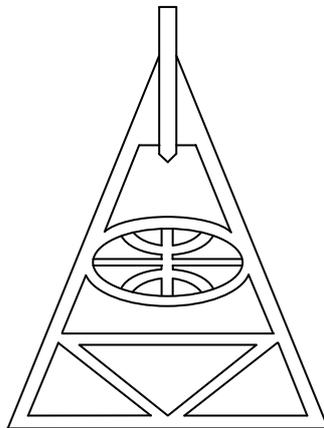


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра городского кадастра и геодезии



## ГЕОДЕЗИЯ

### Решение основных задач на картах и планах

Методические указания  
для выполнения лабораторной работы

Факультеты: экологии, инженерно-строительный

Направления: 072200.62 Реставрация  
120700.62 Землеустройство и кадастры  
270100.62 Архитектура  
270800.62 Строительство  
280100.62 Природообустройство и водопользование  
280700.62 Техносферная безопасность

Вологда  
2011

УДК 528.48 (075.8)

**Геодезия. Решение основных задач на картах и планах:** методические указания для выполнения лабораторной работы. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – 40 с.

Приведены основные сведения о современных топографических картах и планах. Даны характеристики карт и планов, рассмотрены способы изображения рельефа, контуров и объектов местности, различные системы координат и системы ориентирования, применяемые в геодезии, номенклатура топографических карт и планов.

Подробно изложена методика измерений по картам. Рассматриваются определение отметок и координат точек, построение профилей, измерение площадей.

Приведены примеры решения типовых задач. В практической части разделов прилагаются задания.

Составители: Попов Ю.П., ст. преподаватель,  
Румянцева Е.М., ст. преподаватель

Рецензент: Кичигин А.Н., канд. геогр. наук, доцент кафедры ГиИГ

## Оглавление

1. Общие понятия о картах, планах и профилях.....	4
2. Разграфка и номенклатура топографических карт.....	5
3. Масштабы .....	8
4. Условные знаки.....	11
5. Определение планового положения точек земной поверхности .....	13
6. Ориентирование линий карт и планов.....	18
7. Измерение длин линий .....	22
8. Измерение площадей.....	24
9. Изображение рельефа горизонталями .....	27
10. Решение задач при работе с высотными отметками .....	33
Библиографический список .....	38

## 1. Общие понятия о картах, планах и профилях

Термин «карта» появился в средние века в эпоху Возрождения. Этот термин происходит от латинского «charta» (лист, бумага).

*Карта* – построенное по определенным математическим законам, уменьшенное и обобщенное изображение поверхности Земли на плоскости.

Карты принято подразделять по содержанию, назначению и масштабу.

По содержанию карты бывают *общегеографические* и *тематические*, по назначению – *универсальные* и *специальные*. Общегеографические карты универсального назначения отображают земную поверхность с показом всех ее основных элементов (населенные пункты, гидрография и т.д.). Математическая основа, содержание и оформление специальных карт подчиняются их целевому назначению (карты морские, авиационные и многие другие).

По масштабам карты условно делят на три вида:

- крупномасштабные (1:10 000 и 1:100 000);
- среднемасштабные (1:200 000 – 1:1 000 000);
- мелкомасштабные (мельче 1:1 000 000).

*План* – уменьшенное и подобное изображение на плоскости горизонтальной проекции небольшого участка земной поверхности без учета кривизны Земли. Планы также подразделяются по *содержанию* и *масштабу*.

Если на карте (плане) изображены только местные объекты (*ситуация*), то карту (план) называют *контурной (ситуационной)*. Если дополнительно отображен рельеф, то такая карта (план) называют *топографической*.

В Российской Федерации государственные топографические карты издают в масштабах 1:1 000 000 – 1:10 000.

Стандартные масштабы планов 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000.

Для составления карты или плана участка местности, выполняются две операции: сначала проектируют рельеф и ситуацию местности на общую фигуру Земли, а затем, по математическим правилам, проектируют общую фигуру вместе с изобразившимися на ней элементами поверхности Земли на плоскость.

В инженерной геодезии и в работах по топографии условно считают, что Земля имеет форму шара радиусом 6371,11 км. Кривизну Земли для участка диаметром менее 20 км можно не учитывать.

Карты обычно разрабатывают для обширной части земной поверхности, при этом приходится учитывать кривизну Земли. Изображение участка эллипсоида нельзя перенести на бумагу без разрывов. При разработке карт задача состоит не в полном устранении искажений, что невозможно, а в уменьшении искажений и математическом определении их значений с тем, чтобы по искаженным изображениям можно было вычислить действительные величины. Для этого применяют картографические проекции, дающие возможность изображать на плоскости поверхность сфероида или шара по математическим законам, обеспечивающим измерения по карте.

Различные требования к картам определили наличие многих картографических проекций, которые делят на *равноугольные*, *равновеликие* и *произвольные*. В равноугольных проекциях сфероида на плоскость сохраняются углы изображаемых фигур, но масштаб при переходе от точки к точке изменяется, что приводит к искажению фигур конечных размеров. Однако небольшие участки карты, в пределах которых изменения масштаба не имеют существенного значения, можно рассматривать и использовать как план.

В проекциях равновеликих сохраняется отношение площадей любых фигур на сфероиде и на карте, т.е. масштабы площадей везде одинаковы (при отличающихся масштабах по различным направлениям).

В произвольных проекциях не соблюдается ни равноугольность, ни равновеликость. Они применяются для мелкомасштабных обзорных карт, а также для специальных карт в тех случаях, когда карты обладают каким-либо специфическим полезным свойством.

В тех случаях, когда карты или планы используют для проектирования инженерных сооружений, для получения оптимального решения особое значение приобретает наглядность в отношении физической поверхности Земли по какому-либо направлению. Например, при проектировании линейных сооружений (дорог, каналов и т.д.) необходимы: детальная оценка крутизны скатов на отдельных участках трассы, ясное представление о почвенно-грунтовых и гидрологических условиях местности, по которой проходит трасса. Такую наглядность, позволяющую принимать обоснованные инженерные решения, обеспечивают профили.

*Профиль* – изображение на плоскости вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Чтобы неровности земной поверхности были более заметными, вертикальный масштаб следует выбирать крупнее горизонтального (обычно в 10 – 20 раз). Таким образом, как правило, профиль является не подобным, а искаженным изображением вертикального разреза земной поверхности.

## **2. Разграфка и номенклатура топографических карт**

Территория всей страны изображается на картах по частям. Размеры листов карты устанавливают такой величины, чтобы ими было удобно пользоваться. Так, лист карты масштаба 1:10 000 для средней полосы РФ имеет размеры примерно 50 × 40 см и содержит изображение участка местности площадью 20 км<sup>2</sup>. Для всей территории страны число листов карты такого масштаба превышает 1 млн.

Для того чтобы можно было разобраться в таком количестве картографических материалов и быстро найти нужный лист карты определенного участка местности, разработана специальная система обозначения листов карты – *номенклатура*.

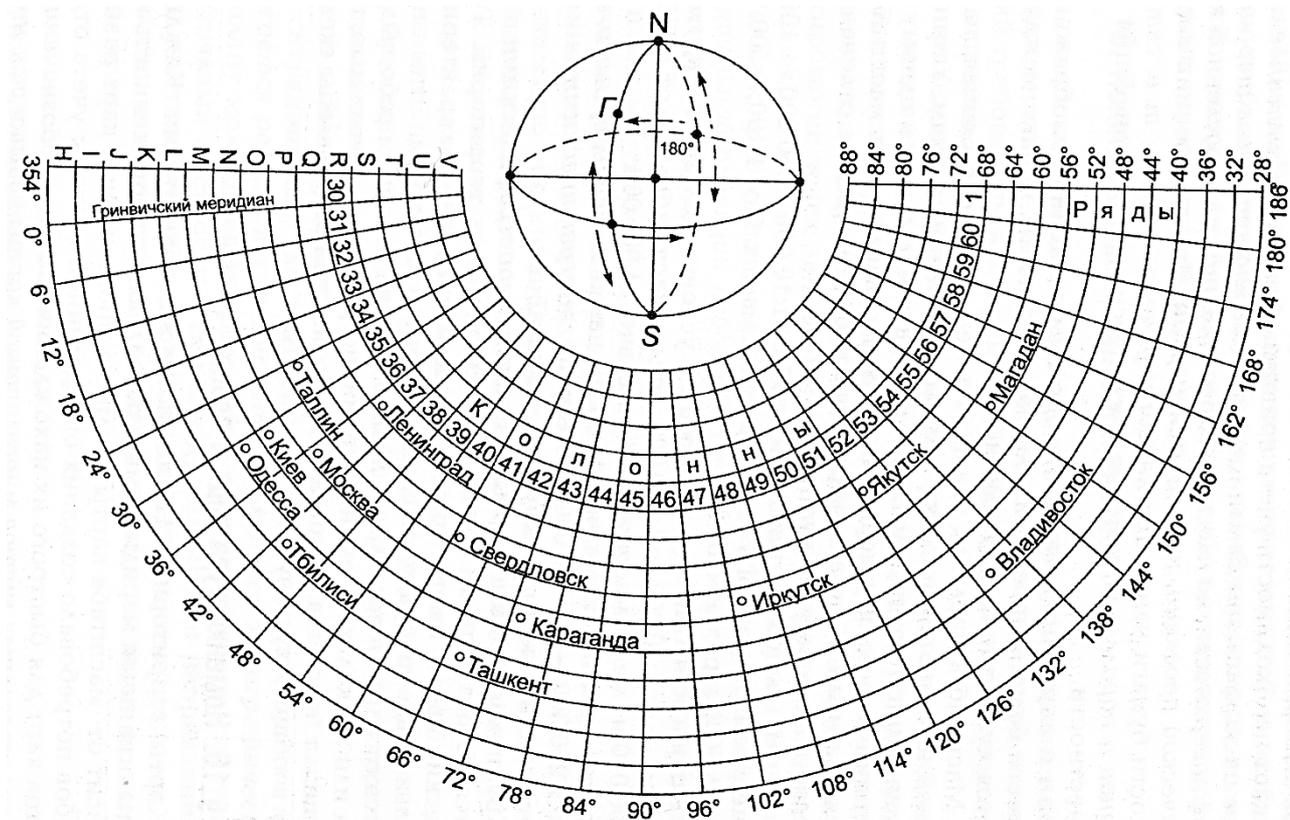


Рис. 1. Схема разграфки листов топографических карт

За основу разграфки и номенклатуры листов топографических карт принята разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000 (рис. 1).

Поверхность земного шара делится параллелями, начиная от экватора, к северу и югу через  $4^\circ$  на ряды и меридианами через  $6^\circ$  на колонны, начиная от меридиана с долготой  $180^\circ$ . Ряды обозначаются прописными буквами латинского алфавита от *A* до *V*, от экватора к северу и югу. Колонны нумеруются арабскими цифрами, начиная от меридиана с долготой  $180^\circ$ , с запада на восток. Таким образом, поверхность Земли разделена на сферические трапеции с размерами сторон по широте  $4^\circ$  и по долготе  $6^\circ$ . Каждая трапеция представляет собой участок местности, изображаемый на листе карты масштаба 1:1 000 000. Номенклатура этих листов образуется из буквы, которой обозначен ряд, и из цифры номера колонны. Например, лист карты масштаба 1:1 000 000 на территорию Владивостока имеет номенклатуру *K-53*, Москвы – *N-37*.

Разграфку карт более крупного масштаба получают деля лист карты миллионного масштаба на части. В одном листе карты миллионного масштаба содержится 4 листа карты масштаба 1:500 000, 36 листов – 1:200 000, 144 листа – 1:100 000 и т. д. При этом номенклатура, которая начинается с карты масштаба 1:1 000 000, последовательно наращивается.

Номенклатура, размеры рамок и количество листов в одном листе базового масштаба для топографических карт и планов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Масштаб	Номенклатура	Размер листа по		Площадь листа, км <sup>2</sup>	Количество листов
		широте	долготе		
1 : 1 000 000	N-37	4°	6°	166 280,0	1
1 : 500 000	N-37-Г (от А до Г)	2°	3°	41 270,0	4
1 : 200 000	N-37-XXXVI (от I до XXXVI)	0° 40'	1°	4 624,0	36
1 : 100 000	N-37-144 (от 1 до 144)	0° 20'	0° 30'	1 162,0	144
1 : 50 000	N-37-144-Г (от А до Г)	10'	15'	290,0	4
1 : 25 000	N-37-144-Г-г (от а до г)	05'	07' 30"	72,0	4
1 : 10 000	N-37-144-Г-г-4 (от 1 до 4)	02' 30"	03' 45"	18,0	4
1 : 5 000	N-37-144 (256) (от 1 до 256)	01' 15"	01' 52,5"	4,5	256
1 : 2 000	N-37-144 (256-и) (от а до и)	0' 25"	0' 37,5"	0,5	10

### Практическая часть

Допустим, требуется установить номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000, на котором расположена точка  $M$  с координатами  $\varphi = 54^{\circ}41'$ ;  $\lambda = 48^{\circ}05'$  (рис. 2).

