке С. Необходимо найти дирекционный угол конечного направления CD –  $\alpha_{CD}$  (рис.14).

Проведем через точки В и С направления, параллельные осевому меридиану зоны и покажем на рисунке дирекционные углы  $\alpha_{BC}$  и  $\alpha_{CD}$ . Продолжим линию ВС и покажем на ее продолжении угол  $\alpha_{BC}$ .

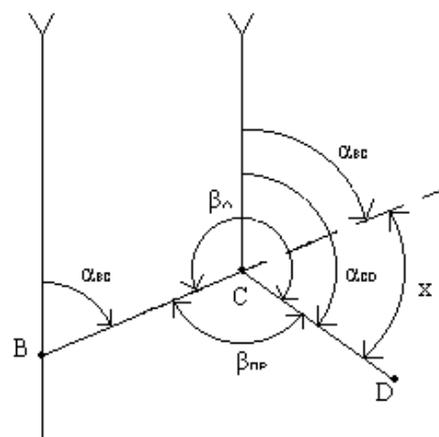


Рис.14. Схема к передаче дирекционных углов.

Из рис.14 видно, что  $\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + x$ , а  $x = 180^\circ - \beta_{ПР}$  или  $x = \beta_{Л} - 180^\circ$ , тогда:

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + 180^\circ - \beta_{ПР};$$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} - 180^\circ + \beta_{Л}.$$

Таким образом, дирекционный угол последующего направления равен дирекционному углу начального направления, измененному на  $180^\circ$ , минус правый или плюс левый горизонтальный угол между этими направлениями.

#### Формулы передачи дирекционных углов:

$$\alpha_{кон} = \alpha_{нач} + 180^\circ - \beta_{ПР}; \quad \alpha_{кон} = \alpha_{нач} - 180^\circ + \beta_{Л}. \quad (10)$$

Если при вычислениях дирекционный угол получается отрицательным, к нему прибавляют  $360^\circ$ ; если он получается больше  $360^\circ$ , то из него вычитают  $360^\circ$ .

### 3.4. Решение задач по теме «Основные стандартные геодезические задачи»

Задача 1. Известны координаты точки А(1 563,76; 2 763,54), дирекционный угол  $\alpha_{AB} = 134^\circ 11'$ , и горизонтальное проложение  $d_{AB} = 897,86$  м. Вычислить координаты точки В.

Решение:

При решении используем формулы ПГЗ:

$$\Delta X_{AB} = d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}; \quad \Delta X_{AB} = 897,86 \cdot \cos 134^\circ 11' = -625,77 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{AB} = d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}; \quad \Delta Y_{AB} = 897,86 \cdot \sin 134^\circ 11' = +643,87 \text{ м};$$

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB}; \quad Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB};$$

$$X_B = 1\,563,76 - 625,77 = 937,99 \text{ м}; \quad Y_B = 2\,763,54 + 643,87 = 3\,407,41 \text{ м}.$$

Ответ: В (937,99; 3 407,41).

Задача 2. Известны координаты точек А(3 086,48;1 024,11) и В(1 597,36;2 981,15). Найти расстояние между этими точками и дирекционный угол линии АВ.

Решение:

При решении используем формулы ОГЗ:

$$\Delta X_{AB}=X_B-X_A; \quad \Delta X_{AB}=1\,597,36-3\,086,48=-1489,12 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{AB}=Y_B-Y_A; \quad \Delta Y_{AB}=2\,981,15-1\,024,11=+1957,04 \text{ м}.$$

$$d=\sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}; \quad d=\sqrt{1489,12^2 + 1957,04^2}=2\,459,16 \text{ м};$$

Т.к.  $\Delta X_{AB}$  получилось со знаком «-», то удобнее сначала вычислить румб направления, а потом по румбу найти дирекционный угол.

$$\text{tg}r_{AB}=\frac{|\Delta Y_{AB}|}{|\Delta X_{AB}|}; \quad r_{AB}=\text{arctg}(1\,957,04/1\,489,12)=52^\circ 43'56''.$$

По знакам приращений определяем наименование румба – ЮВ и переходим к дирекционному углу:

$$r_{ЮВ}=52^\circ 43'56''; \quad \alpha=180^\circ-r_{ЮВ};$$

$$\alpha_{AB}=180^\circ-52^\circ 43'56''=127^\circ 16'04''.$$

Ответ:  $d_{AB}=2\,459,16 \text{ м}; \quad \alpha_{AB}=127^\circ 16'04''.$

Задача 3. Известен дирекционный угол начального направления ВС –  $\alpha_{ВС}=307^\circ 20'53''$  и измеренный правый горизонтальный угол в точке С  $\beta_{ПР}=78^\circ 43'24''$ . Необходимо найти дирекционный угол конечного направления CD –  $\alpha_{CD}$ .

Решение:

Используем формулу передачи дирекционных углов:

$$\alpha_{\text{кон}}=\alpha_{\text{нач}}+180^\circ-\beta_{\text{ПР}};$$

$$\alpha_{CD}=\alpha_{BC}+180^\circ-\beta_{\text{ПР}};$$

$$\alpha_{CD}=307^\circ 20'53''+180^\circ-78^\circ 43'24''=48^\circ 37'29''.$$

Ответ:  $\alpha_{CD}=48^\circ 37'29''.$

Задача 4. Известен румб линии АВ – ЮВ:34°18', румб линии ВС – ЮЗ:65°27'. Найти горизонтальный угол  $\beta$ , лежащий слева по ходу.

Решение:

1. Вычисляем дирекционные углы направлений:

$$\text{АВ: } r_{ЮВ}=34^\circ 18'; \quad \alpha=180^\circ-r_{ЮВ}; \quad \alpha_{AB}=180^\circ-34^\circ 18'=145^\circ 42';$$

$$\text{ВС: } r_{ЮЗ}=65^\circ 27'; \quad \alpha=r_{ЮЗ}+180^\circ; \quad \alpha_{BC}=65^\circ 27'+180^\circ=245^\circ 27'.$$

2. По формуле передачи дирекционных углов вычисляем горизонтальный угол:

$$\alpha_{\text{кон}}=\alpha_{\text{нач}}-180^\circ+\beta_{\text{ЛЕВ}}; \quad \alpha_{BC}=\alpha_{AB}-180^\circ+\beta_{\text{ЛЕВ}};$$

$$\alpha_{BC}-\alpha_{AB}+180^\circ=\beta_{\text{ЛЕВ}};$$

$$\beta_{\text{ЛЕВ}}=245^\circ 27'-145^\circ 42'+180^\circ=279^\circ 45'.$$

Ответ:  $\beta_{\text{ЛЕВ}}=279^\circ 45'.$

#### 4. Карта, план, профиль

## 4.1. Методы проекций в геодезии

Для изображения земной поверхности на плоскости применяют специальные **картографические проекции**, которые строят по определенным математическим правилам.

Бывают равноугольные, равновеликие, произвольные проекции. Равноугольная проекция (подобная) – используется для крупномасштабных карт. Равновеликая проекция (равноплощадная) – используется для политических карт (обзорных, средне- и мелкомасштабных). В произвольной проекции искажение допускается по наименее интересующей характеристике. Способ проецирования выбирают в зависимости от назначения карты и допускаемых вида и величин искажений.

К простейшим проекциям, используемым в геодезии, относятся ортогональная и центральная проекции.

При **ортогональной проекции** линии проецирования перпендикулярны плоскости проекции (рис.15а). Линия  $ab$  является проекцией наклонной линии  $AB$ , т.е. ее **горизонтальным проложением**. Многоугольник  $abcde$  является ортогональной проекцией многоугольника  $ABCDE$ .

При **центральной проекции** проектирование выполняют линиями, исходящими из одной точки (рис.15б), которая называется *центром проекции*, на рис.2.15б это точка  $O$ .

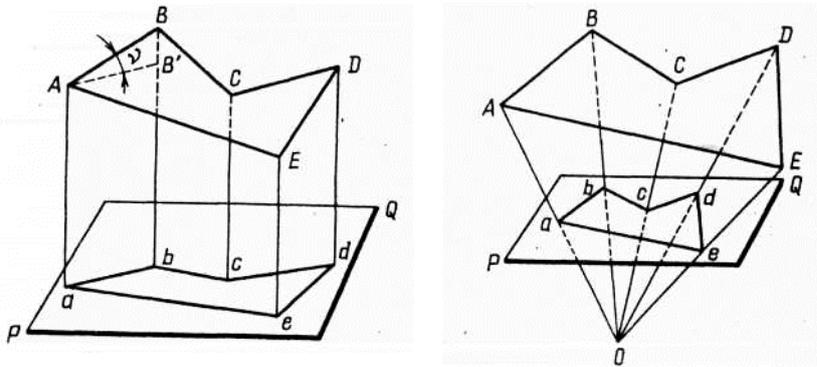


Рис.15. а) ортогональная проекция; б) центральная проекция.

## 4.2. Понятие о карте, плане, профиле

**Карта** – уменьшенное и искаженное за кривизну Земли изображение значительных территорий Земной поверхности на плоскости, построенное в определенной картографической проекции.

Карты принято подразделять по содержанию и масштабу.

По содержанию карты подразделяются на универсальные и специализированные.

К *универсальным* относятся карты общегосударственного картографирования. Это карты многоцелевого назначения, поэтому на них отображают все элементы местности: населенные пункты, гидрография и т.д.

*Специализированные* карты создаются для решения конкретных задач отдельной отрасли, на них выборочно показывают ограниченный круг элементов (карты морские, авиационные, почвенные, геологические и многие другие сравнительно узкого назначения).

По масштабам карты условно делят на три вида:

*мелкомасштабные* (мельче 1:1 000 000) – это карты обзорного характера (географические) и в геодезии практически не применяются;

*среднемасштабные* (1:1 000 000 – 1:200 000) – обзорно-топографические карты;

*крупномасштабные* (1:100 000 и крупнее) – топографические карты (издаются в виде отдельных листов размером примерно 40x40 см).

Принятый в РФ масштабный ряд заканчивается масштабами 1:5 000; 1:2 000; 1:1 000; 1:500.

**План** – уменьшенное картографическое изображение на плоскости в ортогональной проекции ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна Земли не учитывается (примерно 20x20 км).

Планы принято подразделять по содержанию и масштабу.

Если на плане изображены только объекты местности, то такой план называют *контурным (ситуационным)*. *Ситуация* – совокупность объектов местности. Если дополнительно на плане отображен рельеф, то такой план называют *топографическим*.

Стандартные масштабы планов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500.

#### Отличия карты и плана:

Карта	План
1. Картографическая сетка, образованная географическими меридианами и параллелями.	1. Километровая сетка, образованная линиями, параллельными осевому меридиану и экватору.
2. Установленный для карты главный масштаб соблюдается лишь по одному направлению (меридиану или параллели), в остальных точках карты масштабы отличаются и называются <i>частными</i> .	2. Масштаб в пределах плана постоянен во всех направлениях.
3. Карты выполняют в масштабах: 1:10 000; 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000; 1:200 000 и мельче.	3. Планы строят в масштабах: 1:100; 1:500; 1:1 000; 1:2 000; 1:5 000 и реже 1:10 000.

**Профиль местности** – уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Как правило

разрез местности представляет собой кривую линию  $A, B, C \dots G$  (рис 16), а на профиле она строится в виде ломаной линии  $abc \dots q$ .

Для выявления характерных особенностей рельефа профиль строится в различных масштабах по вертикали (высоты, превышение) и горизонтали (расстояния между точками).

Как правило, вертикальный масштаб в 10 раз крупнее горизонтального. Профиль практически никогда не строится от отметок равных 0, а только от условного горизонта, который изображают прямой линией.

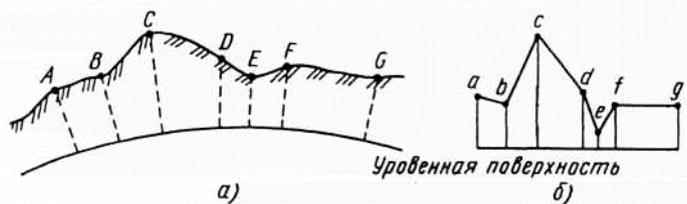


Рис.16. Разрез (а) и профиль (б) местности.

### 4.3. Масштабы и их точность

**Масштаб** – отношение длины линии на плане или карте ( $s$ ) к горизонтальному проложению этой линии на местности ( $S$ ).

**Масштаб** – степень уменьшения горизонтального проложения линии на местности ( $S$ ), при изображении ее на плане или карте ( $s$ ).

$$1 : M = s : S.$$

Масштабы бывают численные, именованные и графические.

**Численный масштаб** – выражается дробью, числитель которой равен 1, а знаменатель показывает степень уменьшения линии. Его записывают, например, так: «1:500». Это значит, что в 1 см на плане (карте) содержится 500 см на местности (5 м).

Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем крупнее масштаб.

На топографических картах численный масштаб подписывается внизу листа карты.

**Именованный масштаб** – пояснение, указывающее соотношение длин линий на плане (карте) и на местности. Его записывают так: «в 1 см – 100 м». Эта запись соответствует масштабу 1:10 000 (в 1 см плана (карты) 10 000 см местности).

**Графический масштаб** бывает линейный и поперечный.

1. Линейный масштаб – графическое изображение численного масштаба в виде прямой линии, разделенной на равные отрезки, соответствующие «круглым» десятичным числам расстояний местности.

Линейный масштаб подписывают в соответствии с численным масштабом карты. Он всегда вычерчивается за южной стороной рамки

листа топографической карты. Его используют для измерения с небольшой точностью длин отрезков на плане (карте).

Порядок построения линейного масштаба (рис.17):

1. Проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок постоянной длины, называемый **основанием масштаба**. При длине основания 2 см линейный масштаб называется **нормальным**;

2. У конца первого отрезка ставится нуль. Вправо от нуля подписывают несколько оснований;

3. Влево от нуля подписывают одно основание масштаба и делят его на 10 или 5 равных частей, называемых **наименьшими делениями** линейного масштаба;

4. Параллельно основной прямой проводят еще одну прямую и между ними прочерчивают короткие штрихи.



Рис.17. Линейный масштаб.

Чтобы измерить длину линии на карте с помощью линейного масштаба, фиксируют ее раствором циркуля-измерителя. Затем правую иглу ставят на какое-либо деление правее нуля так, чтобы левая игла находилась внутри первого основания. Считают число целых делений (оснований масштаба) и число наименьших делений между правой и левой иглами циркуля-измерителя. Суммируют их, и определяют длину линии.

Так как доли наименьшего деления линейного масштаба отсчитываются «на глаз», то это понижает точность.

2. Поперечный масштаб применяют для более точных измерений длин линий на планах и картах.

Порядок построения поперечного масштаба (рис.18):

1. Проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок постоянной длины, называемый **основанием масштаба**. Если основание масштаба равно 2 см, то масштаб называется **нормальным**;

2. Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры к этой прямой;

3. На перпендикулярах откладывают 10 или 5 равных частей и через полученные точки проводят линии параллельные основанию;

4. Крайнее левое основание делят на 10 или 5 равных частей. Точки соединяют под наклоном; эти линии называют **трансверсалями**;

5. Если на левом основании и на параллельных линиях откладывают по 10 равных частей, то масштаб называется **сотенным**;

6. Оцифровывают масштаб.

Теория поперечного масштаба заключается в выводе формулы цены его наименьшего деления (на рис.18 –  $a_1b_1$ ). У сотенного масштаба цена наименьшего деления равна одной сотой доле основания.

Поперечным масштабом пользуются следующим образом:

1. Длину линии на карте фиксируют раствором циркуля-измерителя;
2. Откладывают на нижней линии поперечного масштаба замер длины таким образом, чтобы правая игла циркуля-измерителя была на целом делении основания масштаба, а левая заходила за 0;



Рис.18. Поперечный масштаб.

3. Если левая игла попадает между десятками делениями левого основания, то обе иглы циркуля-измерителя поднимают вверх, пока левая игла не попадет на трансверсаль. При этом следят, чтобы иглы находились на одной горизонтальной линии;

4. Длина измеряемой линии складывается 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;

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

На рис.18 показаны отложенные расстояния:

- расстояние TU отложено неверно;
- расстояние PQ равно двум целым основаниям, умноженным на цену основания, плюс девять делений левого основания, умноженных на цену деления левого основания, плюс пять делений вверх по трансверсали, умноженных на цену наименьшего деления масштаба. Если принять, что данный поперечный масштаб построен для численного масштаба 1:2 000, то получаем: цена основания равна 40 м, цена деления левого основания равна 4 м, цена наименьшего деления масштаба равна 0,4 м. Значит  $PQ=2 \cdot 40 \text{ м} + 9 \cdot 4 \text{ м} + 5 \cdot 0,4 \text{ м} = 118 \text{ м}$ .
- расстояние RS равно трем целым основаниям, умноженным на цену основания, плюс пять делений левого основания, умноженных на цену деления левого основания, плюс семь делений вверх по трансверсали, умноженных на цену наименьшего деления масштаба. Если принять, что

данный поперечный масштаб построен для численного масштаба 1:5 000, то получаем: цена основания равна 100 м, цена деления левого основания равна 10 м, цена наименьшего деления масштаба равна 1 м. Значит  $RS=3 \cdot 100 \text{ м} + 5 \cdot 10 \text{ м} + 7 \cdot 1 \text{ м} = 357 \text{ м}$ .

### **Точность масштаба.**

Точность измерений по картам и точность графических построений на бумаге связаны как с техническими возможностями измерений, так и с разрешающей способностью человеческого зрения. Точность построений на бумаге (**графическую точность**) принято считать равной 0,2 мм. Разрешающая способность нормального зрения близка к 0,1 мм.

**Точность масштаба** – длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая на карте отрезку 0,1 мм. 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.

Так, для плана масштаба 1:5 000 точность масштаба будет равна 0,5 м; 1:10 000 – 1 м; 1:25 000 – 2,5 м; 1:1 000 – 0,1 м.

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.

## **4.4. Решение задач по теме «Масштабы и их точность»**

Задача 1. На плане масштаба 1:1 000 измерено расстояние  $d=5,45$  см. Определить длину этой линии на местности  $D$ .

Решение:

При данном масштабе в 1 см плана 1000 см или 10 м местности. Значит  $D=10 \cdot 5,45=54,5$  м.

Ответ:  $D=54,5$  м.

Задача 2. На местности измерили длину линии  $S=178,45$  м. Определить длину изображающего ее отрезка  $s$  на плане масштаба 1:5 000.

Решение:

При данном масштабе в 1 см плана 5000 см или 50 м местности. Значит  $s=178,45/50=3,57$  см.

Ответ:  $s=3,57$  см.

Задача 3. Выполнить сравнение численных масштабов и определить их точность: 1: 10 000; 1: 50 000; 1: 2 000.

Решение:

Из приведенных масштабов самый крупный – 1:2 000; самый мелкий – 1:50 000.

Точность масштаба 1:10 000 равна 1 м; 1:50 000 – 5 м; 1:2 000 – 0,2 м.

**Задача 4.** Построить и оцифровать поперечный масштаб для численного масштаба 1:25 000. Отложить на нем расстояния: 875 м и 1130 м.

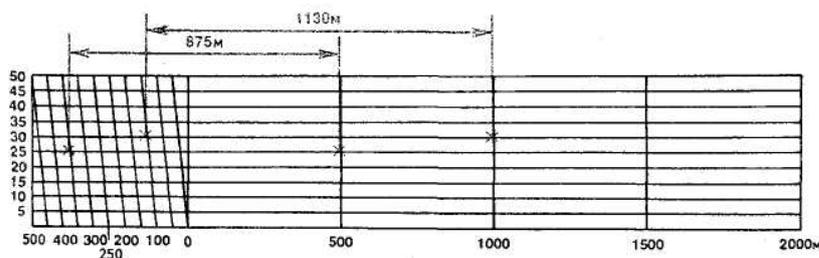
Решение:

Поперечный масштаб строим в следующем порядке:

1. Проводим прямую линию и несколько раз подряд откладываем основание масштаба равное 2 см. Из полученных точек восстанавливаем перпендикуляры к этой прямой и откладываем на них 10 равных частей по 2 мм. Через полученные точки проводим линии параллельные основанию;

2. Крайнее левое основание делим на 10 равных частей по 2 мм. Точки соединяем под наклоном;

3. Оцифровываем масштаб: основание равно 500 м, одно деление левого основания равно 50 м, цена наименьшего деления масштаба – 5 м.



4. Откладываем расстояние 875 м. Это получается одно целое основание (500 м), плюс семь делений левого основания (350 м), плюс пять делений вверх по трансверсали (25 м).

5. Откладываем расстояние 1130 м. Это получается два целых основания (1000 м), плюс два деления левого основания (100 м), плюс шесть делений вверх по трансверсали (30 м).

#### 4.5. Разграфка и номенклатура карт и планов

Для удобства издания и практического пользования топографическую карту большой территории делят на листы, объединенные единой системой разграфки и номенклатуры.

**Разграфка** – схема расположения отдельных листов многолистной карты.

**Номенклатура** – система обозначения отдельных листов многолистной карты.

В нашей стране принята международная система разграфки и номенклатуры топографических карт. Ее основой является лист карты масштаба 1:1 000 000. Разграфка на листы этой карты производится по

широте через  $4^\circ$  и по долготе через  $6^\circ$ . Каждый лист занимает только ему принадлежащее место.

Четырехградусные полосы между двумя параллелями называют **рядами**, их обозначают заглавными буквами латинского алфавита от А до V от экватора к северу и к югу. Полных рядов в каждом полушарии 22.

Шестиградусные полосы (двуугольники) между двумя меридианами называются **колоннами**, их нумеруют арабскими цифрами с запада на восток. Колонна №1 ограничена меридианами  $180^\circ$  и  $174^\circ$  з.д., №2 –  $174^\circ$  и  $168^\circ$  з.д. Таким образом, Гринвичский меридиан ( $0^\circ$ ) разграничивает 30 и 31 колонны. Всю земную поверхность охватывают 60 колонн.

Номенклатура листа миллионной карты складывается из буквы ряда и номера колонны. Например, трапеция, заключенная между параллелями  $52^\circ$  и  $56^\circ$  с.ш. и между меридианами  $36^\circ$  и  $42^\circ$  в.д. будет иметь номенклатуру N-37.

По мере приближения к полюсам колонны и, следовательно, трапеции заметно сужаются. Для удобства пользования севернее 60-й параллели листы карт издаются сдвоенными по долготе, севернее 76-й параллели – счетверенными.

С укрупнением численного масштаба в 2 раза площадь изображения увеличивается в 4 раза. Вследствие этого невозможно показать на одном стандартном листе ту же территорию в более крупном масштабе.

Разграфка листов карт последующих более крупных масштабов, строится так, что каждому листу карты масштаба 1:1 000 000 соответствует целое число листов этих карт. Их номенклатуры образованы номенклатурой соответствующего листа миллионной карты с прибавлением русских букв и римских или арабских цифр.

Лист карты одного масштаба полностью покрывается листами карты другого масштаба.

Листы карты масштаба 1:500 000 получают делением листа карты миллионного масштаба на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа –  $3^\circ$  по долготе и  $2^\circ$  по широте. 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 –  $1^\circ$  по долготе и  $40'$  по широте. 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 –  $30'$  по долготе и  $20'$  по широте. Номенклатуру листа карты масштаба 1:100 000 получают, добавляя к номенклатуре миллионного листа слева числа от 1 до 144, например, N-37-144.

Листы карты масштаба 1:50 000 получают делением листа масштаба 1:100 000 на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа – 15' по долготе и 10' по широте. 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" по долготе и 5' по широте. 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" по долготе и 2'30" по широте. 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.

#### Разграфка и номенклатура крупномасштабных планов.

Для планов масштабов 1:5 000 и 1:2 000, создаваемых на участке незастроенной территории площадью более 20 км<sup>2</sup>, в основу разграфки положен лист карты масштаба 1:100 000, т.е. применяется государственная система разграфки и номенклатуры. Листы планов создаются в трехградусных зонах, сетка прямоугольных координат строится в виде квадратов 10х10 см.

Листы планов масштаба 1:5 000 получают делением листа масштаба 1:100 000 на 256 частей меридианами и параллелями. Размеры листа – 1'52,5" по долготе и 1'15" по широте. 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" по долготе и 25" по широте. 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).

Для топографических планов, создаваемых на территории городов и на участки незастроенной территории площадью менее 20 км<sup>2</sup>, применяются прямоугольная разграфка. За ее основу принимается лист плана масштаба 1:5 000.

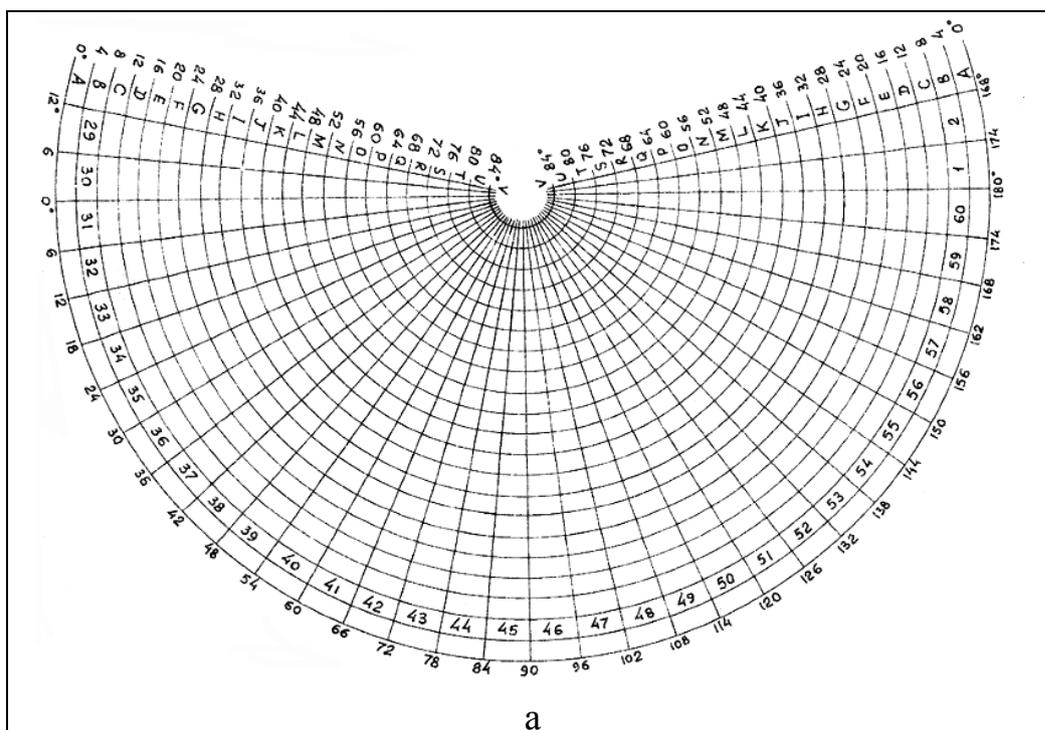
Лист плана масштаба 1:5 000 делится на 4 части и получают листы плана масштаба 1:2 000, которые обозначаются русскими заглавными буквами, например, 5–Г. Лист плана масштаба 1:2 000 делится на 4 листа масштаба 1:1 000 или на 16 листов масштаба 1:500. Листы плана масштаба

1:1 000 обозначаются римскими цифрами от I до IV, например, 5–Г–IV; листы плана масштаба 1:500 обозначаются арабскими числами от 1 до 16, например, 5–Г–16.

Размеры листа плана масштаба 1:5 000 – 40x40 см; размеры листа плана масштабов 1:2 000, 1:1 000, 1:500 – 50x50 см.

На одном листе плана масштаба 1:5 000 изображается участок местности площадью 4 км<sup>2</sup> (400 га), на листе плана масштаба 1:2000 – 1 км<sup>2</sup> (100 га), на листе плана масштаба 1:1000 – 25 га, на листе плана масштаба 1:500 – 6,25 га.

Смотри рис.19 и табл.2.



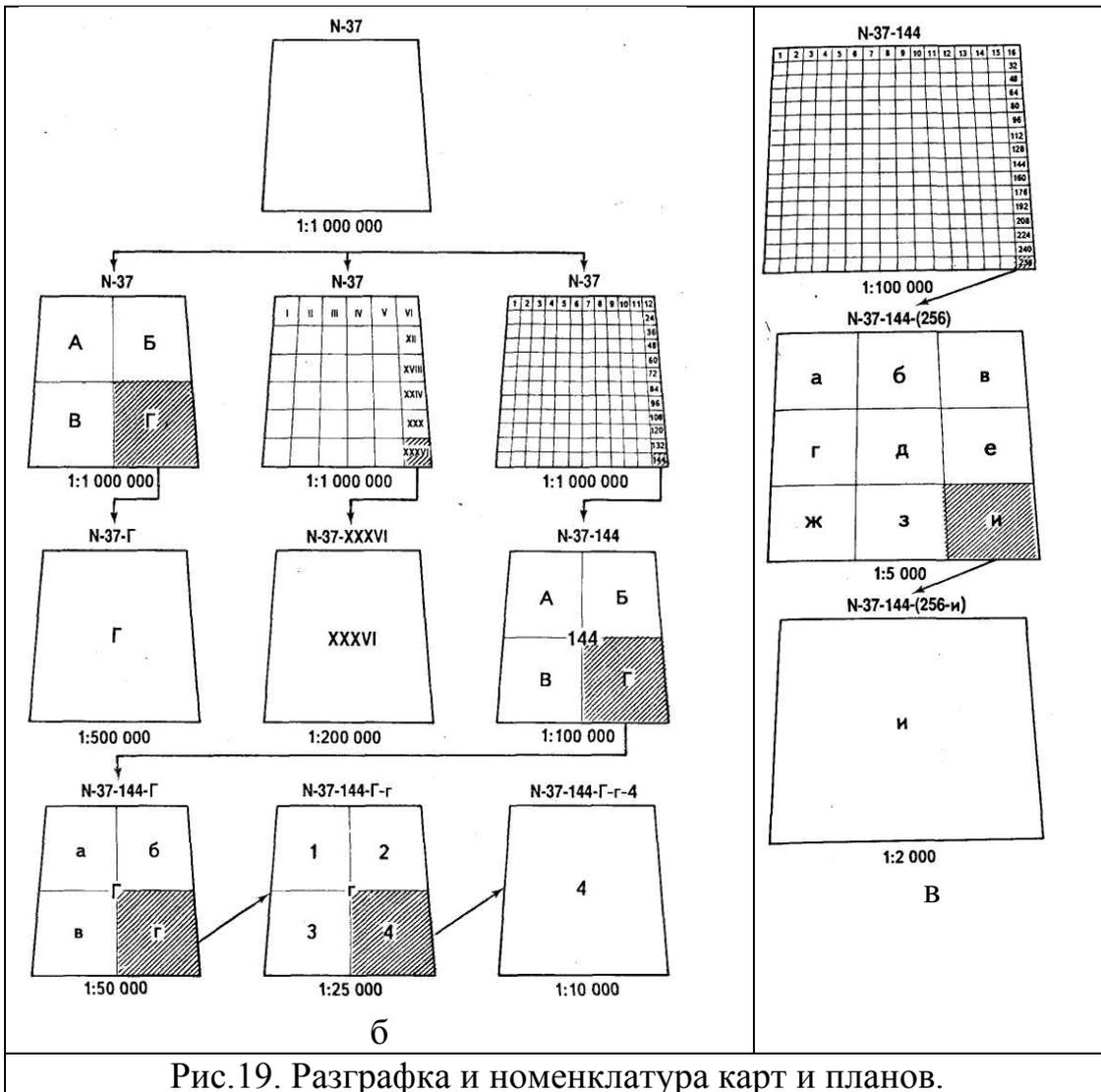


Рис.19. Разграфка и номенклатура карт и планов.

Таблица 2.

### Разграфка и номенклатура карт и планов

масштаб	пример номенклатуры	размеры рамок		исходный масштаб	число листов	координатная сетка проводится через	высота сечения рельефа	длина боковой рамки листа
		по широте	по долготе					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1: 1 000 000	N-37	4°	6°					440 км
1: 500 000	N-37-Г	2°	3°	1: 1 000 000	4			220 км
1: 200 000	N-37-XXXVI	40'	1°	1: 1 000 000	36	2 см		74 км
1: 100 000	N-37-144	20'	30'	1: 1 000 000	144	2 см	20; 40 м	37 км
1: 50 000	N-37-144-Г	10'	15'	1: 100 000	4	2 см	10; 20 м	18 км
1: 25 000	N-37-144-Г-г	5'	7' 30"	1: 50 000	4	4 см	2,5; 5; 10 м	9 км
1: 10 000	N-37-144-Г-г-4	2' 30"	3' 45"	1: 25 000	4	10 см	1; 2,5; 5; 10 м	4,5 км
Разграфка листов крупномасштабных планов производится двумя способами. Для съемки и составления планов на площади свыше 20 кв.км :								
1: 5 000	N-37-144-(256)	1' 15"	1' 52,5"	1: 100 000	256	10 см	0,5; 1; 2,5 м	2 км
1: 2 000	N-37-144-(256-и)	25"	37,5"	1: 5 000	9	10 см	0,5; 1; 2 м	1 км
Для планов участка площадью менее 20 кв.км используют прямоугольную разграфку с рамками листа для масштаба 1:5000 – 40x40 см, а для масштабов 1:2000 – 1:500 – 50x50 см								
1: 2 000	N-37-144-(256-Г)			1: 5 000	4	10 см	0,5; 1; 2 м	1 км
1: 1 000	N-37-144-(256-Г-IV)			1: 2 000	4	10 см	0,5; 1 м	500 м
1: 500	N-37-144-(256-Г-16)			1: 2 000	16	10 см	0,5; 1 м	250 м

## 4.6. Решение задач по теме «Разграфка и номенклатура карт и планов»

**Задача 1.** Определить географические координаты углов листа карты, имеющего следующую номенклатуру: N-45-48-Г-г-4.

Решение:

1. Используя справочный материал, определяем, что ряд N ограничен параллелями с широтами  $56^\circ$  и  $52^\circ$ ; а колонна 45 ограничена меридианами с долготами  $84^\circ$  и  $90^\circ$ .