Задача заключается в последовательном определении номенклатуры листов карт масштабов 1:1 000 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 и, наконец, 1:10 000. По схеме на рис. 1 определяем, что данная точка расположена в ряду, обозначенном буквой  $N$  (между параллелями с широтами 52 и 56°), и в колонне с номером 39 (между меридианами с долготами 48 и 54°). Следовательно, лист карты масштаба 1:1 000 000 имеет номенклатуру  $N-39$ .

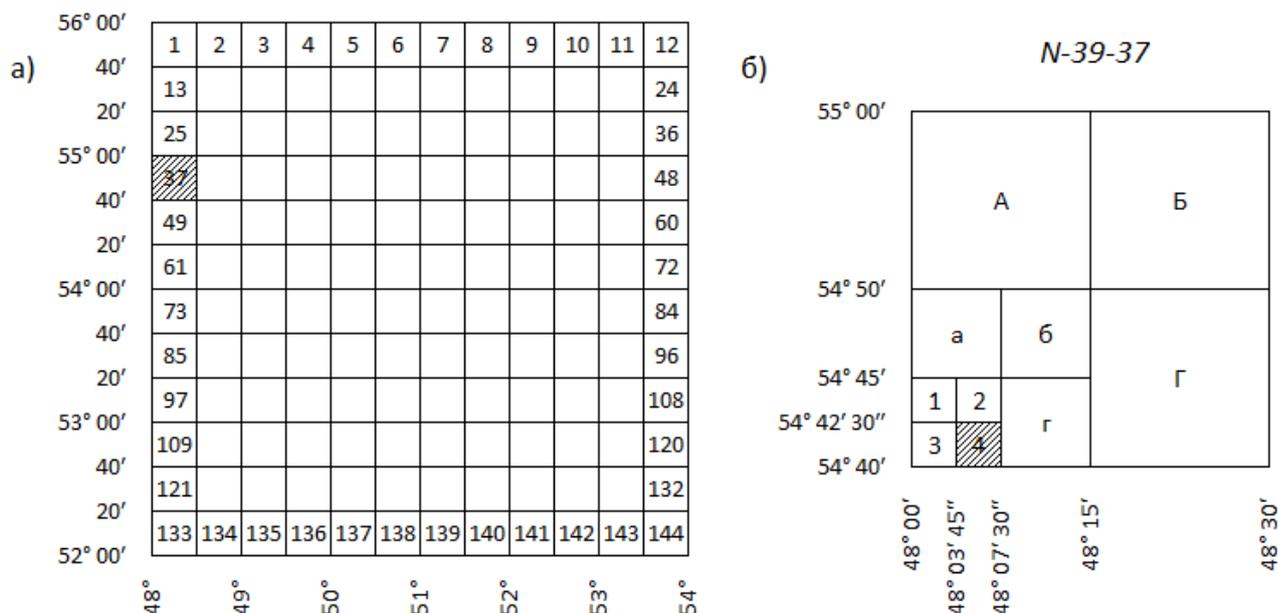


Рис. 2. Схема разграфки топографической карты  $M$  1:10 000

Затем вычертим схему этого листа, аналогичную изображенной на рис. 2,а. Выпишем широту и долготу рамки этого листа с рис. 1. Разделим схему листа карты масштаба 1:1 000 000 на 144 части и пронумеруем их. Обозначим

широты параллелей, которые будут возрастать, через 20', и долготы меридианов которые будут возрастать – через 30'. Очевидно, что точка  $M$  с заданными координатами будет расположена в пределах листа с номером 37. Следовательно, лист карты масштаба 1:100 000, на котором находится данная точка, имеет номенклатуру  $N-39-37$ . Составим схему этого листа (произвольных размеров) в соответствии с координатами его рамок и разделим средними меридианом и параллелью на 4 части (рис. 2, б). Обозначим каждую часть прописными русскими буквами и найдём координаты средних линий. Точка с заданными координатами, согласно составленной схеме, находится в пределах листа карты масштаба 1:50 000, обозначаемого буквой  $B$ ; номенклатура этого листа  $N-39-37-B$ . Затем последовательно вычертим схемы листов карты масштаба 1:25 000 и искомой карты масштаба 1:10 000, по которым определим номенклатуры  $N-39-37-B-в$  и  $N-39-37-B-в-4$  (заштрихован).

Решите следующие задачи:

1. Определите номенклатуру листов карт масштабов 1:100 000 и 1:200 000, на которых расположена одна из точек:

$$\begin{aligned} \varphi &= 44^{\circ}21'; & \varphi &= 53^{\circ}02'; & \varphi &= 54^{\circ}41'; & \varphi &= 61^{\circ}31'; \\ \lambda &= 110^{\circ}01'; & \lambda &= 31^{\circ}23'; & \lambda &= 18^{\circ}04'; & \lambda &= 76^{\circ}51'. \end{aligned}$$

2. Определите географические координаты вершин углов рамки трапеции по номенклатуре карты, заданной преподавателем.

### 3. Масштабы

Горизонтальные проекции отрезков (*горизонтальные проложения*) при составлении карт и планов изображают на бумаге в уменьшенном виде. Степень такого уменьшения характеризуется масштабом.

*Масштаб* карты (плана) – отношение длины линии на карте (плане) к длине горизонтального проложения соответствующей линии местности:

$$M = \frac{d_{\text{на карте(плане)}}}{d_{\text{на местности}}}.$$

Масштабы бывают *численные* и *графические*. Численный масштаб фиксируют двумя способами:

1. В виде простой дроби  $M = \frac{1}{m}$ , например  $M = \frac{1}{2000}$  (или  $M = 1:2000$ ), где в числителе единица, в знаменателе степень уменьшения  $m$ .

2. В виде именованного соотношения, например в 1 см – 20 м. Целесообразность такого соотношения определяется тем, что при изучении местности по карте удобно и привычно оценивать длину отрезков на карте в сантиметрах, а длину горизонтальных проложений на местности представлять в метрах или километрах. Для этого численный масштаб преобразовывают в разнотипные единицы измерения: 1 см карты соответствует такому-то

количеству метров (километров) местности.

**Пример 1.** На плане  $M = 1:5000$  (в 1 см – 50 м) расстояние между точками составляет 1,5 см. Определить горизонтальное проложение между этими же точками на местности.

Решение:  $1,5 \times 5000 = 7500 \text{ см} = 75 \text{ м}$  (или  $1,5 \times 50 = 75 \text{ м}$ ).

**Пример 2.** Горизонтальное проложение между двумя точками на местности равно 40 м. Чему будет равно расстояние между этими же точками на плане, если масштаб:  $M = 1:2000$  (в 1 см – 20 м)?

Решение:  $(1 \text{ см} \times 40 \text{ м}) / 20 \text{ м} = 2 \text{ см}$ .

Чтобы избежать вычислений и ускорить работу при измерении или отложении длины линии, пользуются графическими масштабами. Таких масштабов два: *линейный* и *поперечный*.

Для построения *линейного масштаба* выбирают исходный отрезок, удобный для данного масштаба (чаще длиной 2 см). Этот исходный отрезок называется основанием масштаба (рис. 3). Основание откладывают на прямой линии необходимое число раз, крайнее левое основание делят на части (обычно на 10 частей). Затем линейный масштаб подписывают, исходя из того численного масштаба, для которого он строится (на рис. 3 для  $M = 1:5000$ ). Такой линейный масштаб позволяет оценить отрезок с точностью в 0,1 доли основания, дополнительную часть этой доли приходится оценивать на глаз.

Для обеспечения необходимой точности измерений угол между плоскостью карты и каждой ножкой циркуля-измерителя (рис. 3) не должен быть менее  $60^\circ$ , и измерение длины отрезка следует произвести не менее двух раз. Расхождение  $\Delta S$ , м между результатами измерений должно быть  $\Delta S \leq T\sqrt{2} \cong 1,5T$ , где  $T$  – число тысяч в знаменателе численного масштаба. Так, например, при измерении отрезков по карте  $M 1:10\ 000$  и пользовании линейным масштабом, расхождения при двойных измерениях не должны превышать  $1,5 \times 10 = 15 \text{ м}$ .

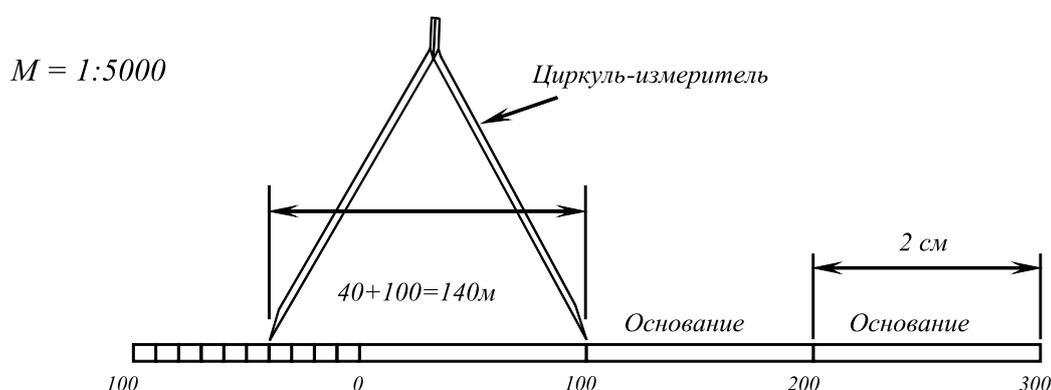


Рис. 3. Определение длины линии по линейному масштабу

Если отрезок длиннее построенного линейного масштаба, то его измеряют по частям. В этом случае расхождение между результатами

измерения в прямом и обратном направлениях не должно превышать  $T\sqrt{2n}$ , где  $n$  – число установок измерителя при измерении данного отрезка.

Для более точных измерений пользуются *поперечным масштабом*, имеющим на линейном масштабе дополнительное построение по вертикали (рис. 4).

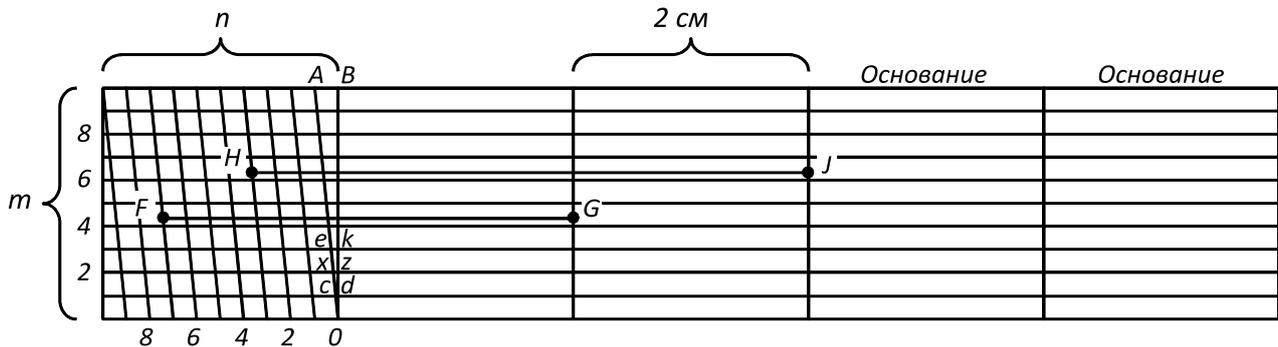


Рис. 4. Определение длины линии по поперечному масштабу

После того как необходимое количество оснований масштаба отложено (обычно длиной 2 см, тогда масштаб называется нормальным), восстанавливают перпендикуляры к исходной линии и делят их на равные отрезки (на  $m$  частей). Если основание разделено на  $n$  частей и точки деления верхнего и нижнего оснований соединены наклонными линиями (трансверсалиями) так, как показано на рис. 4, то отрезок  $cd = \frac{AB}{m} = \frac{\text{основание}}{mn}$ . Соответственно отрезок  $xz = 2cd$ ;  $ek = 3cd$  и т. д. Если  $m = n = 10$ , то  $cd = 0,01$  основания, т. е. такой поперечный масштаб позволяет определенным образом оценить отрезок с точностью в 0,01 доли основания, дополнительную часть этой доли – на глаз. Поперечный масштаб, у которого длина основания 2 см и  $m = n = 10$ , называют сотенным нормальным.

Поперечный масштаб гравировать на металлических линейках, которые называются масштабными. Перед применением масштабной линейки следует оценить основание и его доли по следующей схеме.

Пусть численный масштаб 1:5000, именованное соотношение будет: в 1 см – 50 м. Если поперечный масштаб нормальный (основание 2 см, рис. 4), то основание составит 100 м; 0,1 основания – 10 м; 0,01 основания – 1 м. Задача по отложению отрезка заданной длины сводится к определению числа оснований, его десятых и сотых долей и, в необходимых случаях, к глазомерному определению части его наименьшей доли. Пусть, например, требуется отложить отрезок  $d = 174,35$  м, т. е. требуется взять в раствор измерителя: 1 основание + 7 (0,1 основания) + 4 (0,01 основания) и на глаз расположить ножки измерителя между горизонтальными линиями 4 и 5 (рис. 4) так, чтобы линия  $FG$  отсекала 0,35 промежутка между этими линиями.

Обратная задача (определение длины отрезка, взятого в раствор циркуля-измерителя) решается в обратном порядке. Добившись совмещения

игл циркуля-измерителя с соответствующими вертикальной и наклонной линиями так, чтобы обе ножки циркуля находились на одной горизонтальной линии, считываем количество оснований и его долей ( $d_{НЛ} = 236,3$  м).

При проведении съемок местности для получения планов возникает вопрос: какие наименьшие размеры объектов местности должны отобразиться на плане? Очевидно, чем крупнее масштаб съемки, тем больше будет линейный размер таких объектов. Для того чтобы применительно к конкретному масштабу плана можно было принять определенное решение, вводится понятие о точности масштаба. Опытным путем установлено, что измерить расстояние, пользуясь циркулем и масштабной линейкой, точнее чем 0,1 мм, невозможно. Соответственно под точностью масштаба понимают длину отрезка на местности, соответствующую 0,1 мм на плане данного масштаба.

Так, если  $M$  1:2000, то точность будет:  $M = \frac{1}{m} = \frac{d_{пл}}{d_{местн}} = \frac{1}{2000}$ , но

$d_{пл} = 0,1$  мм, тогда  $d_{местн} = 2000 \times 0,1$  мм = 200 мм = 0,2 м. Следовательно, в этом масштабе (1:2000) предельная графическая точность при нанесении линий на план будет характеризоваться величиной 0,2 м, хотя линии на местности могли измеряться с более высокой точностью.

Следует иметь в виду, что при измерениях на плане взаимного положения контуров точность определяется не графической точностью, а точностью самого плана, где ошибки могут составлять в среднем 0,5 мм вследствие влияния других, кроме графических, погрешностей.

### ***Практическая часть***

Решите следующие задачи:

1. Определите численный масштаб, если горизонтальное проложение линии местности длиной 50 м на плане выражается отрезком в 5 см.
2. На плане  $M$  1:2000 следует отобразить здание, длина которого в натуре 15,6 м. Определите длину здания на плане в мм.
3. Отложите на бумаге в трех указанных масштабах отрезок длиной 144 м.

## **4. Условные знаки**

Объекты местности изображают на картах и планах условными знаками, которые напоминают вид и характер этих объектов, т. е. условные знаки – это графические символы, с помощью которых на картах и планах показывают (обозначают) вид объектов, их местоположение, форму, размеры, качественные и количественные характеристики (рис. 5). Объекты, размеры которых значительны, отображают в масштабе данной карты с сохранением подобия контуров, для малых объектов такое отображение невозможно. Кроме того, и большие, и малые объекты необходимо сопроводить определенными характеристиками (для древостоя указать его среднюю высоту, для моста –

грузоподъемность и т. д.). В связи с этим все условные знаки делят на три группы: *площадные (масштабные)*, *внемасштабные* и *пояснительные*.

*Площадные* служат для изображения объектов в масштабе карты (плана). Контур такого объекта наносится точечным пунктиром или тонкой сплошной линией и заполняется значками, отличающими его от других объектов.

*Внемасштабные* условные знаки применяют для изображения объектов, не выражающихся в данном масштабе. По ним невозможно судить о размерах объекта, но определенная точка знака соответствует положению объекта на местности.

Промежуточное положение между масштабными и внемасштабными занимают *линейные* условные знаки, являющиеся по длине масштабными, а по ширине внемасштабными. Такие знаки используют и для изображения объектов линейного характера (дороги, линии связи и т. д.). Они позволяют передать точное местоположение объектов по их оси.

*Пояснительные* условные знаки, в виде значка, числа, надписи или их совокупности, служат для дополнительной характеристики объектов.

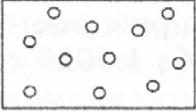
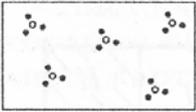
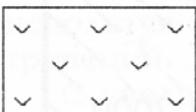
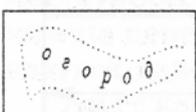
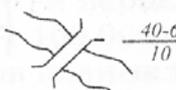
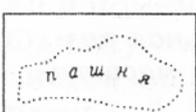
Площадные		Внемасштабные		Линейные	
	Лес		Отдельно стоящее дерево		Шоссе
	Кустарник		Межевой знак		Грунтовая дорога
	Сенокос		Естественные источники		ЛЭП низкого напряжения
	Залежи		Мельница		Граница городских земель
	Огород	<b>Пояснительные</b>  дуб $\frac{9}{0,15}$ 3  клен $\frac{9}{0,15}$ 3 9 — средняя высота деревьев, м 0,15 — средняя толщина деревьев, м 3 — расстояние между деревьями, м  $\frac{40-6}{10}$ 40 — длина моста, м 6 — ширина проезжей части, м 10 — грузоподъемность, т  $\frac{30}{1,5}$ 30 — ширина реки, м 1,5 — глубина реки, м П — грунт дна (песок)			
	Пашня				

Рис. 5. Условные знаки

Условные знаки применительно к различным масштабам приводятся в специальных каталогах, в которых собраны графические изображения знаков, их очертания, размеры, цвет, а также пояснения к ним.

## ***Практическая часть***

По каталогу условных знаков (для крупного масштаба) воспроизведите изображения следующих объектов в масштабах М 1:500 и М 1:2000: постройки огнестойкие жилые, линии электропередачи, шоссе, леса, отдельно стоящие деревья, сплошные заросли кустарников, луговая травянистая растительность, пашни и огороды.

Утвержденные требования к воспроизведению условных знаков приводятся в конце каталогов, в разделе «Пояснения к условным знакам».

## **5. Определение планового положения точек земной поверхности**

Важным элементом математической основы карты являются координатные сетки. Они необходимы для ориентирования по карте, определения направлений (азимутов, румбов, дирекционных углов), прокладки маршрутов, нанесения элементов содержания новых объектов по их координатам и снятия с карты координат объектов. Кроме того, наличие сетки позволяет судить о масштабе карты, виде проекции и распределении искажений в ней. На картах используют разные координатные сетки.

*Картографическая сетка* на карте состоит из линий меридианов и параллелей (географической сетки), отражающих значение долгот, счет которых ведется от начального Гринвичского меридиана, и широт, которые отсчитываются от экватора. Картографическая сетка показывает направления «север-юг» и «запад-восток», позволяет судить о широтных поясах, о расположении объектов относительно сторон света.

На топографические карты наносится *сетка прямоугольных координат* (прямоугольная сетка), состоящая из взаимно перпендикулярных линий. Вертикальные линии сетки идут параллельно осевому меридиану геодезической зоны (ось абсцисс), а горизонтальные – параллельно экватору (ось ординат). Линии проводятся через равные расстояния и оцифровываются через километр. Такая сетка удобна для геодезических вычислений: определения прямоугольных координат, расстояний, направлений и т. п.

На топографических планах также наносится сетка прямоугольных координат.

### ***5.1. Географические координаты***

В системе географических координат местоположение проекции точки на сфероиде определяется двумя углами: широтой и долготой (рис. 6).

*Широтой точки*  $\varphi$  называют угол, образованный отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора. Этот угол отсчитывается от плоскости экватора на север и на юг, изменяясь от 0 до 90°. Соответственно широта бывает северная (+) и южная (-).

*Долготой точки*  $\lambda$  называют двугранный угол, заключенный между

плоскостью начального (Гринвичского) меридиана, и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку. От начального меридиана долготу отсчитывают на восток и запад, от 0 до 180°. Соответственно долгота бывает восточная (+) и западная (-).

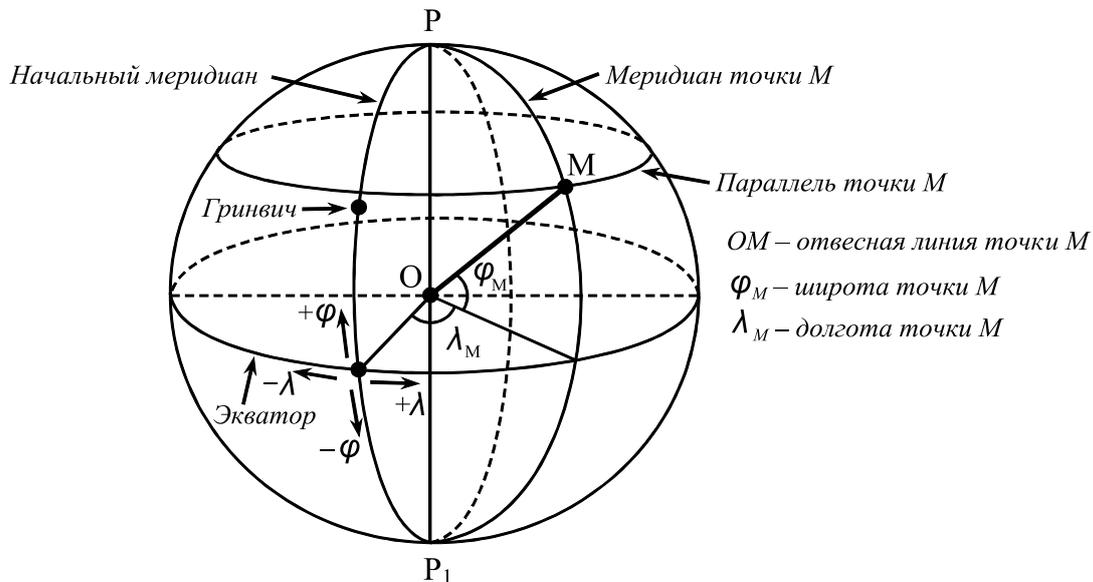


Рис. 6. Схема определения географических координат точки

Для непосредственного определения географических координат точки на карте используют линии меридианов и параллелей. *Меридиан* – линия пересечения уровенной поверхности плоскостями, проходящими через ось вращения Земли, т.е. плоскостями долгот.

*Параллель* – линия пересечения уровенной поверхности плоскостями, перпендикулярными оси вращения Земли, т.е. плоскостями широт.

## 5.2. Зональная система плоских прямоугольных координат (проекция Гаусса – Крюгера)

Зональная система плоских прямоугольных координат предложена Гауссом в 1828 г., удобные для практических расчетов формулы разработаны Крюгером к 1912 г., в СССР принята с 1928 г. Сущность проекции заключается в следующем. Поверхность земного сфероида делят меридианами на зоны в 6° по долготу, начиная от начального меридиана, и нумеруют по направлению к востоку (рис. 7, а), всего зон 60. Далее получают плоские изображения каждой зоны, для чего мысленно помещают сфероид внутрь цилиндра так, чтобы осевой меридиан зоны касался поверхности цилиндра (рис. 8). Из центра сфероида зону проектируют на поверхность цилиндра – при этом углы сферы будут изображены без искажения, поэтому данную проекцию называют равноугольной, поперечно-цилиндрической. Изображение на поверхности цилиндра затем можно развернуть на плоскость.