2. Вычерчиваем лист N-45 и делением его на 144 части получаем листы масштаба 1:100 000:

		N-45												
56°00'		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		13											24	
55°00'		25											36	
54°40'		37											<b>48</b>	
		49											60	
		61											72	
		73											84	
		85											96	
		97											108	
		109											120	
		121											132	
52°00'		133											144	
		84°00'											89°30'	90°00'

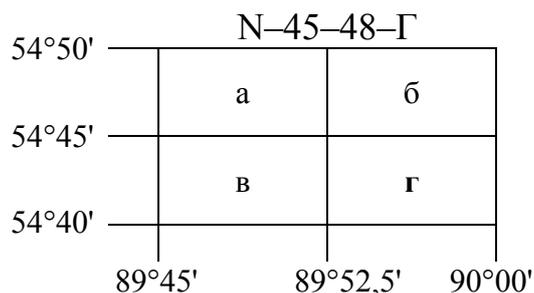
Лист N-45-48 ограничен параллелями с широтами  $55^\circ00'$  и  $54^\circ40'$  и меридианами с долготами  $89^\circ30'$  и  $90^\circ00'$ .

3. Вычерчиваем лист N-45-48 и делением его на 4 части получаем листы масштаба 1:50 000:

		N-45-48		
55°00'		А		Б
54°50'		В		Г
54°40'				
		89°30'	89°45'	90°00'

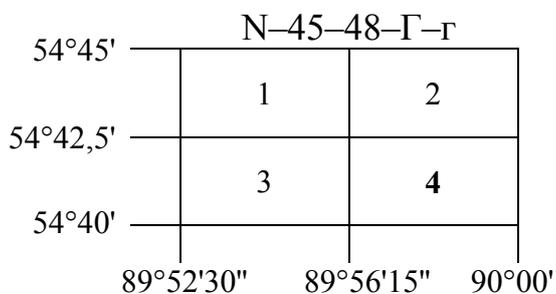
Лист N-45-48-Г ограничен параллелями с широтами  $54^\circ40'$  и  $54^\circ50'$  и меридианами с долготами  $89^\circ45'$  и  $90^\circ00'$ .

4. Вычерчиваем лист N-45-48-Г и делением его на 4 части получаем листы масштаба 1:25 000:



Лист N-45-48-Г-г ограничен параллелями с широтами 54°45' и 54°40' и меридианами с долготами 89°52,5' и 90°00'.

5. Вычерчиваем лист N-45-48-Г-г и делением его на 4 части получаем листы масштаба 1:10 000:



Лист N-45-48-Г-г-4 ограничен параллелями с широтами 54°40' и 54°42,5' и меридианами с долготами 89°56'15" и 90°00'.

Ответ: лист карты с номенклатурой N-45-48-Г-г-4 ограничен параллелями с широтами 54°40' и 54°42,5' и меридианами с долготами 89°56'15" и 90°00'.

**Задача 2.** Найти номенклатуру листа карты и географические координаты её трапеции, если известны: масштаб 1:10 000; координаты юго-западного угла карты:  $\varphi=44^{\circ}25'00''$ ;  $\lambda=40^{\circ}45'00''$ .

Решение:

1. Известно, что при масштабе 1:10 000 размеры листа карты по широте 2'30", а по долготе – 3'45". Нам даны координаты юго-западного угла карты, т.е.  $\varphi_{Ю}$  и  $\lambda_{З}$ , нужно найти оставшиеся координаты трапеции, т.е.  $\varphi_{С}$  и  $\lambda_{В}$ .

$$\varphi_{С}=\varphi_{Ю}+\Delta\varphi; \quad \varphi_{С}=44^{\circ}25'00''+2'30''=44^{\circ}27'30'';$$

$$\lambda_{В}=\lambda_{З}+\Delta\lambda; \quad \lambda_{В}=40^{\circ}45'00''+3'45''=40^{\circ}48'45''.$$

2. Зная координаты, определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:1 000 000, на котором они лежат (пользуемся справочным материалом).

Наша широта  $44^\circ$  лежит между параллелями  $44^\circ$  и  $48^\circ$ , это ряд **L**. Наша долгота  $40^\circ$  лежит между меридианами  $36^\circ$  и  $42^\circ$ , это колонна **37**. Номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000: L-37.

3. Определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:100 000, на котором лежат наши координаты:

		L-37											
48°00'		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		13											24
		25											36
		37											48
		49											60
		61											72
		73											84
		85											96
		97											108
		109											120
44°40'		121									<b>130</b>		132
44°20'		133											144
44°00'													
		36°00'								40°30'	41°00'		42°00'

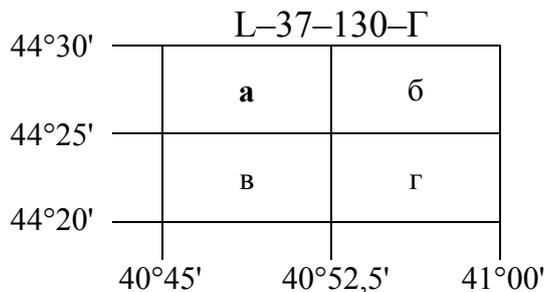
Наши широты  $44^\circ25'$  и  $44^\circ27'30''$  лежат между параллелями  $44^\circ20'$  и  $44^\circ40'$ . Наши долготы  $40^\circ45'$  и  $40^\circ48'45''$  лежат между меридианами  $40^\circ30'$  и  $41^\circ00'$ . На пересечении получаем лист **130**. Номенклатура листа карты масштаба 1:100 000: L-37-130.

4. Определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:50 000, на котором лежат наши координаты:

		L-37-130	
44°40'		А	Б
44°30'		В	Г
44°20'			
		40°30'	40°45'
			41°00'

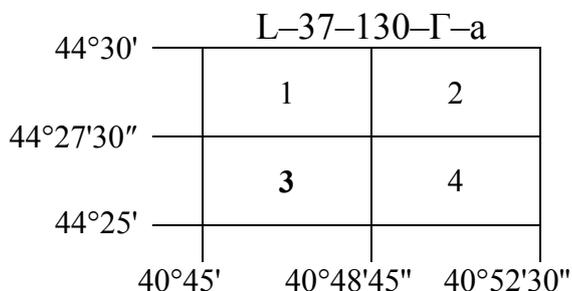
Наши широты  $44^\circ25'$  и  $44^\circ27'30''$  лежат между параллелями  $44^\circ20'$  и  $44^\circ30'$ . Наши долготы  $40^\circ45'$  и  $40^\circ48'45''$  лежат между меридианами  $40^\circ45'$  и  $41^\circ00'$ . На пересечении получаем лист **Г**. Номенклатура листа карты масштаба 1:50 000: L-37-130-Г.

5. Определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:25 000, на котором лежат наши координаты:



Наши широты 44°25' и 44°27'30" лежат между параллелями 44°25' и 44°30'. Наши долготы 40°45' и 40°48'45" лежат между меридианами 40°45' и 40°52,5'. На пересечении получаем лист а. Номенклатура листа карты масштаба 1:50 000: L-37-130-Г-а.

6. Определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000, на котором лежат наши координаты:



Наши широты 44°25' и 44°27'30" и наши долготы 40°45' и 40°48'45" ограничивают лист карты с номенклатурой L-37-130-Г-а-3.

Ответ: Номенклатура листа карты с заданными географическими координатами: L-37-130-Г-а-3.

**Задача 3.** Определить номенклатуру листа карты, если известны следующие координаты сторон рамок:  $\varphi_{Ю}=64^{\circ}00'00''$ ;  $\varphi_{С}=64^{\circ}10'00''$ ;  $\lambda_{З}=28^{\circ}30'00''$ .

Решение:

1. Нам даны две широты, мы можем определить размеры листа карты по широте:

$$\Delta\varphi = \varphi_{С} - \varphi_{Ю}; \Delta\varphi = 64^{\circ}10' - 64^{\circ}00' = 10';$$

Известно, что размер листа карты по широте в 10' лишь при масштабе 1:50 000. Из справочного материала узнаем размер листа карты этого масштаба по долготе – 15'. Можем вычислить восточную долготу:

$$\lambda_{В} = \lambda_{З} + \Delta\lambda; \lambda_{В} = 28^{\circ}30' + 15' = 28^{\circ}45'.$$

2. Зная координаты, определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:1 000 000, на котором они лежат (пользуемся справочным материалом).

Наши широты лежат между параллелями  $64^\circ$  и  $68^\circ$ , это ряд **Q**. Наши долготы лежат между меридианами  $24^\circ$  и  $30^\circ$ , это колонна **35**. Номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000: Q-35.

3. Определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:100 000, на котором лежат наши координаты:

		Q-35											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
68°00'													
	13												24
	25												36
	37												48
	49												60
	61												72
	73												84
	85												96
	97												108
	109												120
64°20'	121												132
64°00'	133									<b>142</b>			144
		24°00'						28°30'	29°00'				30°00'

Наши широты  $64^\circ00'$  и  $64^\circ10'$  лежат между параллелями  $41^\circ40'$  и  $42^\circ00'$ . Наши долготы  $28^\circ30'$  и  $28^\circ45'$  лежат между меридианами  $28^\circ30'$  и  $29^\circ00'$ . На пересечении получаем лист **142**. Номенклатура листа карты масштаба 1:100 000: Q-35-142.

4. Определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:50 000, который ограничивают заданные координаты:

		Q-35-142		
		А	Б	
64°20'				
64°10'				
64°00'		<b>В</b>	Г	
		28°30'	28°45'	29°00'

Заданные координаты ограничивают лист **В**. Номенклатура листа карты масштаба 1:50 000: Q-35-142-В.

**Ответ:** Номенклатура листа карты ограниченного заданными координатами: **Q-35-142-В**.

#### 4.7. Содержание карт и планов

### 4.7.1. Рамки и координатная сетка

**Внутренняя рамка** образована отрезками географических меридианов и параллелей, непосредственно ограничивающими картографическое изображение. На выходах этих линий указаны соответствующие значения широты и долготы.

**Минутная рамка** служит для точного определения географических координат точек по карте.

**Координатная (километровая) сетка** образована линиями, параллельными осевому меридиану зоны, в которой расположен данный лист карты, и экватору. Ее ординаты и абсциссы вписаны между минутной и внутренней рамками. Линии, ближайшие к углам рамки листа карты, подписывают полным числом километров, остальные – сокращенно, последними двумя цифрами. Километровая сетка служит для точного определения прямоугольных координат точек.

Для удобства пользования листами карт, на которых изображены граничные участки зоны, на них показывается сетка прямоугольных координат соседней зоны. Ширина граничной полосы с сеткой соседней зоны составляет  $2^\circ$  по долготе с обеих сторон зоны. Выходы линий координатной сетки соседней зоны наносятся на внешнюю сторону рамки листа карты.

**Внешняя рамка** – декоративная, в ее разрывах вписывают номенклатуры четырех смежных листов карт того же масштаба.

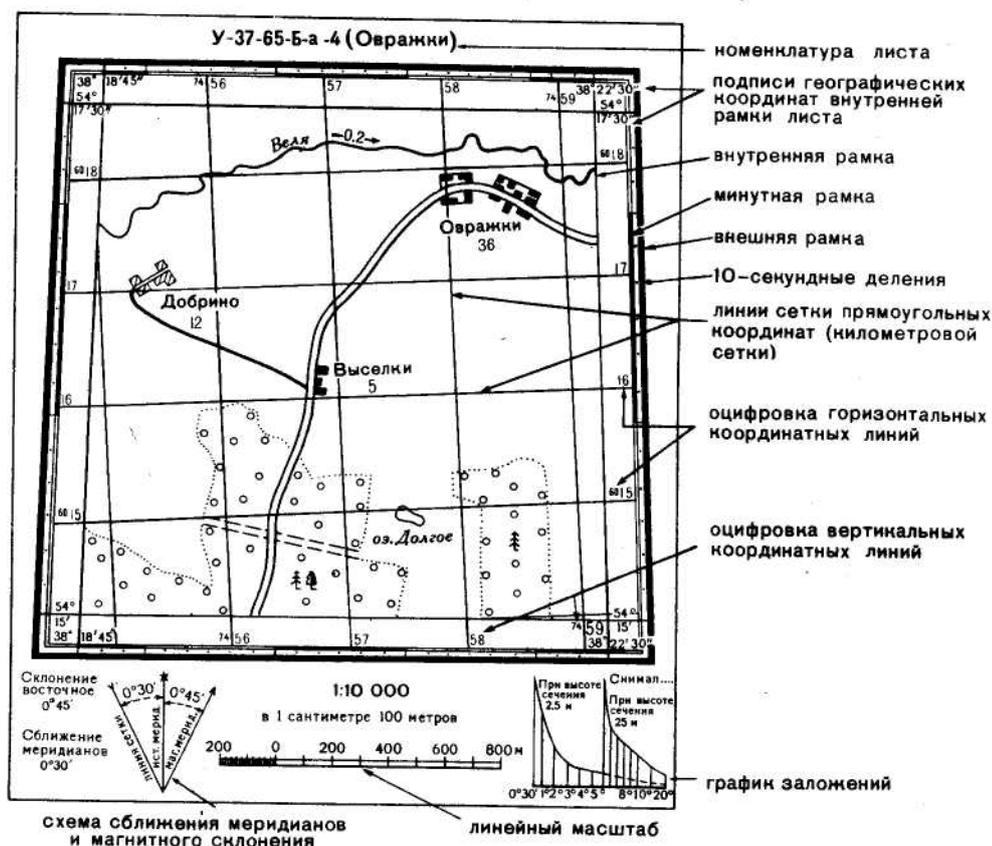


Рис.20. Схематическое изображение листа топографической карты.

### 4.7.2. Условные знаки планов и карт

На топографических картах и планах изображают разные объекты местности: населенные пункты, сады, огороды, озера, реки, дороги и т.д. Совокупность этих объектов называется **ситуацией**. Ситуацию изображают условными знаками.

Хотя количество условных знаков велико, они легко запоминаются, так как внешне напоминают вид и характер изображаемых объектов. Условные знаки для карт разных масштабов утверждаются государственными органами и издаются в форме обязательных для исполнения документов.

Условные знаки делятся на 5 групп:

**Площадные (контурные) условные знаки** служат для изображения объектов, занимающих определенную площадь и выражающихся в масштабе карты. Контур вычерчивают точечным пунктиром или тонкой сплошной линией и заполняют его условными значками или условной окраской (леса, луга, сады, огороды, болота и т.д.).

**Линейные**

**условные знаки** служат для изображения линейных объектов, длина которых выражается в данном масштабе (дороги, реки, линии связи, ЛЭП и т.д.). Масштаб по линии равен масштабу карты, а в поперечнике — на несколько порядков крупнее.

**Внемасштабные**

**условные знаки** служат для изображения объектов, размеры которых не выражаются в данном масштабе (мосты, километровые столбы,

колодцы, теле- и радиовышки, геодезические пункты и т.д.). Местоположение объекта соответствует характерной точке условного знака, которая может располагаться в центре условного знака, в середине его основания и т.д. По внемасштабным условным знакам нельзя судить о размерах объекта.

**Пояснительные условные знаки** представляют собой цифровые и буквенные надписи, характеризующие объекты (глубину и скорость течения рек; грузоподъемность и ширину моста; породу леса, среднюю высоту и толщину деревьев; ширину проезжей части и характер покрытия дорог, и т.д.). Их проставляют на основных площадных, линейных и внемасштабных условных знаках.

**Специальные условные знаки** применяют для составления специализированных карт и планов определенной отрасли народного хозяйства.

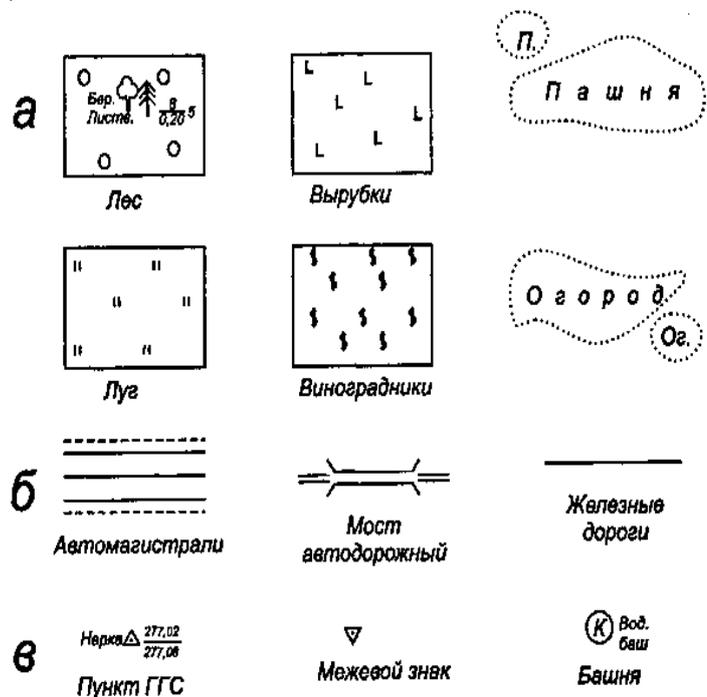


Рис.21. Условные знаки: а - площадные; б - линейные, в - внемасштабные.

Чтобы придать карте или плану большую наглядность, для изображения различных элементов используют цвета: синий для рек, озер, каналов, заболоченных участков; зеленый для лесов и садов; коричневый для рельефа местности; красный для шоссе и дорог; оранжевый для улучшенных грунтовых дорог. Всю остальную ситуацию дают черным цветом.

## 4.8. Изображение рельефа на плоскости

### 4.8.1. Основные формы рельефа местности

**Рельефом местности** называется совокупность неровностей земной поверхности.

В зависимости от характера рельефа местность подразделяется на равнинную, всхолмленную и горную. *Равнинная* местность имеет слабовыраженные формы или почти совсем не имеет неровностей; *всхолмленная* характеризуется чередованием сравнительно небольших по высоте повышений и понижений, *горная* представляет собой чередование возвышений более 500 м н.у.м., разделенных долинами.