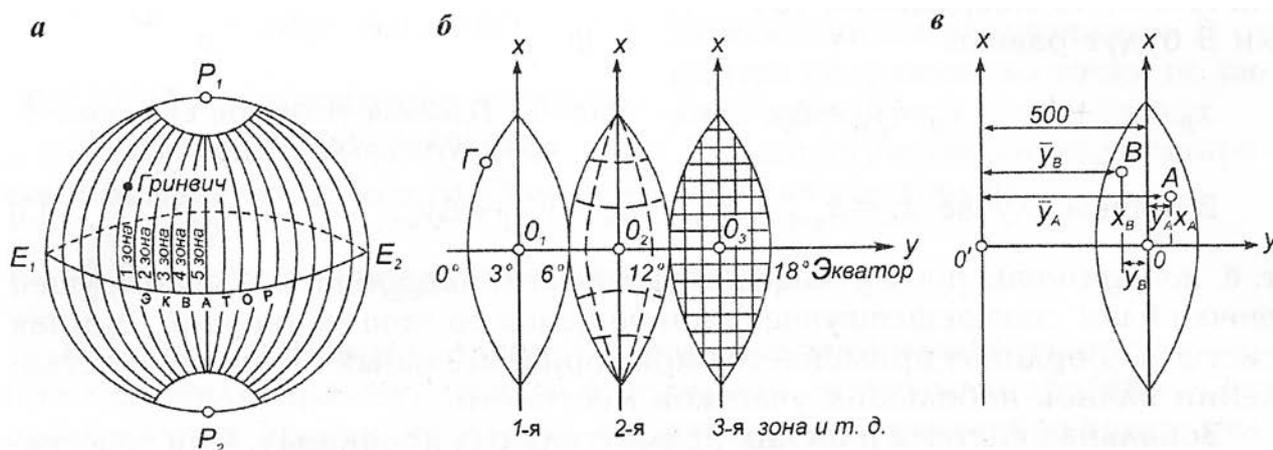


Рис. 7. Зональная система прямоугольных координат:  
 а – схема деления поверхности земного шара на зоны;  
 б – схема изображения зон после развертки на плоскости;  
 в – схема определения преобразованных координат

В поперечно-цилиндрической проекции искажения будут в длинах линий: зоны на цилиндре получаются более широкими, чем на шаре. Не будет никаких искажений осевого меридиана – он касается поверхности цилиндра, но чем дальше расположены отрезки от осевого меридиана, тем больше будут искажения в длинах линий.

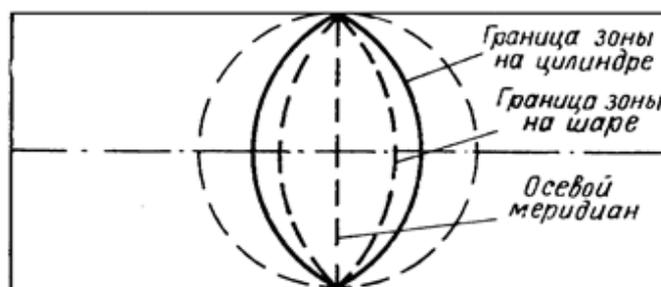


Рис. 8

Наличие искажений в общем случае определяет возможное непостоянство масштаба в отдельных частях карты, и поэтому существуют понятия главного масштаба и частных масштабов. Главный – масштаб того глобуса, который изображают при составлении карты, частные масштабы относятся к различным частям карты.

Система географических координат удобна для изучения всей физической поверхности Земли или значительных ее участков, но неудобна для решения многих инженерных задач. Проекция Гаусса в географическом отношении не имеет практического значения, так как дает изображение земной поверхности с разрывами, но зато, в силу малых искажений она сближает карту с планом и позволяет назначать систему плоских прямоугольных координат в каждой зоне, что удобно при решении инженерных задач.

*В проекции Гаусса за начало координат в каждой зоне принимают точку пересечения осевого меридиана с линией экватора, которые образуют прямой угол.* Они и есть в данном случае оси координат (рис. 7, б). Осевой меридиан служит осью абсцисс  $x$ , а линия экватора – осью ординат  $y$ . Положительным направлением абсцисс считается направление от экватора к северу, положительным направлением ординат – на восток. В математике применяется левая система координат (нумерация четвертей против движения часовой стрелки), в геодезии – правая система. Но так как наименования осей координат тоже противоположны, знаки координат точек, расположенных в одноименных четвертях, совпадают, что позволяет применять формулы тригонометрии без всяких изменений и в данной системе.

Для территории РФ, расположенной в северном полушарии, абсциссы  $x$  везде положительны, а ординаты  $y$  могут быть и положительными, и отрицательными, например, для точки  $B$  (рис. 7, в). Отрицательные ординаты затрудняют обработку геодезических материалов. Чтобы избежать этого, ординату осевого меридиана принимают не за 0, а за 500 км. Следовательно, к ординатам всех точек зоны прибавляется эта условная величина (500 км).

Дополнительно в записи ординаты точки указывают номер зоны, который приписывается впереди ординаты.

Для определения местоположения точки в зоне следует, зная ее координаты, убрать из записи ординаты номер зоны и вычесть 500 км.

### *Определение географических координат точек на карте*

Лист карты окаймляют три рамки: внутренняя, минутная и внешняя. Внутренняя рамка имеет форму трапеции (что наглядно видно на картах более мелкого масштаба). Эта рамка образована отрезками меридианов и параллелей, непосредственно ограничивающих картографическое изображение. На выходах этих линий в углах рамки указаны соответствующие значения широты и долготы. Так, на рис. 9 лист карты ограничен по долготе  $48^{\circ}15'00'' - 48^{\circ}18'45''$  и по широте  $54^{\circ}17'30'' - 54^{\circ}20'00''$ .

Минутная рамка с обозначением определенного интервала широт и долгот служит для более точного измерения географических координат точек на карте. Минутные и полуминутные интервалы отмечены утолщенными линиями, десятисекундные интервалы – точками.

Широта увеличивается от нижней границы карты к верхней (с юга на север), а долгота увеличивается слева направо (с запада на восток).

Для определения географических координат заданного пункта через него проводят географический меридиан и параллель до ближайших сторон минутной рамки (рис. 9). От границ карты по минутной рамке производят отсчёты широты и долготы в минутах и секундах. Результаты отсчётов суммируют с долготой и широтой, подписанных в углах карты.

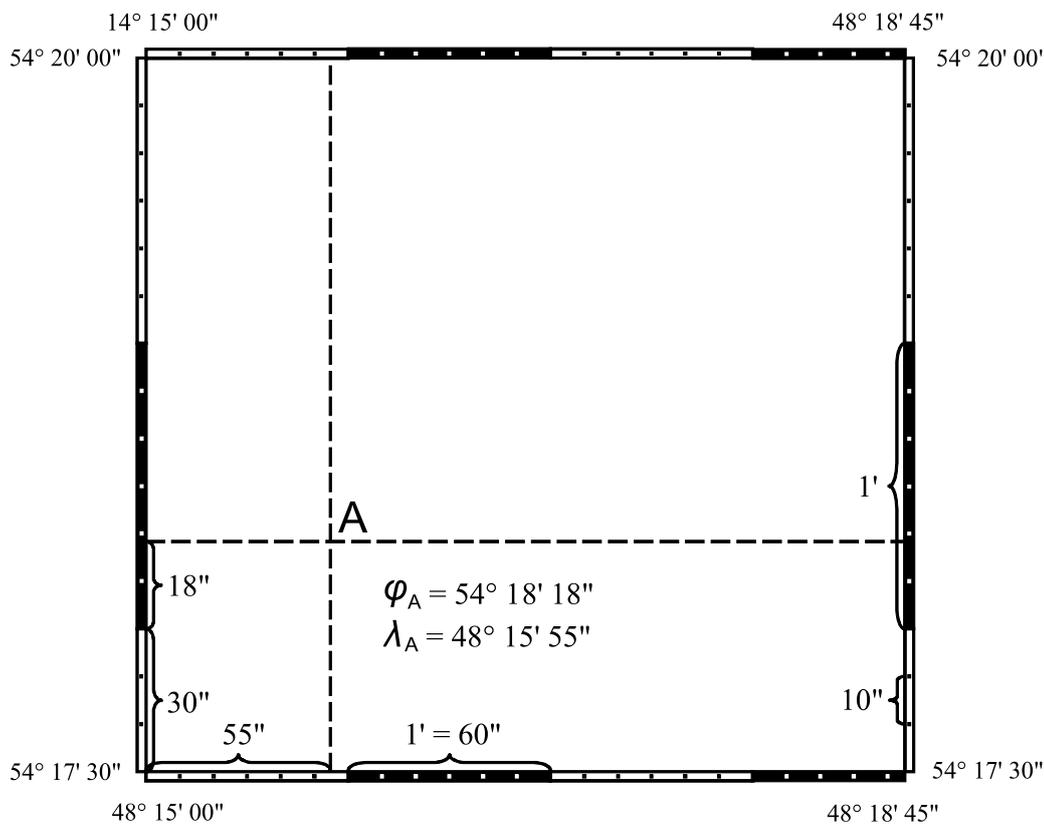


Рис. 9. Определение географических координат точки

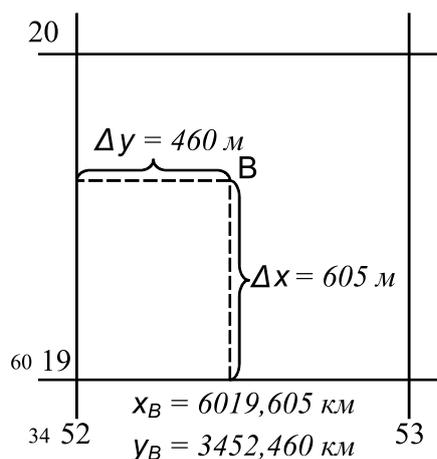


Рис. 10. Определение прямоугольных координат точки

На рис. 9 показано определение географических координат точки  $A$ , широта  $\varphi_A$  и долгота  $\lambda_A$  которой определяются параллелью и меридианом, проходящими через нее. Расстояние от южной стороны рамки карты до параллели точки  $A$  равно  $30'' + 18'' = 48''$ . Так как южная параллель карты имеет широту  $54^\circ 17' 30''$ , то искомая широта точки  $A$  равна:

$$\varphi_A = 54^\circ 17' 30'' + 48'' = 54^\circ 18' 18''.$$

Долгота точки  $A$  определяется аналогично, для данного примера:

$$\lambda_A = 48^\circ 15' 00'' + 55'' = 48^\circ 15' 55''.$$

Для более точного определения широты и долготы производят интерполирование в минутных интервалах с дополнительными вычислениями.

### *Определение прямоугольных координат точек на карте*

В системе *Гаусса-Крюгера* координаты на листе карты представлены сеткой квадратов (рис. 10). Для карт размер квадрата должен быть кратным целому числу километров, поэтому сетка называется километровой.

Абсциссы  $x$ , за начало отсчета которых принимают линию экватора, подписаны у горизонтальных линий, при этом сотни километров приводятся не у всех линий. Например, абсцисса 6019 выписана полностью, у абсциссы 6020 приведена только цифра 20 («сокращенная абсцисса»). Система надписей у ординат аналогична, при этом ординаты точек указываются преобразованными.

При обозначении квадратов километровой сетки применяются сокращенные координаты (квадраты 19/52; 20/53 и т. д.).

Для получения координат точки  $B$  измеряют отрезки  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , от южной и западной сторон квадрата километровой сетки. Для контроля проводят аналогичные измерения от северной и восточной сторон квадрата.

Пусть для точки  $B$  получено:  $x_B = 6019,605$  км и  $y_B = 3452,460$  км. Действительное значение ординаты  $y_{B(\text{действ})} = 452,460 - 500 = -47,540$  км<sup>1</sup>. Точка  $B$  расположена в 3-й зоне, находится западнее осевого меридиана.

### **Практическая часть**

На сколько километров удалена точка  $A$  с координатами  $x_A = 6382$  км и  $y_A = 3512$  км от точки  $B$  с координатами  $x_B = 6532$  км и  $y_B = 3512$  км ?

## **6. Ориентирование линий, карт и планов**

Для ориентирования карты достаточно ориентировать линию, принадлежащую данной карте. Для того чтобы ориентировать линию, надо знать угол ориентирования, т.е. тот угол, который данная линия составляет с направлением, принятым за начальное.

В *географической системе* за начальное направление принято северное направление географического меридиана (рис. 11, 12), и углами ориентирования являются *истинный* (географический) азимут  $A$  и географический румб  $r_{г}$ .

*Истинный (географический) азимут* – угол, отсчитываемый от северного направления географического меридиана по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии. Изменяется от 0 до 360°.

Но географические меридианы в разных точках сфероиды не

---

<sup>1</sup> В прямоугольной системе значение координат принято выражать в метрах. При проведении измерений в данном случае допускается выражать координаты в километрах.

параллельны между собой, поэтому азимут одной и той же линии (рис. 11, линия  $MK$ ) в различных ее точках будет различен (азимут  $A_M$  в точке  $M$  не равен азимуту  $A_N$  в точке  $N$ ). Это различие определяет угол  $\gamma$ , который называется сближением меридианов:  $\gamma = A_M - A_N$  (рис. 11, 12).