Из всего многообразия форм рельефа местности можно выделить наиболее характерные (рис.22):

**Гора** – это возвышенность конусообразной формы, наивысшая точка которой называется *вершиной*. Боковая поверхность горы состоит из *склонов*, линия слияния их с окружающей местностью – *подошва*, или *основание горы*.

**Котловина (впадина)** – это углубление конусообразной формы. Самая низкая точка котловины – *дно*. Боковая поверхность ее состоит из *скатов*, линия слияния их с окружающей местностью называется *бровкой*.

**Хребет** – это вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении возвышенность. Он имеет характерные линии: одну линию *водораздела*, образуемую боковыми крутыми скатами при их слиянии вверху, и две линии *подшвы*.

**Лощина** – это вытянутое и открытое с одного конца, постепенно понижающееся углубление. Лощина имеет характерные линии: одну линию

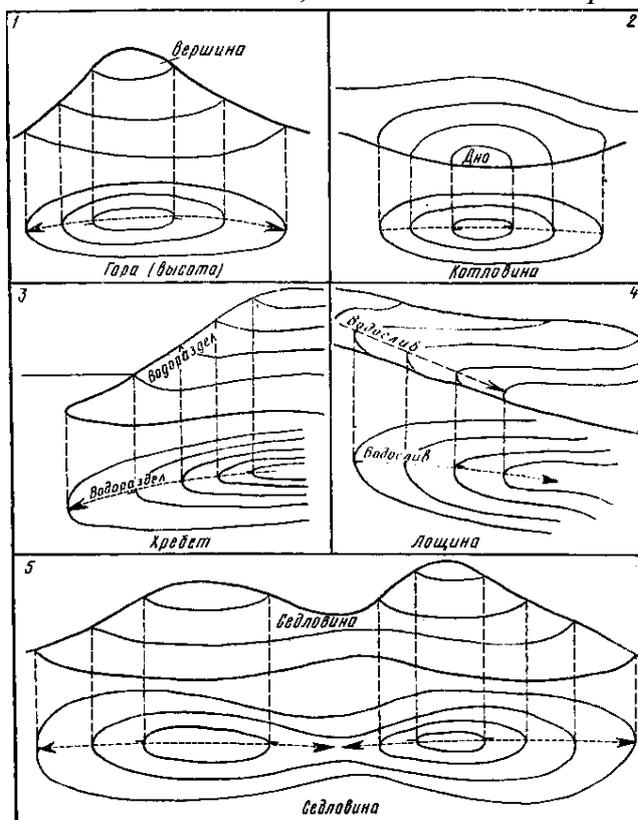


Рис.22. Изображение горизонталями типовых форм рельефа.

*водослива (талъвег)*, образуемую боковыми скатами при их слиянии внизу, 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, располагающуюся в самом низком месте седловины– *точкуседловины*.

Существуют разновидности перечисленных основных форм рельефа. Например, разновидности лощины:

*Долина* – широкая лощина с пологими склонами; *овраг* – узкая лощина с почти отвесными склонами; *промоина* – начальная стадия оврага; *балка* – овраг, заросший травой, кустарником; *ущелье* – узкая и глубокая лощина.

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*. Характерные точки и линии рельефа облегчают распознавание отдельных его форм.

Способ изображения рельефа должен обеспечивать хорошее пространственное представление о рельефе местности, способствовать надежному определению направлений и крутизны скатов, отметок отдельных точек, решению различных инженерных задач.

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

*Перспективное изображение* – наиболее старый метод показа очертаний земной поверхности. Представляет собой стилизованное изображение определенных форм рельефа в профиль или в ракурсе 3/4. При этом вид их отличается от планового изображения, свойственного карте, и соответственно часть из них оказывается смещенной по отношению к истинным координатам. Такое смещение терпимо на обзорных картах, но неприемлемо для карт крупных масштабов. Поэтому схематические знаки, изображающие формы рельефа, используются обычно только на мелкомасштабных картах. Раньше таким способом передавались лишь наиболее крупные объекты, на современных физиографических картах показываются и мелкие формы. При этом необходимо преувеличить вертикальный масштаб по сравнению с горизонтальным, так как иначе формы рельефа выглядят излишне плоскими и невыразительными.

*Способ отмывки (гипсометрический способ)* – применяется на мелкомасштабных картах. Каждая высотная зона закрашивается определенным цветом (или оттенком). По контакту двух высотных ступеней, выделенных разными цветами, может быть проведена линия. При этом в каждом отдельном высотном поясе, который иногда охватывает сотни метров по вертикали, многие детали строения рельефа не получают отражения на карте. Поверхность Земли показывается коричневым цветом: чем больше отметки, тем гуще цвет. Глубины моря показывают голубым или зеленым цветом: чем больше глубина, тем гуще цвет.

*Способ штриховки* – штрихи проводятся по падению склона (а не по простиранию, как горизонталю). Толщина штрихов зависит от угла наклона склона – чем больше уклон, тем толще линия, в результате чего более крутые склоны выглядят на карте более темными. С помощью штриховки можно показать острые гребни и крутые уступы; при рисовке горизонталей, даже самой тщательной, эти формы обычно выглядят сглаженными.

*Способ отметок* – на карте подписывают отметки отдельных точек местности, причем на одном квадратном дециметре карты подписывают, как правило, не менее пяти отметок точек.

*Способ горизонталей.*

В настоящее время на топографических картах применяют способ горизонталей в сочетании со способом отметок.

#### 4.8.2. Изображение рельефа горизонталями

Мысленно рассежем участок местности горизонтальной плоскостью. Линия пересечения этой плоскости с поверхностью Земли называется **горизонталью**. *Горизонталь* на местности – это замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одинаковые отметки. Уменьшенное изображение на карте горизонтальной проекции горизонтали местности также называют *горизонталью*.

**Горизонталь** – линия равных высот, полученная в результате сечения местности поверхностью, параллельной уровенной.

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 ( $h$ )**.

На местности горизонтали не пересекаются, так как они лежат в разных параллельных плоскостях; на карте они тоже не пересекаются (рис.23).

Расстояние между соседними горизонталями на карте называется **заложением ( $d$ )**. Чем меньше заложение, тем круче скат местности, и наоборот.

Все основные формы рельефа имеют свой рисунок горизонталей (рис.24); при этом и гора и котловина изображаются системами замкнутых горизонталей, хребет и лощина петлеобразными горизонталями.

Чтобы различить эти формы рельефа, а также для некоторых других целей на карте принято показывать направление скатов вниз, для этого применяются **бергштрихи (скатштрихи)** – короткие штрихи, перпендикулярные горизонталям и

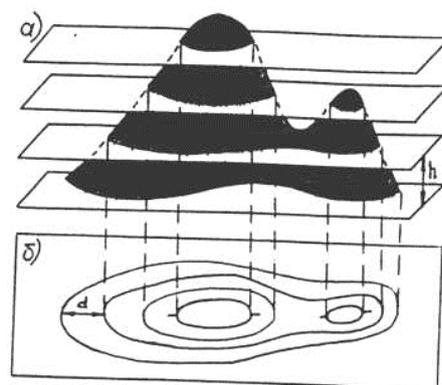
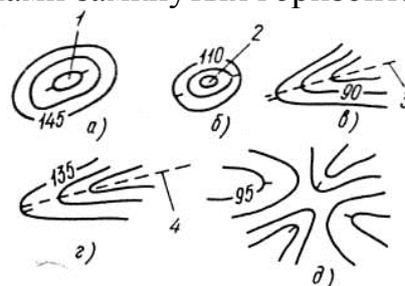


Рис.23. Изображение рельефа горизонталями: а) вид сбоку; б) вид сверху.



направленные по скату вниз.

На рис.24 показаны: 1 – вершина горы; 2 – дно котловины; 3 – водораздел хребта; 4 – водослив лощины (талъвег).

**Отметка горизонтали ( $H$ )** – высота горизонтали над основной уровенной поверхностью.

Основные горизонталы имеют отметки, кратные высоте сечения рельефа, начиная от нуля счета высот. Горизонталы подписывают так, чтобы верх цифры был направлен в сторону повышения ската.

Чтобы облегчить чтение горизонталей на карте, некоторые из них утолщают. При высоте сечения рельефа 1, 5, 10, 20 м, утолщают каждую пятую горизонталь; при высоте сечения 0,5 и 2,5 м – каждую четвертую.

Если при данной высоте сечения рельефа некоторые характерные особенности рельефа не могут быть выражены, проводят дополнительные *полуили четверть горизонталы* соответственно через половину или четвертую часть принятой высоты сечения рельефа. Дополнительные горизонталы вычерчивают пунктирными линиями, иногда в виде отрезков.

## 4.9. Решение задач по картам и планам

Топографические карты и планы содержат различную информацию об объектах местности и ее рельефе. Эта информация позволяет решать многие геодезические задачи, перечислим некоторые из них: определение прямоугольных и географических координат точки; нанесение точки на план или карту по ее прямоугольным или географическим координатам; определение отметки точки; определение длины горизонтальной проекции линии; определение углов ориентирования линии; измерение горизонтального угла между двумя направлениями; определение направления и крутизны ската; построение профиля местности по заданному направлению; проведение на плане или карте линии с заданным уклоном; измерение площади участка; и т.д.

Рассмотрим решение некоторых из данных задач.

### 4.9.1. Определение прямоугольных координат точки

При определении прямоугольных координат точки, сначала определяют квадрат километровой сетки, в котором она расположена. Затем через заданную точку проводят перпендикуляры к этим линиям километровой сетки. Считывают оцифровку километровых линий ( $X_{\text{сетки}}$  и  $Y_{\text{сетки}}$ ). Измеряют длины перпендикуляров ( $\Delta X$  и  $\Delta Y$ ). Координаты точки определяют по формулам:

$$X=X_{\text{сетки}}+\Delta X; \quad Y=Y_{\text{сетки}}+\Delta Y. \quad (11)$$

Пример. Определим прямоугольные координаты точки  $B$  (рис.25).

Рис.24. Изображение горизонталями основных форм рельефа: а) гора; б) котловина; в) хребет; г) лощина; д) седловина.

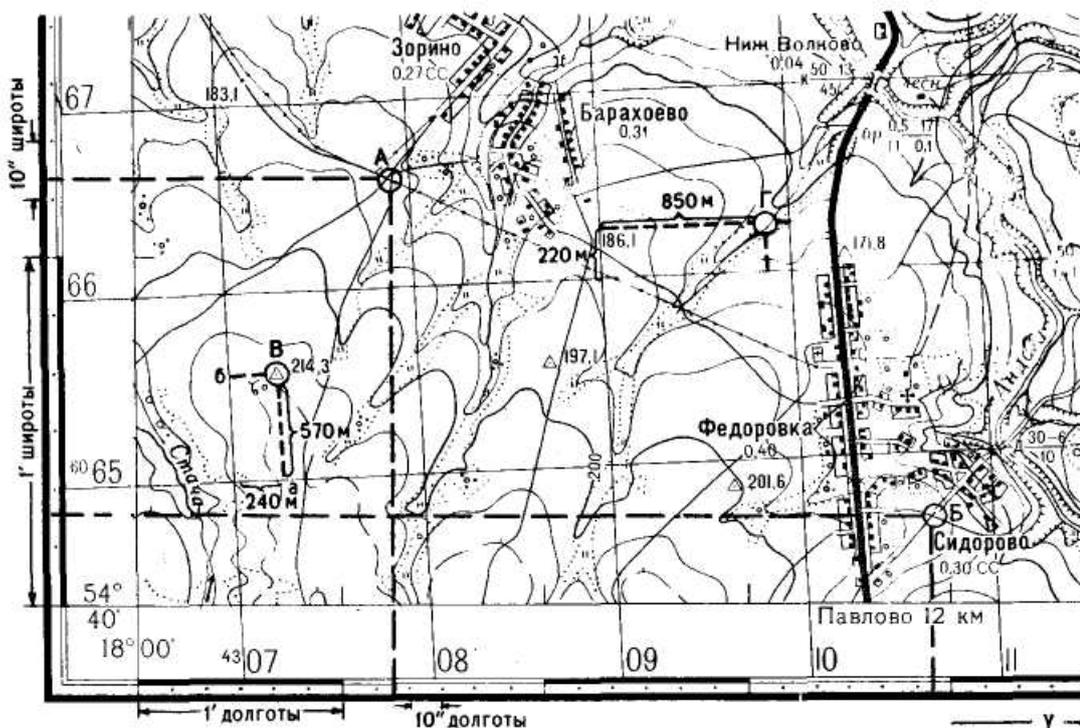


Рис.25. Определение прямоугольных и географических координат.

Сначала записываем абсциссу нижней километровой линии квадрата, в котором находится точка *B*, т.е. 6 065 км. Измеряем расстояние *aB* и определяем, чему оно равно на местности, получилось 570 м. Вычисляем абсциссу точки *B*:

$$X = 6\,065\,000\text{ м} + 570\text{ м} = 6\,065\,570\text{ м}.$$

Аналогично определяем ординату точки *B*. Записываем значение ординаты левой стороны квадрата 4 307 км, к нему прибавляем длину линии *bB* на местности – 240 м.

$$Y = 4\,307\,000\text{ м} + 240\text{ м} = 4\,307\,240\text{ м}.$$

Прямоугольная координатная сетка позволяет решить и обратную задачу, т.е. нанести точку на карту по ее координатам. Для этого вначале находят на карте квадрат координатной сетки, в котором должна располагаться точка. Затем откладывают в масштабе карты абсциссу на левой и правой сторонах квадрата и проводят тонкую горизонтальную линию, на которой слева направо откладывают ординату в масштабе карты и находят искомую точку.

Пример. Нанесем на карту точку *Г* с координатами:  $X = 6\,066\,220\text{ м}$ ,  $Y = 4\,309\,850\text{ м}$  (рис.25). Сначала по числу целых километров 6 066 и 4 309 определяем, в пределах какого квадрата лежит искомая точка. Затем от южной линии квадрата откладывают циркулем на его боковых сторонах расстояние 220 м в масштабе карты. Наколы циркуля соединяем тонкой линией. Затем от западной стороны квадрата на проведенной линии откладывают расстояние 850 м.

#### 4.9.2. Определение географических координат точки

При определении географических координат используют минутные деления широты и долготы, нанесенные на сторонах рамки листа карты, и подписи широты и долготы углов этой рамки.

Чтобы определить географические координаты какой-либо точки, через нее проводят линии, параллельные меридианам и параллелям, и по шкалам рамки считывают широту и долготу точки.

Пример. Определим географические координаты точки *A* (рис.25).

Проводим через точку *A* истинный меридиан и определяем его долготу. Для этого необходимо сосчитать сколько минут и секунд заключено между западной стороной рамки и истинным меридианом точки *A*, полученное число минут и секунд прибавляем к долготе западной рамки. Получаем долготу точки *A*:  $\lambda=18^{\circ}01'13''$  в.д.

Широту точки *A* находят аналогичным путем, пользуясь делениями западной и восточной рамок:  $\varphi=54^{\circ}41'14''$  с.ш.

Можно решить и обратную задачу, т.е. нанести на карту точку по ее координатам.

Пример. Нанесем на карту точку *B* с координатами:  $\varphi=54^{\circ}40'15''$  и  $\lambda=18^{\circ}03'54''$ .

На западной и восточной рамках определяем точки с указанной широтой, соединяем их прямой линией. На северной и южной рамках находим точки указанной долготы, через них также проводим прямую линию. Пересечение двух прямых дает местоположение точки *B*.

### 4.9.3. Определение отметки точки

При определении высот точек по карте могут встретиться следующие случаи:

1. Точка лежит между горизонталями с разными отметками (рис.26а).

В этом случае отметку точки определяют интерполированием. Для этого измеряют расстояния от точки до ближайших горизонталей. Отметку точки вычисляют дважды с учетом понижения местности:

$$H_K = H_B - (hd_1)/a; \quad H_K = H_H + (hd_2)/a, \quad (12)$$

где *K* – точка местности, чью отметку необходимо определить;

$H_B$  – отметка горизонтали, лежащей выше точки *K*;

$H_H$  – отметка горизонтали, лежащей ниже точки *K*;

*h* – высота сечения рельефа;

*a* – заложение, т.е. линия, проведенная через точку *K*, перпендикулярная соседним горизонталям;  $a=(d_1+d_2)$ ;

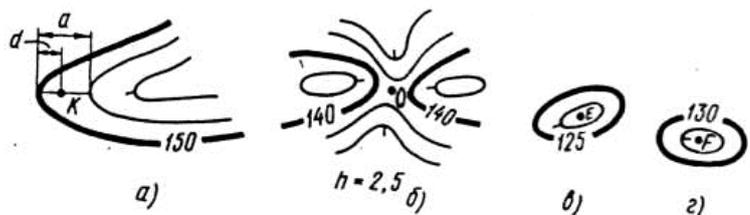


Рис.26. Определение отметок точек.

$d_1$  – расстояние от высшей горизонтали до точки  $K$ ;

$d_2$  – расстояние от нижней горизонтали до точки  $K$ .

За окончательное значение принимают среднюю отметку.

2. Точка лежит на горизонтали.

В этом случае её отметка равна отметке горизонтали.

3. Точка лежит внутри замкнутой горизонтали.