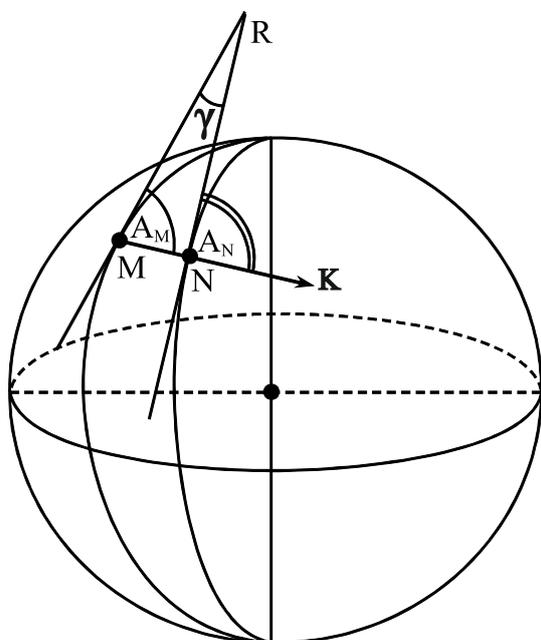


Рис. 11

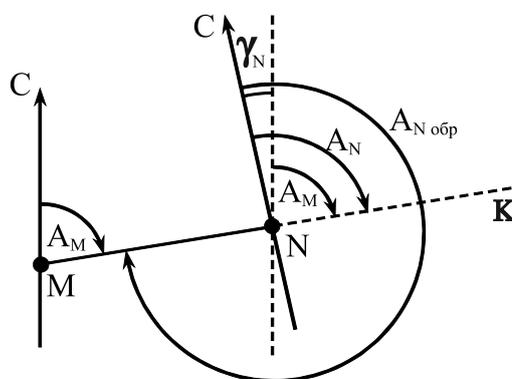


Рис. 12

В геодезии пользуются терминами: прямое направление линии и обратное. Так, если исходное направление линии – направление  $MN$  (рис. 12), то обратное направление – направление  $NM$ . Соответственно азимут линии  $MN$  будет прямым, линии  $NM$  – обратным (т.е.  $A_M, A_N$  – азимуты прямые,  $A_{(N)обр}$  – азимут обратный), в общем случае  $A_{обр} = A_{пр} \pm 180^\circ$ .

На рис. 14 показан географический азимут для линии 3-4 (пунктирная линия – направление географического меридиана).

*Географический румб* – острый угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением географического меридиана (северным или южным). Румб может иметь значения от  $0$  до  $90^\circ$ . Числовые значения румба необходимо сопровождать названием четверти, в которой находится линия. Например  $r_{3.4} = ЮВ: 75^\circ 15'$ .

Обратные румбы отличаются от прямых названием, их угловая величина не меняется. Если румб  $r = ЮВ: 75^\circ 15'$  – прямой, то  $r = СЗ: 75^\circ 15'$  – обратный.

В системе плоских прямоугольных координат за начальное направление принято северное направление осевого меридиана (рис. 13), и углами ориентирования являются дирекционный угол  $\alpha$  и дирекционный румб  $r$ . Соответственно в пределах зоны сближение меридианов  $\gamma$  есть угол, образованный направлением осевого меридиана и направлением географического меридиана данной точки.

*Дирекционный угол* – угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии. Изменяется от 0 до 360°.

Дирекционный угол в разных точках прямой – величина постоянная, и соответственно обратный дирекционный угол равен:  $\alpha_{обр} = \alpha_{пр} + 180^\circ$ .

Зная географический азимут, можно вычислить дирекционный угол, и наоборот. Если линия километровой сетки находится к западу от истинного меридиана, то сближение меридианов  $\gamma$  имеет знак «-», если к востоку, то знак «+», но во всех случаях  $A = \alpha + \gamma$ .

*Дирекционный румб* – острый угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением осевого меридиана или линии, ему параллельной, изменяется от 0 до 90°. Связь между румбами и дирекционными углами (рис. 14) такая же, как и в географической системе.

На топографической карте представлены географическая система и система плоских прямоугольных координат. Соответственно направления линий характеризуются географическими азимутами или дирекционными углами.

В тех случаях, когда необходимо ориентировать карту на местности, или линию местности определенного направления отобразить на карте или плане, или решить другие аналогичные задачи, т.е. «перейти от карты к местности», и наоборот, в этих случаях ориентируются относительно магнитного меридиана, направление которого определяется магнитной стрелкой компаса или буссоли.

При ориентировании относительно *магнитного меридиана* углами ориентирования являются магнитный азимут  $A_m$  и магнитный румб  $r_m$ .

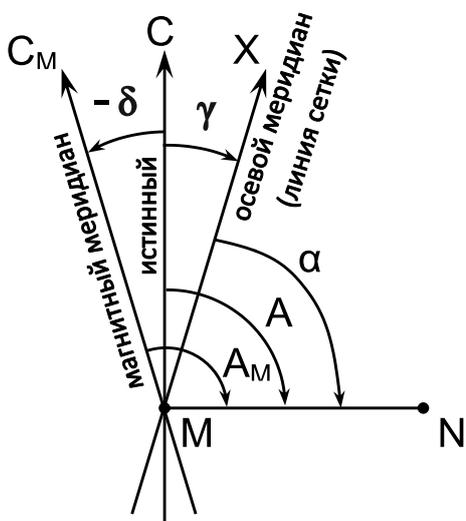


Рис. 13

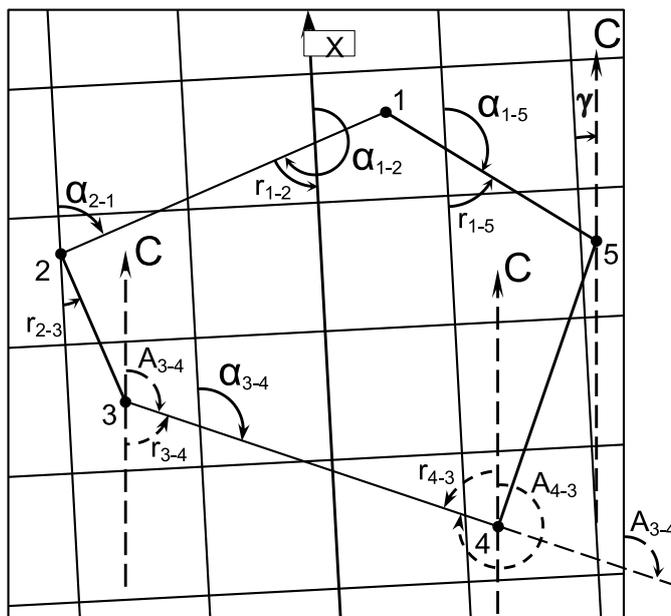


Рис. 14

*Магнитный азимут* – угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии.

Магнитный меридиан, как правило, не совпадает с географическим. Угол, образованный этими меридианами, называется магнитным склонением  $\delta$ . Если линия магнитного меридиана находится к западу от истинного меридиана, то склонение магнитной стрелки  $\delta$  имеет знак «-», если к востоку, то знак «+», во всех случаях получаем:  $A = A_m + \delta$ .

Магнитное склонение – величина не постоянная, известны его суточные, годовые и вековые изменения. В частности, суточное изменение в средней полосе территории РФ достигает 15' и больше. Есть районы, где вообще нельзя пользоваться показаниями магнитной стрелки. Уточненную величину магнитного склонения можно узнать на метеостанциях и по специальным картам, его среднее значение приводится на топографических картах.

*Магнитный румб* – острый угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением магнитного меридиана. Связь между магнитными румбами и азимутами такая же, как и в географической системе.

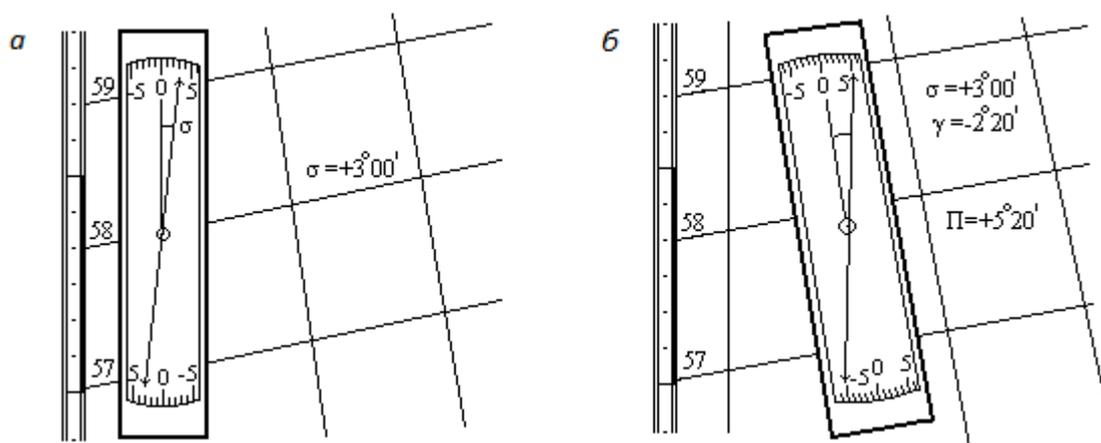


Рис. 15. Ориентирование карты с помощью буссоли

Ориентирование карты осуществляется при помощи двух приемов:

1. Приложив буссоль (компас) к боковой линии рамки карты (т.е. к линии географического меридиана), следует поворачивать карту до тех пор, пока по северному концу магнитной стрелки не будет получен отсчет, равный магнитному склонению  $\delta$  (рис. 15, а).

2. Приложив буссоль к линии километровой сетки (т. е. к направлению осевого меридиана), поворачивают карту до получения отсчета, равного поправке  $\Pi$  (включающей  $\delta$  и  $\gamma$ ):  $\Pi = \delta - \gamma$  (рис. 15, б).

### **Практическая часть**

*Определение географического азимута.* В пределах квадрата километровой сетки проведите линию  $MN$ . Для определения азимута необходимо иметь на карте направление географического меридиана. Проведя в точке  $M$  линию, параллельную вертикальной линии рамки карты, измерьте

геодезическим транспортиром географический азимут линии  $MN$ . По измеренному азимуту вычислите румб линии, а также обратные азимут и румб.

*Определение дирекционного угла.* Для определения дирекционного угла той же линии  $MN$  следует продлить ее до пересечения с вертикальной линией километровой сетки, измерить по транспортиру угол  $\alpha$ . Вычислите сближение меридианов по зависимости  $\gamma = A - \alpha$ , сопоставьте с величиной сближения, приведенного на схеме, расположенной за рамкой карты. Проанализируйте полученные результаты (по величине и знаку).

*Ориентирование карты по магнитному меридиану.* Для такого ориентирования применяется буссоль. Основные поверки буссоли следующие.

1. Магнитная стрелка должна быть хорошо намагничена. Освободив стрелку и дав ей успокоиться, делают отсчет. Затем к стрелке буссоли подносят железный предмет (ключ, отвертку и т.п.) и отводят стрелку на  $10-20^\circ$ . Быстрым движением убирают предмет в сторону, стрелке дают успокоиться и делают второй отсчет. Если отсчеты совпадают, а стрелка останавливается после небольших колебаний, то условие выполнено.

2. Магнитная стрелка должна быть уравновешена. Буссоль устанавливают в горизонтальное положение. Если концы стрелки находятся на одинаковых расстояниях от верхней плоскости кольца буссоли, то условие выполнено. Убедившись в исправности буссоли, ориентируйте карту обоими способами.

*Измерение дирекционного угла и вычисление географического и магнитного азимута.* Для прямолинейного отрезка автомобильной или железной дороги измерьте по транспортиру дирекционный угол. Возьмите со схемы, приведенной за рамкой карты, величины сближения и склонения, вычислите географический и магнитный азимуты. По полученным данным вычислите румбы.

Решите следующие задачи:

1. Дирекционный угол линии  $BD$  равен  $312^\circ 45'$ , сближение меридианов  $\gamma = -0^\circ 47'$ , склонение магнитной стрелки  $\delta = -7^\circ 30'$ . Вычислить магнитный азимут линии  $BD$ , решение сопроводить схемой.
2. На карте точки 1 и 2 расположены на вертикальной линии прямоугольной сетки, причем точка 1 расположена ниже точки 2. Сближение меридианов восточное и равно  $3^\circ$ . Вычислить истинный азимут направления 1-2.

## 7. Измерение длин линий

Отрезки, длину которых необходимо определить, могут быть *прямыми, ломаными и криволинейными*.

Измерение прямолинейных отрезков между точками производят с графической погрешностью 0,1 мм, расхождение между повторными измерениями данного отрезка не должно превосходить 0,3 мм (см. пункт 3).

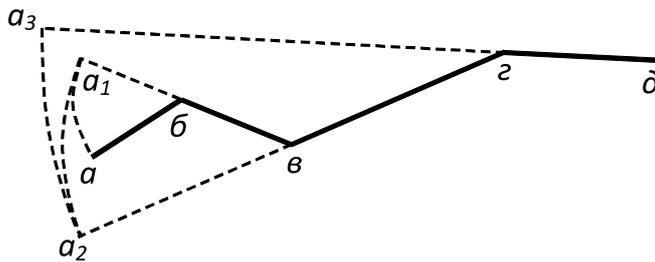
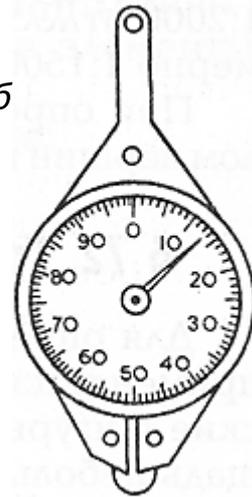
*a**б*

Рис. 16

Измерение ломаных отрезков производят по частям или путем их последовательного спрямления (способ наращивания). При этом способе (рис. 16, а) устанавливают ножки измерителя в точках *a* и *б*, совмещают край линейки с направлением *б-в*, вращают измеритель вокруг ножки в точке *б* и устанавливают вторую ножку измерителя у края линейки в точке *a<sub>1</sub>*, т.е. на продолжении отрезка *бв*. После этого перемещают ножку циркуля из точки *б* в точку *в* и получают сумму отрезков *аб* и *бв*. Действуя аналогично, получают в растворе циркуля *a<sub>3</sub>д* общую длину ломаной линии *абвгд*. Для контроля измерения проводят в обратном направлении, от точки *д* к точке *a*.

Для измерения криволинейных отрезков применяются специальные приборы – курвиметр, циркуль-измеритель с постоянным раствором, а также существует способ наращивания.

Курвиметр (рис. 16, б) состоит из колесика, связанного со стрелкой, которая указывает на циферблате длину линии. Удерживая курвиметр перпендикулярно к плоскости карты, ведут его колесико по измеряемому отрезку.

Перед применением курвиметра необходимо определить цену его деления. Для этого выбирают отрезок известной длины  $d_{\text{изв}}$  и устанавливают, какое число делений курвиметра  $n$  будет соответствовать этому отрезку. Тогда цена деления курвиметра будет равна:

$$c_{\text{к}} = \frac{d_{\text{изв}}}{n}.$$

Перед началом измерения отсчет на циферблате выводят на 0 и производят измерение линии, длина которой будет равна произведению цены деления  $c_{\text{к}}$  на показания циферблата. Точность измерения курвиметра составляет 1-2% длины линии.

Применение циркуля-измерителя с постоянным раствором сводится к измерению малых хорд. Берут раствор циркуля порядка двух-пяти миллиметров и определяют по отрезку с известной длиной  $d_{\text{изв}}$  длину отрезка, взятого в раствор циркуля:

$$d_{\text{раст}} = \frac{d_{\text{изв}}}{n},$$

где  $n$  – число перестановок циркуля. После определения  $d_{\text{раст}}$  измеряют длину криволинейного отрезка. Для измерений следует пользоваться циркулем с регулирующим винтом,  $d_{\text{раст}}$  следует брать меньше при большей извилистости измеряемой линии.

Применение способа наращивания при измерении криволинейных отрезков такое же, как и при измерении ломаных отрезков (измеряют малые хорды, на которые делится криволинейный отрезок). Длину измеряемой извилистой линии вычисляют умножением длины хорды на число полных перестановок измерителя плюс остаток, измеренный по линейному или поперечному масштабу.

Практика измерений криволинейных отрезков показывает, что наиболее точным является применение циркуля-измерителя с постоянным раствором.

### ***Практическая часть***

Измерьте на карте ломаную линию (длину контура: участка, относящегося к населенному пункту) двумя способами: по частям с помощью масштабной линейки и способом наращивания.

## **8. Измерение площадей**

Границы участков, площади которых необходимо определить на плане или карте, могут иметь прямолинейное или произвольное очертание.

При прямолинейных очертаниях определение площади возможно двумя способами: *графическим* (по расчетным формулам конкретных геометрических фигур) и *аналитическим* (по координатам вершин углов многоугольника).

В первом случае участок разбивают преимущественно на треугольники, реже на прямоугольники и трапеции (рис. 17). Измеряют линейные элементы (стороны, высоты) и по формулам геометрии вычисляют площади каждой фигуры. Для контроля площади вычисляют дважды, меняя измеряемые элементы. Например, в треугольнике 1-2-3 в одном случае измеряют основание 1-2 и высоту 3-5, в другом – основание 1-3 и высоту 2-4. Расхождение между двумя значениями площадей не должно превосходить  $\Delta S = 0,05 \frac{m}{10000} \sqrt{S}$  [га], где  $m$  – знаменатель

численного масштаба. Точность определения площадей примерно  $\frac{1}{100}$  измеряемой величины.

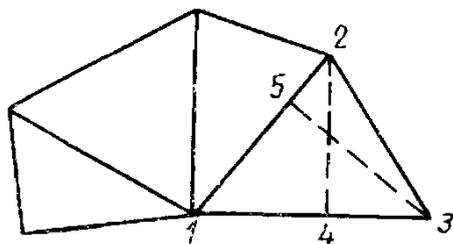


Рис. 17

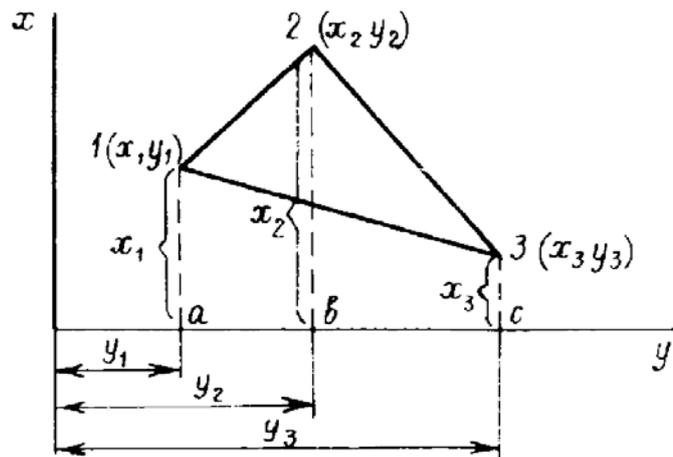


Рис. 18

Вычисление площади аналитическим способом (рис 17, 18), по координатам вершин углов многоугольника, обеспечивает более высокую точность (до  $\frac{1}{1000}$  измеряемой величины). Формула для определения площади многоугольника (в простейшем случае треугольника – рис. 18):

$$S_{1-2-3} = S_{a-1-2-b} + S_{b-2-3-c} - S_{a-1-3-c} = \frac{x_1 + x_2}{2}(y_2 - y_1) + \frac{x_2 + x_3}{2}(y_3 - y_2) - \frac{x_1 + x_3}{2}(y_3 - y_1).$$

Произведя соответствующие алгебраические действия и преобразования, получим расчетные формулы:

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}); \quad S = \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}),$$

где  $i = 1, 2, 3 \dots$  – номера вершин полигона;  $i+1$  – номер последующей вершины;  $i-1$  – номер предыдущей вершины.

При произвольных очертаниях границ участков определение площади возможно также двумя способами: *графическим* (палетки) и *механическим* (планиметры).

Для определения площадей небольших участков с криволинейными контурами применяют палетки – квадратные (рис. 19, а) и параллельные (рис. 19, б).

Палетки изготавливают на прозрачном материале, расстояние между линиями 1-2 мм. Квадратная палетка применяется для малых участков, имеющих площадь на плане до  $2 \text{ см}^2$ . Подсчитывают число полных клеток, доли неполных клеток учитывают на глаз. Точность измерения примерно 1:50.

При определении площадей до  $10 \text{ см}^2$  можно использовать параллельную (линейную) палетку (рис. 19, б), представляющую собой лист прозрачной основы, на которой через равные промежутки (2-5 мм) нанесен ряд параллельных линий.

Палетка накладывается на заданный участок таким образом, чтобы крайние точки  $m$  и  $n$  контура разместились посередине между параллельными линиями палетки. В результате измеряемая площадь оказывается расчлененной на фигуры, близкие к трапециям с равными высотами; при этом

отрезки параллельных линий внутри контура являются средними линиями трапеции. Следовательно, для определения площади участка с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки нужно измерить длины средних линий трапеций  $l_1, l_2, l_3 \dots, l_n$  и их сумму умножить на расстояние между линиями с учетом масштаба плана, т.е.  $S = a \cdot (l_1 + l_2 + \dots + l_n)$ .

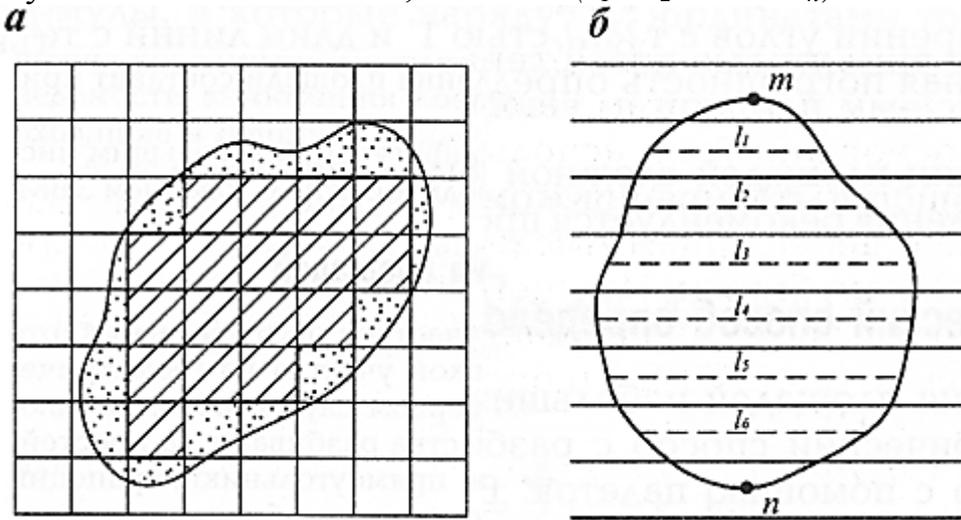


Рис. 19

Суммарная длина отрезков может быть замерена с помощью *курвиметра* (рис. 16) – прибора для измерения длин линий на карте (плане). Для этого колесо курвиметра последовательно прокатывают по измеряемым линиям, по разности начального и конечного отсчетов на циферблате определяют суммарную длину отрезков в сантиметрах карты (плана). Для контроля измеряют площадь при втором положении палетки, развернув ее на 60-90° относительно первоначального положения.

Измерение площадей планиметром здесь не рассматриваем.

### **Практическая часть**

Измерьте на карте площадь участка (населенного пункта) графическим и аналитическим способами, измерьте площадь водоема с помощью палетки.

## **9. Изображение рельефа горизонталями**

*Рельефом* называется совокупность неровностей земной поверхности. На современных топографических картах и планах рельеф изображается горизонталями. *Горизонтالي* – это линии равных высот. Горизонтали представляют собой проекции на плоскость следов сечения рельефа уровнями поверхностями, проведенными через заданный интервал, который называется высотой сечения рельефа.

Существо метода заключается в следующем. Прежде всего определяется высота характерных точек над уровнем поверхностью (рис. 20). Численное

значение высоты точки называется *отметкой*. Имея отметки характерных точек, по определенным правилам строят горизонтали.

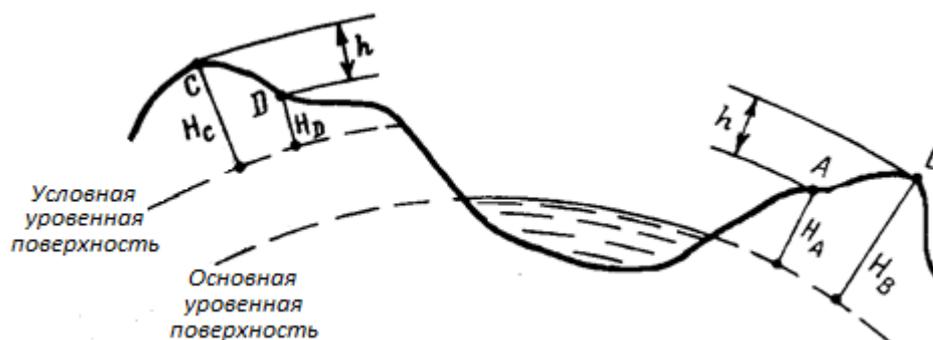


Рис. 20

На практике часто оказывается целесообразным определять отметки не относительно основной, а относительно условно принятой уровенной поверхности. Тогда отметки в первом случае называются абсолютными, во втором – условными ( $H_A, H_B$  – абсолютные отметки;  $H_D, H_C$  – условные).