Если точка лежит внутри замкнутой горизонтали и является вершиной горы (рис.26в), то ее отметка больше отметки горизонтали на величину меньшую высоты сечения рельефа. Приблизительно принимают отметку точки равной отметке окружающей ее горизонтали плюс половина высоты сечения рельефа. (Например:  $H_E = 127,5 + 1,25 = 128,75$  м).

Если точка является дном котловины (рис.26г), то ее отметка будет меньше отметки окружающей ее горизонтали на половину высоты сечения рельефа. (Например:  $H_F = 127,5 - 1,25 = 126,25$  м). То же самое касается и точки седловины (рис.26б). (Например:  $H_O = 140 - 1,25 = 138,75$  м).

#### 4.9.4. Определение углов ориентирования

На карте удобнее измерять дирекционный угол, а азимуты вычисляют, используя информацию о сближении меридианов и магнитном склонении, приведенную в юго-западном углу карты.

Для измерения дирекционного угла линии, через ее начальную точку проводят прямую, параллельную оси абсцисс. При измерении дирекционного угла имеющего величину от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , нулевой радиус транспортира совмещают с северным направлением вертикальной километровой линии, а для углов, больших  $180^\circ$ , – с южным направлением. В последнем случае к полученному отсчету прибавляют  $180^\circ$ .

Чтобы вычислить истинный азимут, используют значение дирекционного угла и сближение меридианов.

Для определения магнитного азимута используют значение магнитного склонения и истинного азимута.

#### 4.9.5. Определение направления и крутизны ската

Направление ската определяют по бергштрихам, по отметкам горизонталей, по ситуации и т.д.

**Крутизной ската** называется отношение разности высот между точками ската к его заложению.

Крутизна ската может характеризоваться либо **углом наклона** ( $\nu$ ), который выражается в градусах, либо **уклоном** ( $i$ ) – выражается в процентах (%) или промиллях (‰).

**Угол наклона местности** – это вертикальный угол между линией местности и горизонтальной

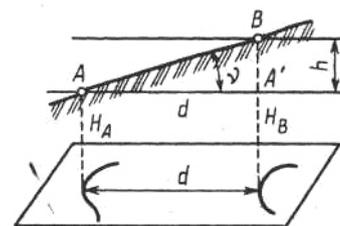


Рис.27. Схема к определению крутизны ската.

плоскостью:

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}, \quad (13)$$

где  $h$  – превышение между точками (высота сечения рельефа);  $d$  – заложение.

Для быстрого определения угла наклона по карте пользуются специальным графиком, который называется **графиком заложений**. Он строится следующим образом:

1. Вычисляют заложение ската при заданной высоте сечения рельефа для разных углов наклона  $0,5^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$  и т.д.;
2. Проводят горизонтальную прямую и откладывают на ней отрезки равной длины, которые подписывают в градусах угла наклона;
3. Перпендикулярно этой линии откладывают в масштабе карты заложения ската, вычисленные для каждого значения угла наклона;
4. Соединяют полученные точки плавной кривой.

Аналогично можно построить график заложений для уклонов.

Для определения угла наклона или уклона для конкретного заложения ската берут это заложение в раствор циркуля-измерителя, затем по графику находят то место, где расстояние между кривой и горизонтальной прямой равно этому заложению и считывают значение угла наклона или уклона.

На рис.28а заложению  $mn$  соответствует угол наклона равный  $3^\circ 42'$ ; на рис.28б заложению  $ab$  соответствует уклон равный  $2,5\%$ .

График заложения помещается внизу листа карты справа.

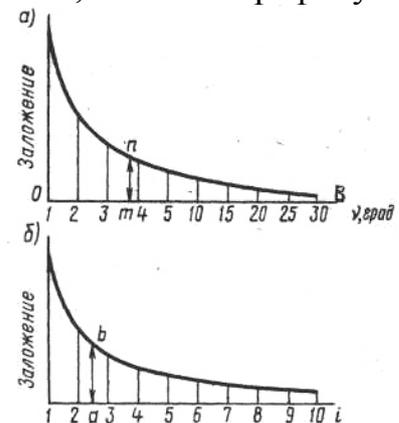


Рис.28. Графики заложений: а) для углов наклона; б) для уклонов.

**Пример.** Вычислить угол наклона и уклон ската местности между горизонталями на плане масштаба  $1:1000$ , если заложение равно  $20$  мм, высота сечения рельефа  $1,0$  м.

1. Вычисляем длину линии местности, соответствующую заданному заложению. При данном масштабе в  $1$  мм плана  $1$  м местности, значит  $d=20$  м.

2. Вычисляем угол наклона и уклон:

$$\begin{aligned} i &= \operatorname{tg} \nu = h/d; & i &= \operatorname{tg} \nu = 1/20 = 0,05; \\ i &= 5\% = 50\text{‰}; & \nu &= 2^\circ 51'. \end{aligned}$$

#### 4.9.6. Проведение на плане или карте линии с заданным уклоном

Часто при выполнении инженерных работ необходимо провести по карте линию с уклоном, не превышающим заданного значения. Это делают так:

1. Вычисляют заложение, соответствующее заданному уклону (или определяют его по графику заложений);

2. Берут в раствор циркуля-измерителя полученное проектное заложение. Ставят одну ножку циркуля-измерителя в начальную точку, а другой делают засечку на ближайшей горизонтали. Получают точку трассы, из которой тем же раствором циркуля-измерителя делают засечку на следующей горизонтали и т.д.

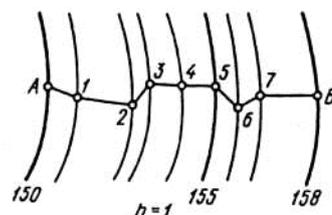


Рис.29. Проведение линии с заданным уклоном.

3. Соединяя отмеченные точки трассы, получают ломаную линию, имеющую один и тот же уклон.

4. Возможно несколько вариантов развития трассы, выбирают оптимальный.

#### 4.9.7. Построение профиля местности по заданному направлению

Профиль строят следующим образом:

1. К заданной линии на карте прикладывают край листа бумаги и отмечают на нем положение всех точек, в которых эта линия пересекает горизонтали, а также характерные точки рельефа. Выписывают отметки этих точек.

2. Построение профиля выполняют от линии условного горизонта (УГ). Отметка УГ должна быть кратна 10 м. При этом учитывают, чтобы точка с минимальной отметкой располагалась выше линии УГ не менее чем на 1 см.

3. Ниже линии УГ строят сетку профиля, состоящую из граф «Отметка точек» и «Расстояния».

4. Горизонтальный масштаб при построении профиля берут равным масштабу данной карты, а вертикальный – в 10 раз крупнее. Но отношение масштабов может быть и другим.

5. К линии УГ прикладывают лист с намеченными точками и отмечают их. Одновременно откладывают их и в графе «Расстояния».

6. Из отмеченных точек восстанавливают перпендикуляры, на которых в вертикальном масштабе откладывают фактические отметки точек.

7. Концы перпендикуляров соединяют – это профиль местности.

8. Заполняют графы «Отметка точек» и «Расстояния».

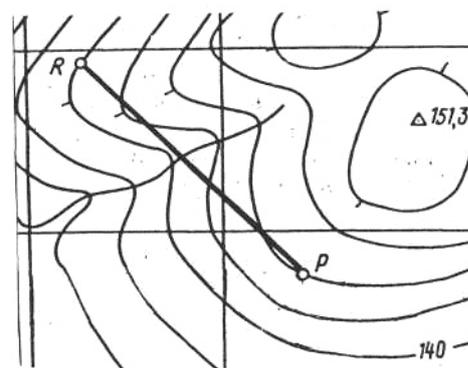
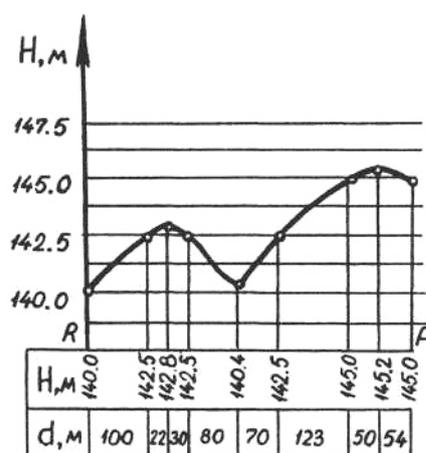


Рис.30. Построение профиля.

#### 4.9.8. Определение границ водосборной площади

**Водосборной площадью** или **бассейном водотока** называют территорию, с которой по условиям рельефа вода атмосферных осадков стекает в водоток.

Границы водосборной площади проходят по водораздельным линиям хребтов, через точки вершин гор и середины седловин. Направление стока воды – перпендикуляр к ближайшей горизонтали, т.е. наибольшая крутизна ската.

Пример: на территории (рис.31) определяют седловину и примыкающие к ней вершины (точки *B*, *A*, и *C*). Намечают линию водораздела *ABC*. От заданной точки водотока *P* проводят линии, перпендикулярные к ближней горизонтали, продолжают их по водоразделам до точек *A* и *C*. Полученная непрерывная линия (на рисунке – пунктир) *PABCP*, перпендикулярная во

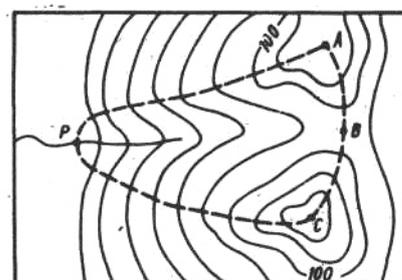


Рис.31. Определение водосборной площади.

своих точках к горизонталям, ограничивает водосборную площадь для точки *P*.

## 5. Понятие о геодезических измерениях и их точности

### 5.1 Сущность и методы измерений

Все величины, встречающиеся в геодезической практике, можно разделить на *измеренные*, приближенные значения которых получают в результате измерений, и *вычисленные*, т.е. найденные путем вычислений как функции измеренных величин.

*Измерением* называют процесс сравнения некоторой физической величины с другой одноименной величиной, принятой за единицу меры. Полученное при этом численное значение называют *результатом измерения*.

*Единица меры* – значение физической величины, принятой для количественной оценки величин того же рода.

*Система мер* – совокупность единиц физических величин, принятых в государстве для измерения.

Различают следующие виды измерений:

*линейные* – измеряется расстояние между точками;

*угловые* – измеряются горизонтальные и вертикальные углы между заданными направлениями;

*высотные*, (нивелирование) – измеряются превышения между точками.

Методы измерений:

**непосредственный (прямой)** – определяемые величины получают в результате непосредственного сравнения их с единицей измерения (например, измерение длины линии мерной лентой).

**косвенный** – определяемые величины получают как функции других, непосредственно измеренных величин (например, в треугольнике измерено два угла, а третий можно вычислить).

Все измерения выполняют при наличии следующих факторов:

- 1) *объект измерения*;
- 2) *субъект измерения* – наблюдатель;
- 3) *техническое средство* – мерный прибор;
- 4) *метод измерения* – совокупность правил и действий при измерении;
- 5) *внешняя среда*, в которой производят измерение.

Если в процессе измерения сохраняются неизменными все пять факторов, то такие измерения называют **равноточными**. Если изменяется хоть один из пяти факторов, то производимые измерения будут **неравноточными**.

## 5.2 Виды ошибок измерений

Измерения в геодезии рассматриваются с двух точек зрения: количественной, выражающей числовое значение измеренной величины, и качественной, характеризующей ее точность.

Ошибки измерений по происхождению делятся на:

**личные** – вызваны особенностями наблюдателя;

**приборные** – обусловлены несовершенством конструкции измерительных приборов;

**методические** – возникают из-за недоучета условий измерений и закономерностей измерений;

**внешние** – происходят из-за непостоянства свойств среды, в которой осуществляется измерение.

По характеру действия ошибки измерений делятся на:

**грубые ошибки** – превосходят по абсолютной величине некоторый, установленный для данных условий измерений, предел. Возникают в результате неисправностей прибора, промахов и просчетов исполнителя. Обнаруживаются и устраняются при повторных измерениях.

**систематические ошибки** – по знаку и величине однообразно повторяются при многократных измерениях (например, в длине линии из-за неточного значения мерного прибора). Такие ошибки стремятся исключить или ослабить их влияние применением соответствующей методики измерений, а так же введением поправок.

**случайные ошибки** – носят случайный характер, их возникновение не подчиняется определенным математическим законам. Случайные ошибки не могут быть устранены из результата измерения, их влияние можно лишь ослабить путем повышения количества и качества измерений и соответствующей обработкой результатов измерений.

В дальнейшем будем считать, что результаты измерений свободны от грубых и систематических ошибок и содержат только случайные ошибки.

Равноточные измерения характеризуются следующими ошибками:

**Абсолютная (истинная) ошибка**  $\Delta_{абс}$  представляет собой отклонение результата измерения  $l$  от истинного (точного) значения  $X$  измеряемой величины:  $\Delta_{абс}=l-X$ . Т.е. она равна разности практического и теоретического значений измеряемой величины:

$$\Delta_{\text{абс}} = \text{П} - \text{Т}. \quad (14)$$

**Относительная ошибка**  $\Delta_{\text{отн}}$  – отношение абсолютной ошибки к значению самой измеряемой величины:

$$\Delta_{\text{отн}} = \Delta_{\text{абс}} / X. \quad (15)$$

Относительные ошибки всегда выражаются дробью с числителем равным единице:

$$\Delta_{\text{отн}} = 1 / (X / \Delta_{\text{абс}}). \quad (16)$$

**Предельная ошибка**  $\Delta_{\text{пред}}$  – допустимый предел для абсолютной величины случайной ошибки при данных условиях измерений.

Истинное значение измеряемой величины из-за влияния ошибок измерений остается неизвестным. Поэтому определяют ее вероятнейшее значение. Таким значением является **среднее арифметическое** из всех результатов измерений:

$$l_{\text{CP}} = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) / n = \Sigma l / n. \quad (17)$$

Чем больше измерений, тем ближе среднее арифметическое к истинной величине.

## 6. Общие сведения о съемках местности

### 6.1. Понятие о съемке местности. Виды съемок

Одной из основных задач практической геодезии является **съемка местности** – комплекс полевых и камеральных работ, в результате которых получается план или карта.

Все съемочные работы, выполняемые в поле (на земле, под землей, над землей), называются **полевыми**, а все вычислительные и графические работы, выполняемые в кабинетах или лабораториях – **камеральными**.

Если в результате съемки создается план или карта без изображения рельефа, то съемка называется **горизонтальной (ситуационной)**; если же изображается и ситуация и рельеф, то съемка называется **топографической**.

По способу выполнения съемки местности подразделяются на *наземные, дистанционные и комбинированные*.

Наземные съемки делятся на: *плановую* (горизонтальную); *высотную* (вертикальную); *планово-высотную* (комбинированную).

Дистанционные съемки делятся на *аэросъемку* и *космическую* съемку, обе из которых бывают *фотографические* и *нефотографические*.

Комбинированная съемка является комбинацией дистанционной и наземной съемок. Плановая ситуация рисуется по аэроснимкам, а рельеф снимают на фотоплан в полевых условиях.

Аэрофотосъемка и комбинированная съемка являются основными методами создания карт и планов на большие территории. Наземную съемку применяют при создании крупномасштабных планов небольших участков, когда применение аэрофотосъемки либо невозможно, либо экономически невыгодно.

Съемки различают по видам применяемых приборов.

**Теодолитная съемка** выполняется теодолитом и мерной лентой. В результате получают контурный или ситуационный план (горизонтальная съемка). Применяют на равнинной местности, при съемке населенных пунктов, в сельском и лесном хозяйстве.

**Фототеодолитная съемка** выполняется с помощью фототеодолита, а камеральная обработка и рисовка плана выполняется на стереоприборах. Применяют в горной местности.

**Нивелирование поверхности** выполняется с помощью нивелира и рейки. По результатам съемки вычерчивается план местности, на котором рельеф изображен точно, а изображение ситуации либо отсутствует, либо выполнено с невысокой точностью. Это один из простых и точных видов съемки, применяемый при планировке аэродромов, стадионов, стройплощадок и т.д., где требуется подсчет объемов земляных работ.

**Нивелирование трассы** – это съемка узкой полосы местности, по оси которой проложен теодолитный ход. По результатам съемки строят профиль трассы.

**Тахеометрическая съемка** выполняется с помощью тахеометра, получают план с изображением рельефа. Применяют на пересеченной местности, особенно при изыскании линейных сооружений, при съемке малых строительных площадок.

**Мензуральная съемка** выполняется с помощью мензулы и кипрегеля. В результате съемки непосредственно на местности получают план с изображением рельефа.

**Буссольная съемка** выполняется с помощью буссоли и как самостоятельную применяют лишь при съемке небольших лесных участков, а также в качестве дополнительной при других видах съемок.

**Глазомерная съемка (рекогносцировка)** может производиться для предварительного ознакомления с местностью.

## 6.2. Принципы организации геодезических работ

Чтобы обеспечить равную высокую точность измерений на обширных территориях в геодезии действует принцип работы: **от общего к частному**. Прежде создается геодезическая опорная сеть пунктов – геодезическая основа – каркас, а затем выполняется съемка подробностей.

**Геодезическая сеть** – это система обозначенных на месте пунктов с вычисленными для них координатами (X, Y, H).

Во избежание грубых ошибок действует второй принцип геодезических работ: **постоянный поэтапный контроль измерений и вычислений** (ни шагу вперед, пока не проверено предыдущее измерение или вычисление).

## 6.3. Съёмочное обоснование

Выполнение всех геодезических измерений сводится к определению взаимного положения точек на земной поверхности. Измерения

сопровождаются погрешностями, которые накапливаются по мере удаления съемки от начальной точки. Для уменьшения погрешностей и для более равномерного их распределения по территории съемку производят с точек съемочного обоснования, так называемых **опорных геодезических пунктов**. Плановое положение геодезических пунктов определено в единой системе координат, а высотное – в единой системе высот. Система геодезических пунктов с известными координатами равномерно размещенная по территории, образует **опорную геодезическую сеть**.

Геодезическая сеть строится по принципу перехода от общего к частному: сначала создается редкая сеть пунктов, положение которых определяется с самой высокой точностью, а затем эта сеть сгущается последовательным построением пунктов с меньшей точностью.

Все геодезические сети по назначению и точности построения подразделяются на три большие группы: государственные геодезические сети (ГГС), геодезические сети сгущения (ГСС), геодезические съемочные сети (съемочное обоснование).

**Государственная геодезическая сеть** (ГГС) является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов. Она подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4 классов, различающиеся точностью измерений углов, расстояний и превышений, длиной сторон сети и порядком последовательного развития. Сеть 1 класса (высшей точности) охватывает всю территорию страны как единое целое. Сеть каждого последующего класса строится на основе сетей высших классов.

ГГС подразделяется на плановую и высотную.

**Плановая ГГС** создается для распространения по всей территории страны единой системы координат. Ее создают методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии, и их сочетаниями. В настоящее время используются спутниковые методы измерений.

**Триангуляция** – метод определения взаимного планового положения геодезических пунктов путем построения на местности системы смежно-расположенных треугольников, в которых измеряют все углы, а в сети – длину одной стороны, называемой *базисом*.

**Трилатерация** – метод определения взаимного планового положения геодезических пунктов путем построения на местности системы смежно-расположенных треугольников, в которых измеряют все стороны.

**Полигонометрия** – метод определения взаимного планового положения геодезических пунктов путем проложение на местности ломаной линии

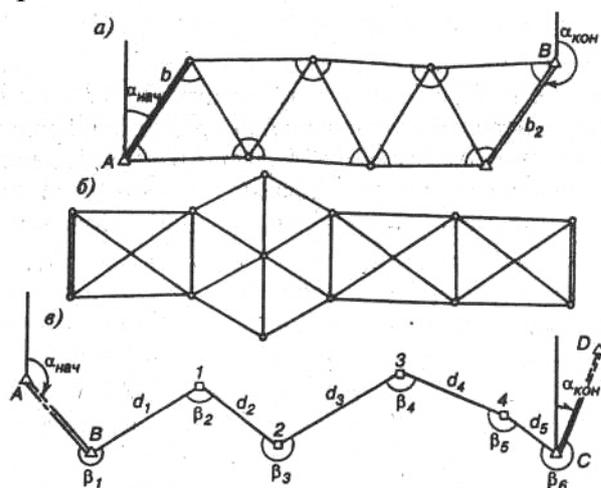


Рис.32. Методы планового обоснования геодезических сетей: а) триангуляция; б) трилатерация; в) полигонометрия.

(полигонометрического хода), или системы линий, в которых измеряют все углы и все стороны.

**Высотная ГГС** создается для распространения по всей территории страны единой системы высот. Ее создают методом нивелирования с применением высокоточных приборов. Нивелирование 1 класса (высшей точности) выполняется по особо намеченным трассам, связывающим удаленные пункты страны и основные морские водомерные посты.

**Геодезические сети сгущения** (ГСС) строят для дальнейшего увеличения плотности ГГС. Они являются плано-высотным обоснованием топографических съемок масштабов от 1:5 000 до 1:500, а также служат основой для производства различных инженерно-геодезических работ. Они создаются методами триангуляции и полигонометрии.

**Геодезические съемочные сети** служат непосредственной основой топографических съемок всех масштабов. Они создаются всеми возможными способами, в зависимости от метода и масштаба съемки, характера местности и других условий. Съемочная сеть должна быть привязана к пунктам ГГС. Плотность пунктов должна обеспечивать высокое качество съемки. Как правило, для точек съемочного обоснования определяют плановые и высотные координаты. Пункты съемочной сети закрепляют на местности деревянными кольями.

Для обозначения плановых геодезических пунктов и их закрепления на местности служат подземные устройства и наземные сооружения, т.н. **геодезические знаки**. Они бывают самые разнообразные и зависят от типа и точности геодезической сети, от климатических, почвенных и других характеристик местности.

Завершением работ по созданию ГГС является составление каталогов, где указывают названия и описание местоположения каждого пункта, класс сети, тип знака, год постройки, координаты X,У,Н и др.

#### **6.4. Основные этапы съемок**

1. Подготовительные работы: получение задания, изучение существующего картографического материала, наличия пунктов ГГС.
2. Рекогносцировка местности – изучение местности, выбор местоположения точек съемочного обоснования (точек хода).
3. Полевые работы: измерение углов, длин линий, привязка хода, съемка ситуации.
4. Камеральные работы: вычислительная обработка всех полевых измерений, вычерчивание плана местности.
5. Оформление материалов. Подготовка их к сдаче.

#### **6.5. Общие сведения об автоматизированных методах получения и обработки геодезической информации**

Бурное развитие науки и техники позволило создать принципиально новый метод определения координат и приращений координат – спутниковый. Вместо неподвижных пунктов геодезической сети с известными координатами используются подвижные спутники, координаты которых можно вычислить на любой, интересующий геодезиста, момент времени.

В настоящее время используются две спутниковые системы определения координат: российская система ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) и американская система NAVSTAR GPS (глобальная система позиционирования).

Количество спутников, их расположение и период обращения вокруг Земли обеспечивают одновременный прием сигналов как минимум от четырех спутников в любой части Земли. Информация о движении спутников прогнозируется и вычисляется в геоцентрической подвижной системе координат. При измерениях приемник на Земле принимает сигналы от спутников и производит измерения.

Также появилась необходимость представления и хранения информации о топографии местности в цифровом виде, удобном для применения компьютеров. В памяти компьютера цифровые данные о местности наилучшим образом могут быть представлены в виде координат (X, Y, H) некоторого множества точек земной поверхности. Такое множество точек с их координатами образует **цифровую модель местности (ЦММ)**.

По своему содержанию ЦММ разделяется на цифровую модель ситуации (контуров местности) и цифровую модель рельефа.

Все элементы ситуации задаются координатами точек (X; Y), определяющих положение предметов и контуров местности. Цифровая модель рельефа определяется некоторым множеством точек с координатами (X, Y, H), выбранных на земной поверхности так, чтобы в достаточной мере отобразить характер рельефа.

Виды ЦММ:

1. Регулярные ЦММ – множество точек с известными координатами, размещенные

в углах геометрических сеток различной формы. Чаще всего это квадраты и равносторонние треугольники (рис.33а и рис.33б).

2. Нерегулярные ЦММ – широко применяется в практике автоматизированного проектирования строительных объектов:

а) точки размещают по поперечникам к оси трассы при проектировании линейных сооружений (рис.33в);

б) точки размещают на

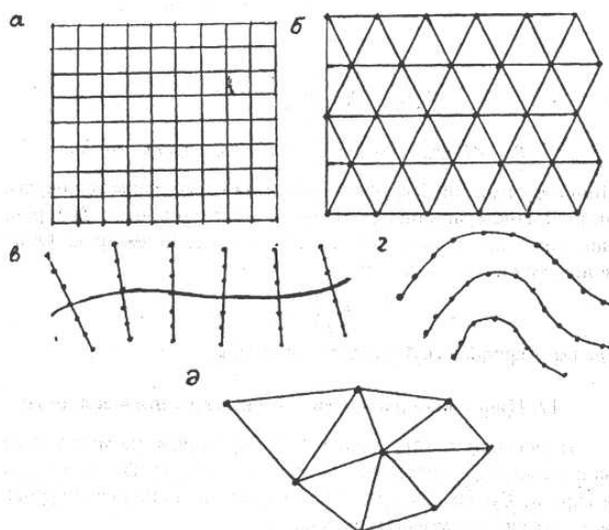


Рис.33. Цифровые модели местности.

горизонтальных через определенные интервалы (рис.33з);

в) точки размещают по характерным линиям рельефа местности (рис.33д).

3. Статистические ЦММ – точки размещают по законам случайного распределения.

При создании цифровой карты данные с карты или плана вводятся в компьютер путем цифрования. Цифрование может быть выполнено либо путем оцифровки каждой характерной точки, либо путем сканирования всего листа карты. Ввод в базу данных компьютера может также осуществляться с электронных геодезических приборов. Описательные характеристики объектов могут вводиться с клавиатуры компьютера. Данные аэро– и космических съемок, записанные в цифровом виде, также могут быть введены в компьютер, минуя бумажную стадию.

В геодезии появился термин ГИС – геоинформационная система. В отличие от других автоматизированных информационных систем в ГИС используется информация о земной поверхности, представляемая в виде цифровых карт.

К настоящему времени уже определился круг проблем, при решении которых цифровым картам принадлежит решающая роль: оперативное нанесение и визуализация обстановки; оперативное документирование; издательская деятельность; решение расчетно-аналитических задач, связанных с обработкой данных о земной поверхности; и т.д.

## 7. Линейные измерения

Целью производства на местности линейных измерений является получение горизонтальных проекций (проложений) линий между пунктами, положение которых определяется.

Способы линейных измерений:

–**непосредственный**: измерение выполняют, последовательно укладывая в створе измеряемой линии механические мерные приборы;

–**косвенный**: длину линии определяют через функции установленных геометрических или физических соотношений.

### 7.1. Измерение длин линий непосредственно

Для измерений используют механические мерные приборы, изготовленные из стали или инвара (сплав из 64% железа и 36% никеля). Инварные мерные приборы обладают очень малым коэффициентом линейного расширения.

Таблица 3.

Механические мерные приборы.

Название	Назначение	Длина	Материал	Точность
Штриховые	инженерные	20 м,	сталь	1:1 000

мерные ленты	геодезические работы	24 м	инвар	1:3 000
Шкаловые мерные ленты	проложение сетей сгущения	24 м, 48 м	сталь	до 1:7 000
			инвар	до 1:100 000
Рулетки	измерение коротких линий при топографических, маркшейдерских, геодезических, строительных работах, при съемке ситуации	10; 20; 30; 50 м и более	сталь	1:50 000 и выше
		5; 10; 20 м	тесма	погрешность в несколько сантиметров
Мерные проволоки	точные и высокоточные линейные измерения	24 м, 48 м	сталь	1:10 000–1:25 000
			инвар	1:30 000–1:1 000 000

Штриховая лента разделена на метры и дециметры. Отрезки меньше дециметров отсчитываются «на глаз». У концов шкаловых лент нанесены сантиметровые и миллиметровые деления. Лента наматывается на железное кольцо. К ленте прилагается комплект из 10 (иногда 5) шпилек для фиксации её концов при измерениях (рис.34). Рулетки наматываются на катушку, заключенную в футляр.

До начала линейных измерений определяют действительную длину мерного прибора, путем сравнения с контрольным, длина которого заранее известна. Такое сравнение называют

**компарированием.**

Разность между фактической и номинальной длиной мерного прибора называют **поправкой за компарирование**, ее вводят в результаты измерений каждой линии.

Перед измерением линии на ней надо устранить все препятствия, мешающие измерению (скосить или примять высокую траву, отогнуть кусты, убрать камни и т.п.). Для обеспечения видимости с точки на точку на них устанавливают вехи (деревянный или металлический шест). Если подлежащая измерению линия слишком длинная, то ее необходимо предварительно провесить. **Вешением линии** называют установку вех в вертикальной плоскости, проходящей через конечные точки данной линии. Такую

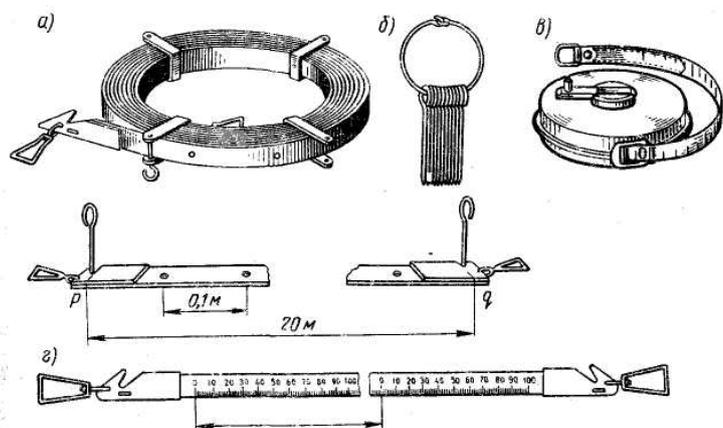


Рис.34. Приборы для линейных измерений: а - штриховая лента; б - шпильки; в - рулетка; г - шкаловая лента.

вертикальную плоскость называют **створом**. Вешение линий может производиться на глаз или с помощью теодолита.

Измерение длины линии выполняют два мерщика в следующем порядке.

Передний мерщик берет в руку десять шпилек, ручку конца ленты и разматывает ее вдоль измеряемого отрезка линии. Задний мерщик совмещает начальный штрих ленты с началом измеряемой линии и, задерживая ее, дает указания переднему мерщику для укладки ленты в створе измеряемой линии. Передний мерщик, проверив и убедившись, что лента не перекручена, встряхивает, натягивает, кладет ее на землю и фиксирует шпилькой. Затем ленту протягивают на один пролет; задний конец ее цепляют крючком за первую шпильку и повторяют все действия, которые производились при измерении первого пролета.

Таким образом, процесс измерения линии продолжается. При этом число установленных передним мерщиком шпилек будет равно числу отложенных лент.

Если передний мерщик израсходовал все шпильки, а расстояние еще не измерено до конца, задний передает ему десять шпилек, удерживая конец ленты у точки, где была последняя шпилька. Передача шпилек фиксируется в журнале измерений. После этого процесс измерения продолжается.

При измерении остатка линии от заднего конца ленты производят отсчет с точностью до 1 см. При отсчете остатка нужно быть очень внимательным. Следует проверить, какой стороной лежит лента. Надписи метровых делений должны возрастать по направлению измеряемой линии (от заднего мерщика к переднему).

Длину линии  $D$  определяют так: к произведению длины ленты  $l$  на число уложений  $n$  прибавляют остаток  $r$ :

$$D=ln+r. \quad (18)$$

Для контроля каждую линию измеряют дважды – в прямом и обратном направлениях.

Оценка точности результатов измерений производится по относительной ошибке, которая определяется как частное от деления абсолютной ошибки на среднюю длину измеряемой линии.

Точность измерений линий по земле характеризуется следующими предельными относительными ошибками:

1:3 000 при благоприятных условиях (местность ровная с плотным грунтом);

1:2 000 при средних условиях (местность всхолмленная, грунт более слабый);

1:1 000 при неблагоприятных условиях (местность пересеченная, грунт слабый – песок, болото, пашня, местность, покрытая кочками, кустарником и т.д.).

Если относительная ошибка не превышает допустимый предел, то за окончательный результат принимают среднее значение измеренной линии. Если превышает, то линию необходимо перемерить.

Для записи результатов измерения длин линий лентой можно приспособить любой журнал, в котором нужно сделать следующие разделы:

измерение линий в прямом направлении; измерение линий в обратном направлении; дополнительное измерение линий; обработка линейных измерений.

## 7.2. Приведение наклонных расстояний к горизонту

Результаты измерений чаще всего необходимо выражать на чертежах, планах и картах, т.е. на горизонтальной плоскости. Измерения же производят на поверхности рельефа, где есть уклоны.

На рис.35:

$A$  и  $B$  – точки местности;

$D$  – расстояние между этими точками (длина наклонной линии местности);

$C$  – ортогональная проекция точки  $B$  на плоскость;

$d$  – горизонтальное проложение линии  $AB$ ;

$\nu$  – угол наклона;

$h$  – превышение точки  $B$  над точкой  $A$ ;

$\Delta D = D - d$  – разница между длиной линии на местности и ее горизонтальным проложением (поправка за наклон).

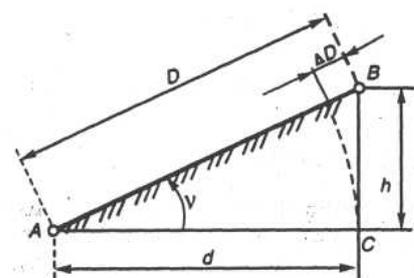


Рис.35. Приведение наклонного расстояния к горизонту.

Для вычисления горизонтальной проекции (горизонтального проложения) линии местности  $d$  используют формулу:

$$d = D \cdot \cos \nu; \quad (19)$$

Углы наклона линий или их частей измеряют при угловых измерениях.

Так же, для приведения наклонных расстояний к горизонту, можно использовать поправку за наклон, которая вычисляется по формулам:

$$\Delta D = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}; \quad \Delta D = \frac{h^2}{2D}, \quad (20)$$

Поправка за наклон линии к горизонту зависит от измеренного расстояния и угла наклона. Если отрезки линии имеют разные наклоны, то поправка для каждого отрезка вычисляется отдельно.

## 7.3. Вычисление длин линий

Длина линии  $D$  определяется так: к произведению длины ленты  $l$  на число уложений  $n$  прибавляют остаток  $r$ :  $D = ln + r$ .