В Российской Федерации основная (исходная) уровенная поверхность зафиксирована кронштадтским футштоком. По многолетним наблюдениям за уровнем моря в Кронштадте был установлен средний уровень. В гранитном устое моста через канал закреплена медная пластина, на ней чертой зафиксирован средний уровень. Эту черту именуют нулем кронштадтского футштока. Относительно уровенной поверхности, проходящей через нуль кронштадтского футштока, и определяются абсолютные отметки на всей территории страны.

Условные поверхности (и соответственно условные отметки) применяются для различных участков местности независимо.

Точки физической поверхности Земли характеризуются различными отметками. Но если известны отметки двух точек, то можно вычислить превышение одной точки над другой (относительную высоту). Так, превышение точки  $B$  над точкой  $A$  (рис. 20) составит:  $h = H_B - H_A$ . Метод горизонталей позволяет определить отметки любых точек топографической карты или плана. Построение горизонталей ведется исходя из следующего.

Пусть имеется некоторая возвышенность (рис. 21), которую пересекает поверхность, параллельная уровенной и расположенная от нее на высоте  $H_1$ . Линия пересечения физической поверхности Земли будет замкнутой кривой и, будучи спроектированной на горизонтальную плоскость, эта линия, называемая горизонталью, характеризует данную возвышенность на отметке  $H_1$ .

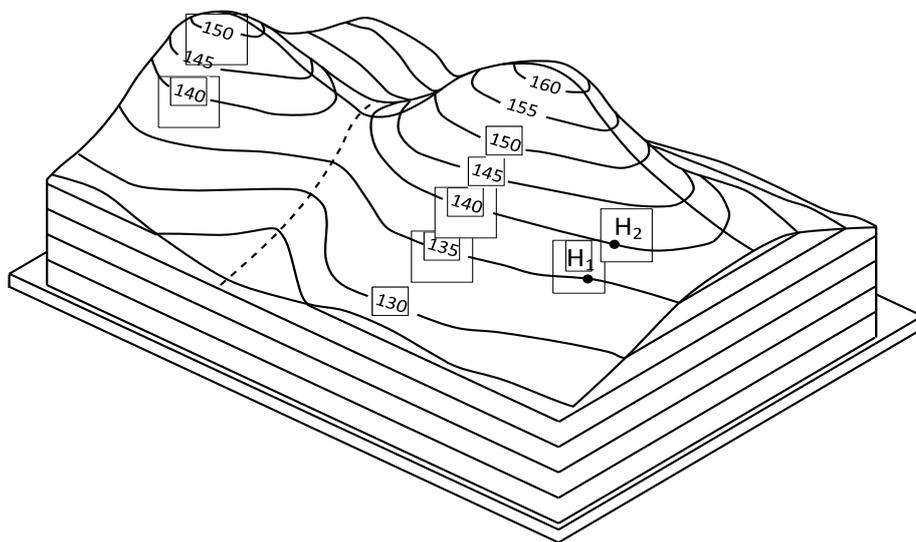


Рис. 21

Если для той же возвышенности секущую поверхность примем на высоте  $H_2$  (рис. 21), то получим другую горизонталь, характеризующую возвышенность на этой высоте.

Для того чтобы получить достаточно детальную характеристику данной формы рельефа, следует задать необходимое количество секущих поверхностей через равные промежутки по высоте  $h_c$ . (рис. 22, а). Каждая поверхность и соответственно каждая горизонталь характеризуется определенной отметкой. Отсюда определение: *горизонтали* – линии, соединяющие точки земной поверхности с одинаковыми отметками.

Расстояние между секущими поверхностями по высоте, т.е. разность отметок двух последовательных горизонталей  $h_c$  называется *высотой сечения рельефа*. В зависимости от масштаба, вида рельефа и назначения плана или карты применяют  $h_c = 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5; 5$  м и др. Чем меньше высота сечения рельефа, тем точнее должны быть выполнены работы по съемке рельефа.

Для изображения отдельных деталей рельефа применяют полугоризонтали, в том случае, если это не удастся сделать при помощи основных горизонталей. Их проводят через  $h_c/2$ , вычерчивают прерывистыми линиями (рис. 22, б).

Горизонтали всегда проводят кратными принятой высоте сечения рельефа. Так, если  $h_c = 0,5$  м, то возможны следующие отметки горизонталей: 16,5; 17; 17,5 м и т.п. Если  $h_c = 2$  м, то, соответственно: 24; 26; 28 м ...

Для лучшего чтения рельефа часть горизонталей вычерчивают утолщенной линией: при  $h_c = 0,25; 0,5; 2,5$  м обычно утолщается каждая четвертая горизонталь (соответственно кратные 1; 2; 10 м); при  $h_c = 1; 2; 5; 10$  м утолщается каждая пятая или десятая (соответственно кратная 5; 10; 25; 50 м). Утолщенные горизонтали подписываются отметками, располагая цифры в разрывах горизонталей так, чтобы их верх был направлен в сторону возвышения. Дополнительно направления скатов указывают *берг-штрихами* (рис. 22, а, б). Кратчайшее расстояние между горизонталями в плане  $d$

называется *заложением* горизонталей.

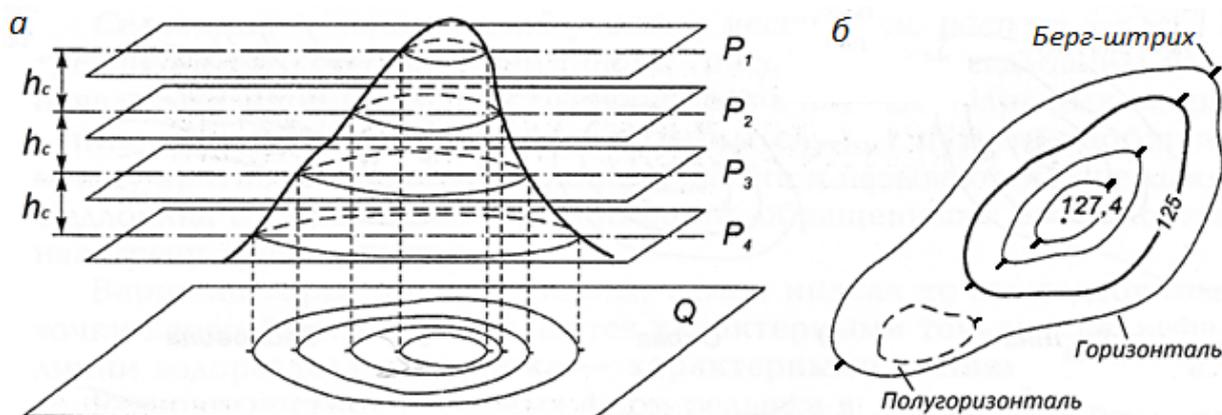


Рис. 22. Изображение рельефа горизонталями  
 а – принцип образования горизонталей; б – горизонталы и полугоризонталы

### 9.1. Свойства горизонталей

1. Горизонталы – замкнутые линии (могут выходить за рамку карты, плана и замыкаться за его пределами).
2. Горизонталы не пересекаются. Исключение – нависающие скаты.
3. Чем меньше заложение  $d$  при одинаковом  $h_c$ , тем круче скат.

Рельеф в общем случае разделяют на три вида: равнинный – превышения до 30 м; холмистый – превышения до 200 м; горный – превышения более 200 м.

В каждом виде рельефа выделяют пять основных форм (рис. 23):

1. Возвышенность (гора – высота более 200 м, холм – менее 200 м). Элементы данной формы рельефа: вершина, скаты, подошва.
2. Котловина – замкнутое углубление. Элементы – дно, скаты, бровка.
3. Хребет – вытянутая возвышенность. Элементы – скаты, гребень хребта. Линия, идущая по гребню, называется водоразделом.

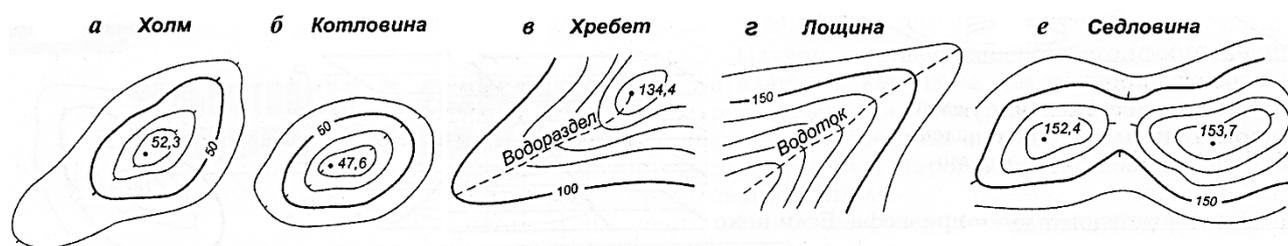


Рис. 23. Схемы изображения основных форм рельефа горизонталями

4. Лощина – вытянутое углубление. Элементы – скаты, водосливная линия (талweg, водоток); широкая лощина называется долиной, узкая – ущельем или оврагом.

5. Седловина – пониженная часть местности между двумя соседними возвышенностями с расходящимися в противоположные стороны лощинами.

Все формы рельефа образуются из сочетания наклонных поверхностей – скатов. Крутизна ската оценивается или углом наклона (в градусной мере), или величиной уклона  $i$ . Уклоном линии называется тангенс угла наклона линии к горизонту:  $i = \operatorname{tg} \nu = h/d$  (рис. 24), где  $h$  – превышение;  $d$  – горизонтальное проложение линии. Угол наклона линии и уклон линии могут быть положительными ( $+\nu$ ;  $+i$ ) или отрицательными ( $-\nu$ ;  $-i$ ).

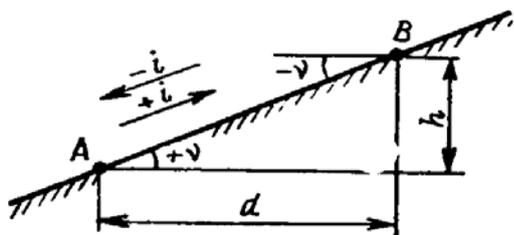


Рис. 24

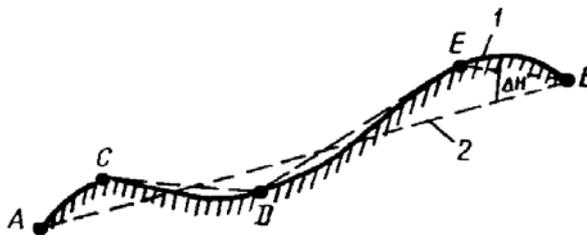


Рис. 25

Для построения горизонталей существуют различные способы. Но при использовании любого из них следуют единому принципу: на участке между двумя соседними характерными точками  $A$  и  $B$  (рис. 25) линия реальной физической поверхности  $1$  заменяется условным прямолинейным отрезком  $2$ . После такой замены становится возможным применение линейной интерполяции при определении на плане точек, принадлежащих конкретной горизонтали.

Замена реальной линии  $1$  условной  $2$  должна осуществляться таким образом, чтобы обеспечивалась необходимая точность изображения рельефа при заданной высоте сечения  $h_c$ . Требуемая точность  $\Delta h$  во всех случаях задается как часть  $h_c$ , например:  $\Delta h = \frac{1}{2} h_c$ . Это означает, что во всех случаях замена (при построении горизонталей) линии  $1$  линией  $2$  должна обеспечить заданную точность  $\Delta h$ . Пусть, например,  $h_c = 5$  м, тогда  $\Delta h = 2,5$  м и точки  $A$  и  $B$  (рис. 25) выбраны так, что заданная точность гарантируется. Если для этого участка местности принять  $h_c = 1$  м (т. е.  $\Delta h = 0,5$  м), то для обеспечения такой более высокой точности потребуются дополнительные точки  $C, D, E$ .

При съемке рельефа характерные точки ( $A, B$  или  $ACD$  и т.д.) выбирают там, где уклон ската меняет величину или направление. Чем меньше  $h_c$  (чем крупнее масштаб), тем больше требуется принимать характерных точек рельефа. После нанесения характерных точек с известными отметками на лист бумаги отыскание местоположения точек, принадлежащих определенной горизонтали, производят *интерполированием*: аналитически, графически или на глаз. При любом способе интерполирования необходимо определить величину трех различных отрезков (рис. 26):  $d_1, d_2$  и  $d_3$ .

## 9.2. Аналитическое интерполирование

Аналитическое интерполирование горизонталей рассмотрим на примере, приведенном на рис. 26. При высоте сечения рельефа  $h_c = 1$  м и диапазоне отметок точек  $A$  и  $B$  от 55,3 до 57,5 м горизонталями должны соединяться точки с отметками 56,0 и 57,0 м. Расстояние между точками  $A$  и  $B$  на плане  $d = 25$  мм.