Если рабочая лента имеет длину  $l$ , отличную от номинальной  $l_0$ , то вводят поправку за компарирование  $\Delta l$ :

$$\Delta l = l - l_0. \quad (21)$$

В этом случае длину линии вычисляют по формуле:

$$D = l_0 n \pm \Delta l n + r \pm (\Delta l / l_0) r; \quad (22)$$

При вычислении длины линии, измеренной лентой, длина которой **больше** номинальной, поправка за неверную длину рабочей ленты

прибавляется; если же рабочая лента **короче** номинальной, то поправка **вычитается**.

Или же поправку за компарирование можно вычислить по формуле:

$$\Delta l = (l - l_n) \cdot (D / l_n), \quad (23)$$

где  $l$  – фактическая длина ленты;  $l_n$  – номинальная длина ленты;  $D$  – длина измеренной линии.

Если линейные измерения проводились при температуре, отличной от температуры компарирования (в РФ 20°C), на величину, превышающую 8–10°C, то вводят поправку за температуру  $\Delta t$ , вычисляемую по формуле:

$$\Delta t = \alpha (t_{изм} - t_{комп}) l_{комп}, \quad (24)$$

где  $l_{комп}$  – длина ленты, определенная при компарировании;

$\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$  – коэффициент линейного расширения стали при изменении температуры на 1°C;

$t_{изм}$  и  $t_{комп}$  – температура при измерении и при компарировании.

## 7.4. Определение недоступных расстояний

В случае, когда невозможно измерить расстояние между точками непосредственно механическими мерными приборами, его можно определить косвенным способом. В этом случае измеряют базисы и углы.

Например, необходимо измерить расстояние между точками  $A$  и  $B$ , между которыми существует препятствие (река, овраг и т.д.), но есть взаимная видимость (рис.36а). В этом случае от точки  $A$  строят два базиса  $b_1$  и  $b_2$  таким образом, чтобы между ними и измеряемой прямой линией образовались два треугольника с углами при основании не менее 30° и не более 150°. Базисы измеряют мерной лентой в прямом и обратном направлениях и при допустимых расхождениях в промерах определяют среднее значение каждого из них.

Теодолитом способом полных приемов измеряют углы при основаниях полученных треугольников:  $\beta_1, \beta_2, \beta_4, \beta_5$ . Углы  $\beta_3$  и  $\beta_6$  или вычисляют, или тоже измеряют. По теореме синусов дважды определяют значение искомого недоступного расстояния:

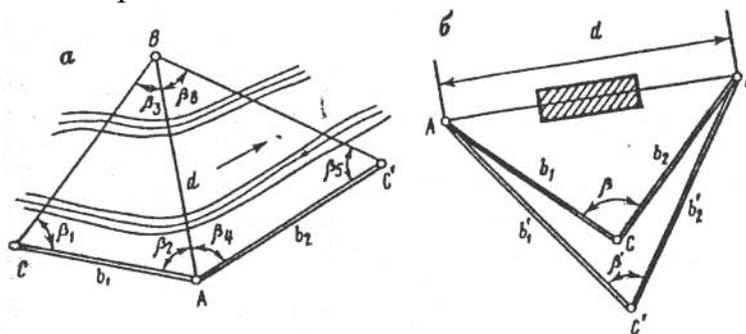


Рис.36 Определение недоступных расстояний.

$$d_1 = \frac{b_1 \sin \beta_1}{\sin \beta_3}; \quad d_2 = \frac{b_2 \sin \beta_5}{\sin \beta_6}. \quad (25)$$

Разность между двумя значениями не должна превышать 1/1000 ее длины. За окончательное значение принимают среднее:

$$d_{CP} = (d_1 + d_2) / 2.$$

При отсутствии взаимной видимости между точками  $A$  и  $B$  (рис.36б), на местности разбивают два треугольника, измеряют базисы ( $b_1, b_2, b'_1, b'_2$ ) и углы ( $\beta$  и  $\beta'$ ). Искомое расстояние вычисляют дважды по теореме косинусов:

$$d_1 = \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - 2b_1b_2 \cos \beta}, \quad (26)$$

## 7.5. Решение задач по теме «Линейные измерения»

**Задача 1.** Вычислить длину линии ( $D$ ), измеренной стальной лентой, длина ( $l$ ) которой равна 20,00 м, если число уложений ленты ( $n$ ) равно 9 и отсчет при измерении остатка ( $r$ ) равен 5,38 м.

Решение:

Длина измеренной линии равна:  $D = 20 \text{ м} \cdot 9 + 5,38 \text{ м} = \underline{\underline{185,38 \text{ м}}}$ .

**Задача 2.** Вычислить длину линии ( $D$ ), измеренной стальной лентой, длина ( $l$ ) которой равна 19,995 м, если число уложений ленты ( $n$ ) равно 11 и отсчет при измерении остатка ( $r$ ) равен 7,46 м.

Решение:

Вычисляем поправку за компарирование:  $\Delta l = 19,995 - 20,000 = -0,005 \text{ м}$ .

Вычисляем поправку к остатку:  $\Delta r = -0,005 / 20,000 \cdot 7,46 = -0,002 \text{ м}$ .

Длина измеренной линии равна:

$$D = 20 \text{ м} \cdot 11 - 0,005 \text{ м} \cdot 11 + 7,46 \text{ м} - 0,002 \text{ м} = \underline{\underline{227,403 \text{ м}}}$$

**Задача 3.** Вычислить длину линии ( $D$ ), измеренной стальной лентой, длина ( $l$ ) которой равна 20,006 м, если число уложений ленты ( $n$ ) равно 8 и отсчет при измерении остатка ( $r$ ) равен 14,71 м.

Решение:

Вычисляем поправку за компарирование:  $\Delta l = 20,006 - 20,000 = +0,006 \text{ м}$ .

Вычисляем поправку к остатку:  $\Delta r = +0,006 / 20,000 \cdot 14,71 = +0,004 \text{ м}$ .

Длина измеренной линии равна:

$$D = 20 \text{ м} \cdot 8 + 0,006 \text{ м} \cdot 8 + 14,71 \text{ м} + 0,004 \text{ м} = \underline{\underline{174,762 \text{ м}}}$$

**Задача 4.** Длина мерного прибора 50 м, температура при измерении  $+1^\circ\text{C}$ . Вычислить поправку за температуру.

Решение:  $\Delta t = 0,0000125 \cdot (+1^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \cdot 50 \text{ м} = -0,00975 \approx \underline{\underline{-0,01 \text{ м}}}$ .

**Задача 5.** Определить длину линии ( $D_0$ ) полученную при выполнении высокоточных измерений, если известна ее длина ( $D = 476,78 \text{ м}$ ), угол наклона ( $\nu = 6^\circ 25'$ ), длина мерного прибора ( $l = 20,003 \text{ м}$ ), температура при измерениях ( $t = -9^\circ\text{C}$ ).

Решение:

Длину линии вычисляем по формуле:

$$D_0 = D - \Delta D_\nu + \Delta D_\kappa + \Delta D_t,$$

где  $D_0$  – окончательное значение длины линии;  $D$  – измеренное значение длины линии;  $\Delta D_\nu$  – поправка за наклон;  $\Delta D_\kappa$  – поправка за компарирование;  $\Delta D_t$  – поправка за температуру.

Решение:

$$\Delta D_\nu = 2 \cdot 476,78 \cdot \sin^2(6^\circ 25' / 2) = 2,99 \text{ м};$$

$$\Delta D_\kappa = (20,003 - 20,000) \cdot (476,78 / 20) = +0,07 \text{ м};$$

$$\Delta D_t = 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot (-9^\circ - 20^\circ) \cdot 476,78 = -0,17 \text{ м};$$

$$D_0 = 476,78 - 2,99 + 0,07 - 0,17 = \underline{473,69 \text{ м}}.$$

**Задача 6.** Определить длину горизонтальной проекции линии АВ, измеренной на местности по частям. На отрезках АС и СD измерялись углы наклона  $v_1$  и  $v_2$ , а на отрезке DB известно превышение  $h_{DB}$  между концами отрезка.

$$AC = 42,67 \text{ м}; \quad CD = 73,54 \text{ м}; \quad v_1 = -5^\circ 43'; \quad v_2 = +4^\circ 15'; \quad DB = 35,43 \text{ м}; \quad h_{DB} = -1,7 \text{ м}.$$

Решение:

Чтобы определить длину горизонтальной проекции линии АВ, необходимо определить длины горизонтальных проекций всех отрезков (АС, СD, DB) и суммировать их.

$$\Delta D_{AC} = 2 \cdot 42,67 \cdot \sin^2(5^\circ 43'/2) = 0,21 \text{ м}; \quad d_{AC} = 42,67 - 0,21 = 42,46 \text{ м};$$

$$\text{или} \quad d_{AC} = 42,67 \cdot \cos 5^\circ 43' = 42,46 \text{ м}.$$

$$\Delta D_{CD} = 2 \cdot 73,54 \cdot \sin^2(4^\circ 15'/2) = 0,20 \text{ м}; \quad d_{CD} = 73,54 - 0,20 = 73,34 \text{ м};$$

$$\text{или} \quad d_{CD} = 73,54 \cdot \cos 4^\circ 15' = 73,34 \text{ м}.$$

$$\Delta D_{DB} = 1,7^2/2 \cdot 35,43 = 0,04 \text{ м}; \quad d_{DB} = 35,43 - 0,04 = 35,39 \text{ м}.$$

$$d_{AB} = 42,46 + 73,34 + 35,39 = \underline{151,19 \text{ м}}$$

**Задача 7.** На местности измерена длина линии в прямом ( $D_{np} = 187,53 \text{ м}$ ) и обратном ( $D_{обр} = 187,60 \text{ м}$ ) направлениях. Оценить точность линейных измерений в соответствии с требуемой точностью, выраженной относительной погрешностью  $1/2000$ .

Решение:

Вычисляем абсолютную погрешность при данных результатах измерений (разница между двумя измерениями):

$$\Delta D = 187,60 - 187,53 = 0,07 \text{ м}.$$

Вычисляем предельную абсолютную погрешность:  $\Delta D_{пред}/187 = 1/2000$ ;

$$\Delta D_{пред} = 187 \cdot 1/2000 = 0,09 \text{ м}.$$

Так как  $0,07 \text{ м} < 0,09 \text{ м}$ , т.е. полученная погрешность не превышает предельную, то она допустима и за вероятнейшее значение длины линии принимают среднее арифметическое из двух измерений:

$$D_{cp} = (187,53 + 187,60)/2 = \underline{187,56 \text{ м}}.$$

## 7.6. Измерение длин линий косвенно

Расстояния измеряют косвенным путем с помощью специальных геодезических приборов, называемых **дальномерами**.

Дальномеры подразделяются на оптические и электронные.

### Оптические дальномеры.

В основу определения расстояния положено оптико-механическое решение параллактического треугольника (рис.37а), в котором по малому (параллактическому) углу ( $\beta$ ) и противолежащему ему катету ( $b$ ), называемого базисом определяют расстояние( $d$ ):

$$d=b \cdot ctg\beta. \quad (27)$$

В зависимости от того, какой элемент треугольника измеряется, различают следующие типы оптических дальномеров: с постоянным углом и переменным базисом, с постоянным базисом и переменным углом.

Наиболее часто используется нитяной оптический дальномер с постоянным параллактическим углом, который образуется оптически, с помощью дальномерных штрихов на сетке нитей зрительной трубы. Роль базиса выполняет дальномерная рейка.

На рис.37б схематически показан ход лучей в зрительной трубе, проходящих через точки пересечения вертикальной нити сетки с тремя горизонтальными. Крайние горизонтальные нити – дальномерные, они служат для измерения расстояний.

Пусть требуется определить расстояние  $d$  от точки  $N$ , над которой центрирован прибор, до точки  $M$ , в которой установлена дальномерная рейка-брусок с нанесенными равными между собой делениями.

Из рис.37б имеем:

$$d=d'+f+\delta, \quad (28)$$

где  $d'$  – расстояние от переднего фокуса объектива до рейки;  $f$  – фокусное расстояние объектива зрительной трубы;  $\delta$  – расстояние от объектива до основной оси теодолита.

Лучи, идущие от дальномерных нитей  $a'$  и  $b'$  пройдут через объектив и пересекут рейку в точках  $A$  и  $B$ . Обозначив расстояние между дальномерными нитями  $a'b'$  через  $p$ , а количество делений на рейке между точками  $A$  и  $B$  через  $l$ , из подобия треугольников  $ABF$  и  $abF$  получим:

$$d'=fl/p, \quad (29)$$

Отношение  $f/p$  называют коэффициентом дальномера и обозначают через  $K$ , а сумму  $(f+\delta)$  – постоянную дальномера обозначают через  $c$ . Тогда наша формула примет вид:

$$d=Kl+c. \quad (30)$$

Дальномерные нити наносят так, чтобы при сантиметровых делениях на рейке  $K=100$ . Для труб с внутренней фокусировкой величина  $c$  оказывает влияние лишь при измерении малых расстояний. Для расстояний более 50 м ее можно не учитывать.

В итоге расстояние вычисляется по формуле:

$$d=100n, \quad (31)$$

где  $n$  – число сантиметровых делений, отсчитанных по рейке.

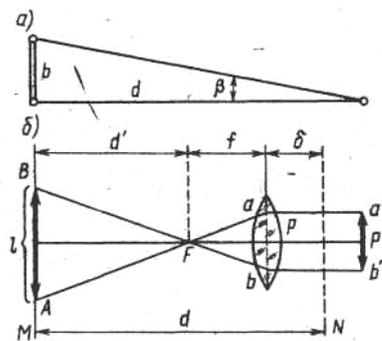


Рис.37. К определению расстояния нитяным дальномером.

Точность оптических дальномеров 1:200 – 1:400. Длины линий должны быть не более 200 метров.

**Электронные дальномеры** делятся на электронно-оптические (светодальномеры) и радиоэлектронные (радиодальномеры).

Измерение расстояний с их помощью является одним из наиболее точных и высокопроизводительных методов производства геодезических работ. Они относятся к группе электромагнитных дальномеров, основанных на принципе измерения времени прохождения электромагнитными волнами удвоенного измеряемого расстояния (от излучателя до отражателя и обратно).

Если обозначить скорость распространения электромагнитных волн через  $V$ , а время их прохождения двойного измеряемого расстояния через  $t$ , то искомое расстояние  $S$  определится по формуле:

$$S=Vt/2.$$

Светодальномеры используют электромагнитные колебания светового диапазона, их широко применяют в практике инженерно-геодезических измерений. Для измерения расстояния на одной точке устанавливают светодальномер, а на другой отражатель. Световой поток посылается из передатчика на отражатель, который отражает его обратно на тот же прибор. Прибор фиксирует время, производит вычисления и на дисплее выдает результат – длину измеряемой линии.

Радиодальномеры применяют главным образом при измерении сравнительно больших расстояний и в навигации. Это обусловлено особенностями излучения, распространения и приема радиоволн.

По сравнению с оптическими дальномерами, точность электронных значительно выше 1:10 000 – 1:500 000. Длины измеряемых линий 5 м – 50 км.

### 7.7. Приведение к горизонту расстояний, измеренных оптическим дальномером

При выводе предыдущей формулы предполагалось, что визирная ось горизонтальна, а дальномерная рейка установлена перпендикулярно ей. Однако на практике в большинстве случаев визирная ось имеет некоторый угол наклона и вследствие этого вертикально установленная рейка не будет перпендикулярна визирной оси.

Пусть в точке  $A$  установлен теодолит, а в точке  $B$  – рейка (рис.38). Если бы рейка, была перпендикулярна визирной оси  $OC$ , то, взяв по ней отсчет  $l'=M'N'$  между дальномерными нитями, получили бы:

$$OC=D=Kl'+c. \quad (32)$$

В действительности вместо отсчета  $l'$  берут отсчет по рейке  $l=MN$ .

Из прямоугольного треугольника  $MCM'$  получим:

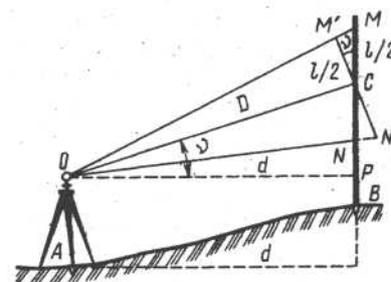


Рис.38. Измерение расстояния нитяным дальномером.

$$l'/2=(l/2)\cos v \text{ или } l'=l\cos v$$

и тогда предыдущая формула примет вид:

$$D=Kl\cos v+c. \quad (33)$$

Из прямоугольного треугольника  $OCP$  имеем:

$$d=D\cos v=Kl\cos^2 v+c\cos v,$$

или

$$d=(Kl+c/\cos v)\cos^2 v, \quad (34)$$

Наибольшее значение  $c$  может быть равно 0,3 м, а  $\cos v$  даже при  $v=25^\circ$  равен 0,9 поэтому можно допустить, что  $c/\cos v \approx c$ , тогда:

$$d=(Kl+c)\cos^2 v. \quad (35)$$

Если измеряемые расстояния больше 50 м, то можно положить  $c=0$  и формула примет вид:

$$d=Kl\cos^2 v. \quad (36)$$

Поправку  $\Delta D=D-d$  определяют по формуле:

$$\Delta D=Kl\sin^2 v. \quad (37)$$

### III. Определение площадей земельных участков

При проведении землеустроительных работ, включающих количественный и качественный учет земель, проектирование различных объектов и проведение других мероприятий, необходимо определение площадей земельных участков.

Выбор технологии измерений для определения площадей земельных участков зависит от многих факторов: требуемая точность, экономическая целесообразность, размеры и конфигурация земельных участков, топографические условия местности, наличие геодезических и планово-картографических материалов.

Наиболее точно площадь участка можно определить путем измерений необходимых геометрических элементов на местности, что требует больших материальных затрат на выполнение полевых работ и вычислений. Более экономично можно определить площадь земельных участков путем измерений на планово-картографической основе, однако точность значительно снижается, поскольку сама топооснова содержит искаженную информацию.

Существуют следующие способы определения площадей земельных участков: аналитический, графоаналитический, механический.

#### 1. Аналитический способ

Исходными данными являются элементы геометрических фигур (горизонтальные углы, горизонтальные проложения) или их функции (координаты вершин многоугольника). При этом измерение геометрических элементов может быть выполнено как на местности, так и на топооснове.

##### 1.1. Геометрический способ

Используют при вычислении площадей участков, конфигурации которых близки к формам геометрических фигур. Если участок представляет собой многоугольник, то его делят на элементарные геометрические фигуры, измеряют площадь каждой и суммируют их.

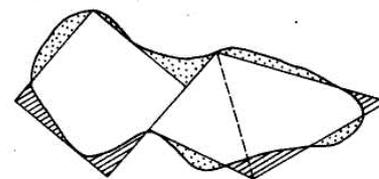


Рис.39. Разбивка площади на простые геометрические фигуры.

На рис.39 показано спрямление криволинейных границ участка и разбивка его площади на простые геометрические фигуры: точками обозначены отсекаемые участки, штриховкой — причленяемые участки.

При вычислении площадей пользуются формулами геометрии.

Треугольник:  $S=0,5 \cdot a \cdot h_a$ ;  $S=0,5 \cdot a \cdot b \cdot \sin\beta$ ;  $S=\sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}$ ; где  $a, b, c$ , – стороны треугольника;  $h_a$  – высота на соответствующую сторону треугольника;  $\beta$  – угол между сторонами треугольника;  $P$  – полупериметр.

Трапеция:  $S=0,5(a+b)h$ ;  $S=\frac{a^2 - b^2}{2(ctq\alpha + ctq\beta)}$ ; где

$a, b$  – основания трапеции;  $h$  – высота трапеции;  $\alpha$  и  $\beta$  – углы при нижнем основании трапеции.

Четырехугольник:  $S=0,5[a \cdot b \cdot \sin\beta_1 + b \cdot c \cdot \sin\beta_2 + a \cdot c \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2 - 180^\circ)]$ ; где  $a, b, c$ , – стороны четырехугольника;  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – углы между сторонами четырехугольника.

## 1.2. Вычисление площади по координатам вершин

Самый точный способ, но требует обязательных полевых измерений.

Вычисления выполняются в специальных ведомостях по следующим формулам:

$$S=1/2\sum x_i(y_{i+1}-y_{i-1}); \quad S=1/2\sum y_i(x_{i-1}-x_{i+1});$$

$$S=1/2(\sum x_i \cdot y_{i+1} - \sum x_i \cdot y_{i-1}), \quad (38)$$

где  $i = 1, 2, 3$  и т.д. – номер вершины полигона.

Если поворотных точек много, то площадь можно вычислить по частям.

Ниже приведена ведомость для вычисления площади:

№ точек	X	Y	$X_{i-1}-X_{i+1}$	$Y_{i+1}-Y_{i-1}$	$Y_i(X_{i-1}-X_{i+1})$	$X_i(Y_{i+1}-Y_{i-1})$
1	2	3	4	5	6	7

В столбцы 1, 2, 3 записывают номера вершин полигона и их координаты. В столбцах 4–7 производят соответствующие вычисления. Затем в столбцах 6 и 7 суммируют все полученные числа и записывают результат в итоговой строке – это двойная площадь полигона. Делят результат пополам и получают площадь полигона. Результаты по столбцам 6 и 7 должны быть одинаковыми, это является контролем.

## 2. Графоаналитический способ

При вычислении площади этим способом пользуются палетками.

Палетка представляет собой прозрачный лист (пластик, калька) на который нанесена сеть квадратов – сеточная палетка; или сеть точек – точечная палетка; или параллельные линии – палетка с параллельными линиями.

Относительная ошибка измерения площадей палетками 1:100.

### 2.1. Сеточная палетка

На палетку наносят сеть квадратов со сторонами 1–10 мм.

До начала измерения площади заданного участка по карте необходимо определить цену или значение одного деления палетки в единицах измерения площади. Зная величину стороны малого квадрата палетки и масштаб карты, на которой необходимо выполнить измерения, легко определить цену деления палетки. Например: масштаб карты 1:5000, сторона малого квадрата палетки (на рис.40 –  $a$ ) равна 5 мм. При данном масштабе в 5 мм карты – 25 м местности. Следовательно, цена деления палетки в данном случае будет равна  $25 \times 25 = 625 \text{ м}^2$ .

Для измерения площади участка палетку накладывают на контур, имеющийся на карте. Сначала подсчитывают число полных клеток, заключенных в данном контуре, затем «на глаз» оценивают доли неполных клеток. На рис.40 число клеток и их долей, заключенных в контур равно 50.

Произведение суммы полных клеток и их долей ( $n$ ) на цену деления палетки ( $a^2$ ) и есть площадь заданного участка ( $P$ ):

$$P = a^2 n. \quad (39)$$

В нашем примере  $P = 625 \text{ м}^2 \cdot 50 = 31250 \text{ м}^2$ .

Площадь определяют несколько раз, меняя положение палетки.

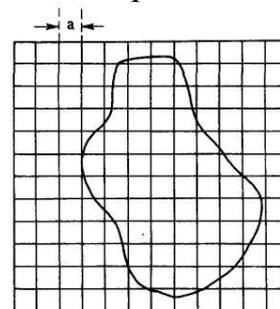


Рис.40. Сеточная палетка, наложенная на измеряемую фигуру.

### 2.2. Точечная палетка

Очень похожа на сеточную палетку. Точки ставят в углах клеток сеточной палетки с известной ценой деления, затем линии сетки удаляют. Вес каждой точки равен цене деления сеточной палетки.

Для определения площади участка палетку накладывают на контур (рис.41). Подсчитывают число точек, заключенных в данном контуре.

Произведение числа точек на вес точки и

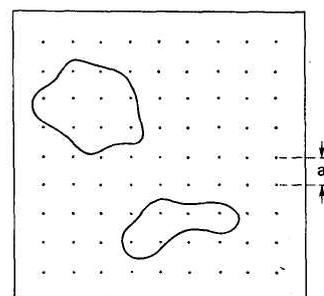


Рис.41. Точечная палетка.

есть площадь заданного участка.

Площадь определяют несколько раз, меняя положение палетки.

### 2.3. Палетка с параллельными линиями

На палетку наносят параллельные линии с интервалом 2–10 мм (на рис.42. –  $h$ ).

Для определения площади палетку накладывают на контур так, чтобы крайние точки были размещены на середине между параллельными линиями. Площадь определяемого контура будет разделена на трапеции, у которых линии палетки будут средними линиями, а основания трапеций будут проведены мысленно (на рис.42 – пунктиром). Высоты всех трапеций одинаковы, они равны расстоянию между параллельными линиями ( $h$ ).

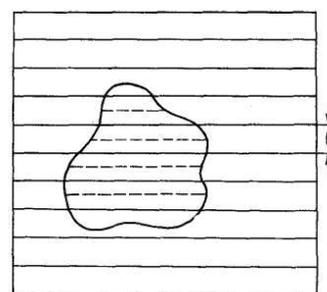


Рис.42. Палетка с параллельными линиями.

Для определения площади контура измеряют средние линии всех трапеций. Общая площадь контура будет равна произведению высоты в масштабе карты ( $h$ ) на сумму длин средних линий ( $\Sigma l$ ):

$$P = h \cdot \Sigma l. \quad (40)$$

### 3. Механический способ

При механическом способе применяют планиметры различных конструкций. **Планиметром** называют механический прибор, который путем обвода плоской фигуры любой формы определяет ее площадь. Наиболее распространен полярный планиметр.

**Полярный планиметр** состоит из трех основных частей (рис.43): двух рычагов – полюсного 3 и обводного 2 и каретки со счетным механизмом. Полюсный рычаг на одном конце имеет грузик с иглой 4. Иглу перед обводкой контура вкалывают в бумагу. Она является осью вращения планиметра и поэтому называется *полюсом* (точка  $O$ ). На другом конце полюсного рычага жестко прикреплен стержень с шариком на конце. При помощи этого стержня и гнезда в каретке

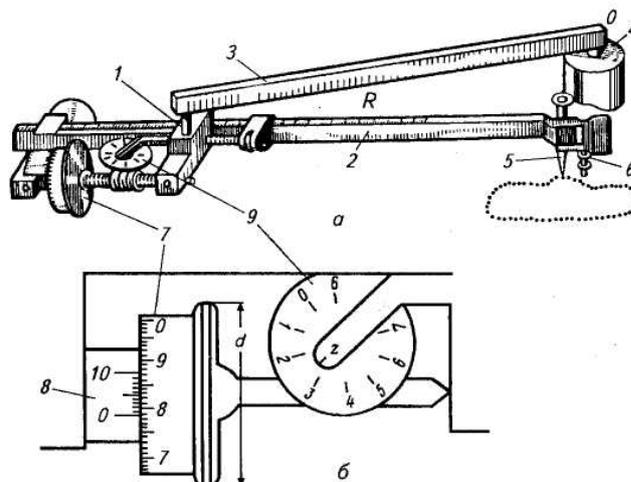


Рис.43. Полярный планиметр (а) и схема его счетного механизма (б).

счетного механизма полюсный и обводной рычаги шарнирно 1 соединяются перед работой. На конце обводного рычага расположен обводной шпиль или

обводное стекло с точкой 5. При измерении площади шпиль (точку) перемещают по контуру участка. Чтобы конец шпиля во время обвода не задевал за бумагу, его высоту над бумагой регулируют опорным винтом 6. Результаты обвода (измерения площади) фигуры определяются вращением счетного ролика 7, который при обводе фигуры соприкасается с поверхностью бумаги.

Перед измерением обводный шпиль устанавливают над какой-либо точкой контура площади и по счётному механизму делают начальный отсчёт  $n_1$ , после обвода контура площади делают конечный отсчёт  $n_2$ .

Искомая площадь при полюсе вне контура вычисляется по формуле:

$$П=c(n_2-n_1);$$

при полюсе внутри контура – по формуле:  $П=c(n_2-n_1+q)$ , (41)

где  $c$  – цена одного деления планиметра,  $q$  – постоянная планиметра.

Перед измерением определяют  $c$  и  $q$  по формулам:

$$c=П/(n_2-n_1), q=П/c-(n_2-n_1). \quad (42)$$

Величина  $c$  определяется несколькими обводами контура геометрической фигуры известной площади. Если на плане имеются координатная или километровая сетка, обводят несколько раз контур одного квадрата и по среднему значению из разности отсчётов каждого обвода вычисляют  $c$ , а затем определяют  $q$ .

Счетный механизм состоит из счетчика оборотов (циферблата) 9, счетного колеса 7 и верньера 8. Отсчет по счетному механизму составляется из четырех цифр: с циферблата берется число полных оборотов счетного колеса; по нулевому индексу верньера берутся вторая и третья цифры на счетном колесе (фиксирующие десятые и сотые доли его оборота); четвертая цифра (показывающая тысячные доли оборота счетного колеса) определяется по номеру совпадающего штриха верньера с каким-либо штрихом счетного колеса (на рис. 43 отсчет по счетному механизму — 2783).

Планиметр должен удовлетворять следующим требованиям, выполнение которых перед работой следует проверять: счётное колесо должно вращаться легко и свободно; плоскость счетного колеса должна быть перпендикулярна к оси обводного рычага.

### Список литературы:

1. Андреев Н.В. Топография и картография. – М.: Просвещение, 1985. – 159 с.
2. Григоренко А.Г., Киселев М.И. Инженерная геодезия: Учеб. для техникумов. – М.: Высш. шк., 1988. – 264 с.
3. Дубенок Н.Н., Шуляк А.С. Землеустройство с основами геодезии.– М.: КолосС, 2002. – 320 с.
4. Картография с основами топографии: Учеб. пособие / Г.Ю. Грюнберг, Н.А. Лапкина, Н.В. Малахов, Е.С. Фельдман; Под ред. Г.Ю. Грюнберга. – М.: Просвещение, 1991. – 368 с.
5. Киселев М.И., Михелев Д.Ш. Геодезия. – М.: Академия, 2008. – 384 с.
6. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Академия, 2008. – 479 с.
7. Куштин И.Ф. Куштин В.И. Инженерная геодезия: Учебник. – Ростов-на-Дону: ФЕНИКС, 2002. – 416 с.
8. Левицкий И.Ю., Евглевская Я.В. Решение задач по географическим картам. – М.: Просвещение, 1996. – 159 с.
9. Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: КолосС, 2008. – 600 с.
10. Модринский Н.И. Геодезия. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1972. – 464 с.
11. Скогорева Р.Н. Геодезия с основами геоинформатики. – М.: Высш. шк., 1999. – 205с.
12. Федотов Г.А. Инженерная геодезия: Учебник.– М. Высш. шк., 2007. – 464 с.
13. Фельдман В.Д., Михелев Д.Ш. Основы инженерной геодезии: Учебник. – М.: Высш. шк., 2001. – 314 с.
14. Хаметов Т.И., Громада Э.К., Золотцева Л.Н.. Задачи и упражнения по инженерной геодезии. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 142 с.
15. Южанинов В.С. Картография с основами топографии: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2005. – 302 с.

## Содержание

Раздел I <u>Общие сведения по геодезии</u> .....	1
1. Предмет и задачи геодезии.....	1
2. Основные исторические этапы развития геодезии. Связь геодезии с другими науками.....	2
3. Место геодезической службы в землеустройстве и других областях народного хозяйства.....	4
4. Единицы измерений, применяемые в геодезии.....	5
5. Правила работы с округленными числами. Тригонометрические функции.....	5
6. Общие правила оформления материалов.....	6
Раздел II. <u>Основные понятия геодезии</u> .....	8
1. Земля и ее отображение на плоскости.....	8
1.1. Понятие о физической поверхности Земли, ее форме и размерах... 8	
1.2. Системы координат.....	9
1.3. Система пространственных координат.....	9
1.4. Система прямоугольных координат.....	10
2. Ориентирование линий.....	13
2.1. Ориентирование линий по истинному и магнитному меридианам.. 13	
2.2. Осевой меридиан. Дирекционный угол.....	14
2.3. Румбы.....	15
2.4. Решение задач по теме «Ориентирование линий».....	16
3. Основные стандартные геодезические задачи.....	17
3.1. Прямая геодезическая задача.....	17
3.2. Обратная геодезическая задача.....	18
3.3. Передача дирекционных углов.....	18
3.4. Решение задач по теме «Основные стандартные геодезические задачи».....	19
4. Карта, план, профиль.....	20
4.1. Методы проекций в геодезии.....	20
4.2. Понятие о карте, плане, профиле.....	21
4.3. Масштабы и их точность.....	22
4.4. Решение задач по теме «Масштабы и их точность».....	26
4.5. Разграфка и номенклатура карт и планов.....	27
4.6. Решение задач по теме «Разграфка и номенклатура карт и планов».....	32
4.7. Содержание карт и планов.....	37
4.7.1. Рамка и координатная сетка.....	37
4.7.2. Условные знаки карт и планов.....	38
4.8. Изображение рельефа на плоскости.....	39
4.8.1. Основные формы рельефа местности.....	39
4.8.2. Изображение рельефа горизонталями.....	40
4.9. Решение задач по картам и планам.....	42
4.9.1. Определение прямоугольных координат точки.....	42
4.9.2. Определение географических координат точки.....	43

4.9.3. Определение отметки точки.....	44
4.9.4. Определение углов ориентирования.....	45
4.9.5. Определение направления и крутизны ската.....	45
4.9.6. Проведение на плане или карте линии с заданным уклоном.....	46
4.9.7. Построение профиля местности по заданному направлению.....	46
4.9.8. Отграничение водосборной площади.....	47
5. Понятие о геодезических измерениях и их точности.....	48
5.1. Сущность и методы измерений.....	48
5.2. Виды ошибок измерений.....	48
6. Общие сведения о съемках местности.....	50
6.1. Понятие о съемке местности. Виды съемок.....	50
6.2. Принципы организации геодезических работ.....	51
6.3. Съёмочное обоснование.....	51
6.4. Основные этапы съемок.....	53
6.5. Общие сведения об автоматизированных методах получения и обработки геодезической информации.....	53
7. Линейные измерения.....	55
7.1. Измерение длин линий непосредственно.....	55
7.2. Приведение наклонных расстояний к горизонту.....	57
7.3. Вычисление длин линий.....	58
7.4. Определение неприступных расстояний.....	58
7.5. Решение задач по теме «Линейные измерения».....	59
7.6. Измерение длин линий косвенно.....	61
7.7. Приведение к горизонту наклонных расстояний, измеренных дальномером.....	63
Раздел III. <u>Определение площадей земельных участков</u> .....	64
1. Аналитический способ.....	64
1.1. Геометрический способ.....	64
1.2. Вычисление площади по координатам вершин.....	65
2. Графический способ.....	65
2.1. Сеточная палетка.....	65
2.2. Точечная палетка.....	66
2.3. Палетка с параллельными линиями.....	66
3. Механический способ.....	67
Список литературы.....	69