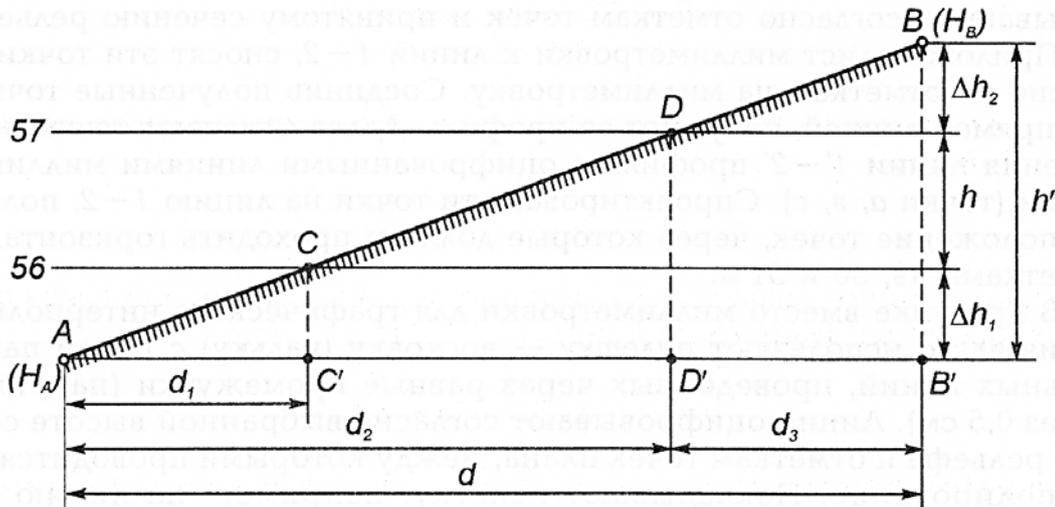


Рис. 26. Аналитическое интерполирование горизонталей

На рис. 26:  $H_A$  и  $H_B$  – отметки точек линии ската  $AB$ ;  $h_c$  – высота сечения рельефа;  $h'$  – разность отметок точек  $A$  и  $B$  ( $h' = 2,2$  м);  $\Delta h$  – превышение ближайшей старшей горизонтали с отметкой 56,0 м над точкой с отметкой  $H_A = 55,3$  м, т. е.  $\Delta h_1 = 0,7$  м;  $\Delta h_2$  – превышение точки  $B$  с отметкой  $H_B = 57,5$  м над ближайшей младшей горизонталью с отметкой 57,0 м, т. е.  $\Delta h_2 = 0,5$  м.

Решение задачи сводится к нахождению планового положения точек  $C'$  и  $D'$ , для чего необходимо вычислить горизонтальные расстояния  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_3$ . Поскольку эти расстояния пропорциональны соответственно превышениям  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_1 + h_c$  и  $\Delta h_2$ , то имеем:

$$d_1 = \frac{d}{h'} \Delta h_1 = \frac{25}{2,2} \cdot 0,7 = 8,0 \text{ мм}; \quad d_2 = \frac{d}{h'} (\Delta h_1 + h) = \frac{25}{2,2} \cdot (0,7 + 1,0) = 19,3 \text{ мм};$$

$$d_3 = \frac{d}{h'} \Delta h_2 = \frac{25}{2,2} \cdot 0,5 = 5,7 \text{ мм}.$$

Расстояние  $d_3$  определяется для контроля вычислений:  $d_2 + d_3 = d$ . В рассмотренном примере  $19,3 + 5,7 = 25,0$  мм. Отложив на плане от точки  $A$  отрезки  $d_1$ , и  $d_2$ , получают точки  $C'$  и  $D'$ , через которые должны проходить горизонтали с отметками 56,0 и 57,0 м.

### 9.3. Графическое интерполирование

Такое интерполирование, по сравнению с аналитическим, позволяет выполнить работу быстрее, с обеспечением необходимой точности. *Графическое интерполирование* состоит в следующем.

Пусть на линии 1-2 (рис. 27, а) с отметками точек 1 и 2, соответственно, 48,7 и 51,2 м требуется найти положение точек с отметками, кратными выбранной высоте сечения рельефа  $h_c = 1$  м, т. е. 49, 50 и 51 м.

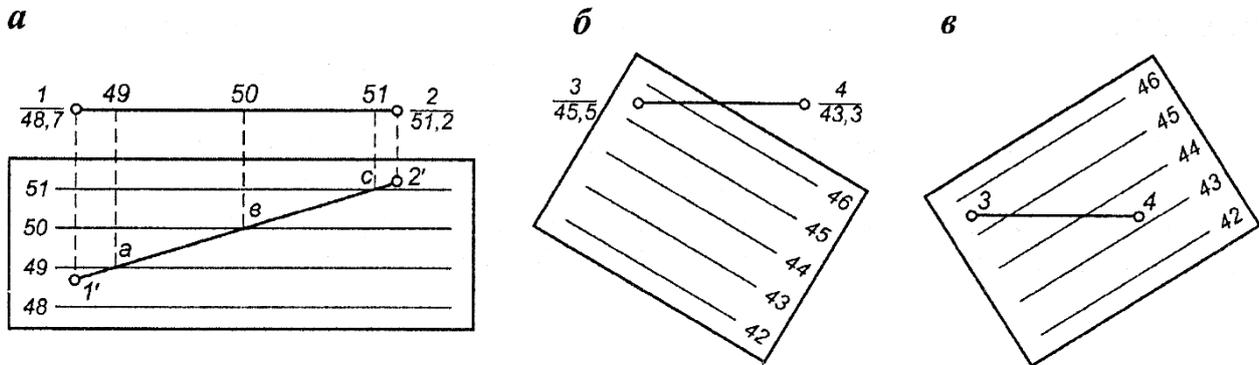


Рис. 27. Графическое интерполирование горизонталей  
а – с помощью миллиметровки, б, в – с помощью палетки

На листе миллиметровой бумаги через одинаковое расстояние (например, 0,5 или 1,0 см) проводят ряд параллельных линий, которые оцифровываются согласно отметкам точек и принятому сечению рельефа. К линии 1-2 прикладывают полосу бумаги, на которую сносят эти точки согласно их отметкам, таким образом получают точки 1' и 2'. Затем полосу прикладывают к листу бумаги с оцифрованными линиями так, чтобы точки 1' и 2' оказались на соответствующих отметках. На этой полосе отмечают точки пересечения линии 1'-2' с оцифрованными линиями миллиметровки (точки а, в, с). Спроектировав эти точки на линию 1-2, получают положение точек, через которые должны проходить горизонтали с отметками 49, 50 и 51 м.

Для графического интерполирования часто используют *палетку* (кальку) с рядом параллельных линий, проведенных через равные промежутки (например, через 0,5 см). Линии оцифровывают согласно выбранной высоте сечения рельефа и отметкам точек плана, между которыми проводится интерполирование. Накладывают палетку, например, на линию 3-4 (рис. 24, б) так, чтобы точка 3 оказалась на соответствующей отметке палетки. Затем, прижав палетку в точке 3 иглой, вращают палетку вокруг этой точки до тех пор, пока точка 4 не окажется на соответствующей отметке палетки (рис. 24, в). Точки пересечения линии 3-4 линиями палетки перекальвают на план и у каждой из точек подписывают соответствующую отметку. Аналогично

проводят интерполирование всех других линий. Затем точки на плане с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми линиями и получают изображение рельефа горизонталями.

Фиксировать на плане найденные точки местоположения горизонталей можно наколами иглы (обычно просто надавливают карандашом).

#### **9.4. Интерполирование на глаз**

При наличии достаточного опыта определение местоположения горизонталей производят на глаз, руководствуясь теми же положениями, которые приведены в аналитическом методе интерполяции. Практика показывает, что глазомерное интерполирование обычно обеспечивает точность в  $\frac{1}{4} h_c$ , что соответствует точности съемки рельефа.

Построение горизонталей заключается в соединении плавными кривыми точек, найденных в результате интерполяции. Начинать целесообразно с характерных по рельефу форм местности. Водораздельные и водосливные линии пересекаются горизонталями под прямыми углами.

#### **Практическая часть**

1. В пределах квадрата километровой сетки по двум сторонам определите направление повышения и понижения местности, руководствуясь берг-штрихами, надписями горизонталей, отметками характерных точек на карте.

2. Определите отметки всех горизонталей в пределах заданного квадрата километровой сетки.

### **10. Решение задач при работе с высотными отметками**

#### **10.1. Определение отметок точек**

При решении задач по определению отметок точек возможны 5 случаев:

1. Точка расположена на горизонтали. Отметка точки, расположенной на горизонтали, равна отметке этой горизонтали. Если горизонталь не оцифрована, то ее отметка находится по оцифровке соседних горизонталей с учетом высоты сечения рельефа.

2. Точка находится между горизонталями с разными отметками. Пусть точка М (рис. 28, а), отметку которой требуется определить, расположена между горизонталями с отметками 125 и 130 м.

Через точку М проводят прямую АВ как кратчайшее расстояние между горизонталями и на плане измеряют заложение  $d = AB$  и отрезок  $l = AM$ . Как видно из вертикального разреза по линии АВ (рис. 28, б), величина  $\Delta h$  представляет собой превышение точки М над младшей горизонталью. Из подобия треугольников  $ABB'$  и  $AMM'$  следует

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{l}{d}, \text{ отсюда } \Delta h = \frac{l}{d} \cdot h, \text{ тогда}$$

$$H_M = H_A + \Delta h = H_A + \frac{l}{d} \cdot h; H_M = 125 \text{ м} + \frac{14}{20} \cdot 5 \text{ м} = 128,5 \text{ м};$$

3. Точка  $B$  находится внутри замкнутой горизонтали и известна отметка характерной точки (вершины возвышенности). Проведя через точку с известной отметкой и точку  $B$  линию до горизонтали и применив линейную интерполяцию, определяют отметку точки  $B$ .

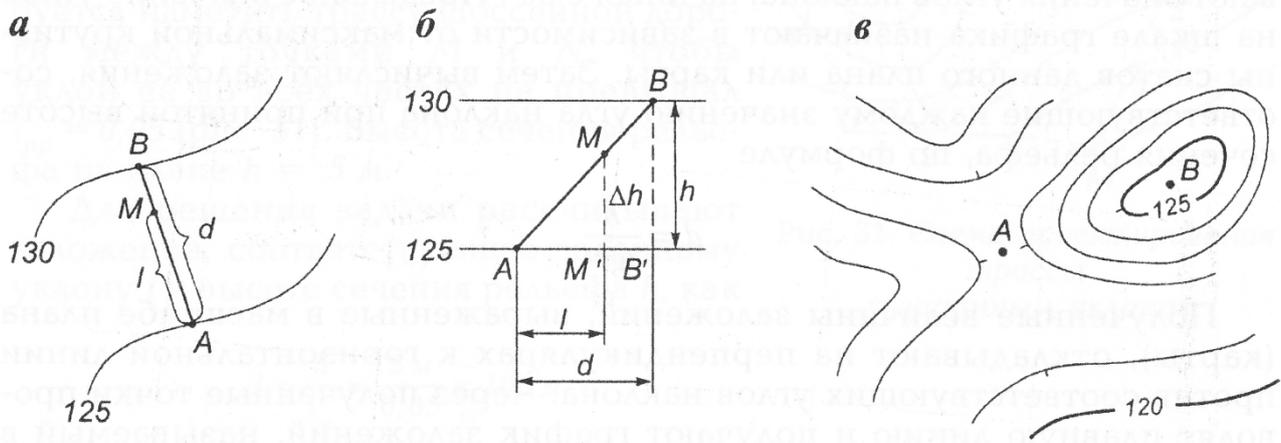


Рис. 28. Определение высотных отметок точек

4. Точка  $B$  находится внутри замкнутой горизонтали, отметки характерной точки нет. В подобных случаях следуют правилу: превышение точки внутри замкнутой горизонтали принимается равным половине высоты сечения рельефа. Следовательно, в нашем случае:  $H_B = 125,5 \text{ м}$  (рис. 28, в).

5. Точка  $A$  находится в точке седловины. Здесь также принимается превышение  $0,5 h_c$ , тогда  $H_A = 121,5 \text{ м}$  (рис. 28, в).

Отметки точек по топографическому плану или карте вычисляют с точностью  $0,1 h_c$ .

## 10.2. Определение крутизны ската

Крутизна ската оценивается углом наклона  $v$  линии к горизонту или величиной уклона  $i$ . Обе величины вычисляются по формуле  $i = \operatorname{tg} v = h_c / d$ , для ускорения определения  $v$  и  $i$  пользуются специальными графиками, которые называются масштабами заложений.

Масштабы заложений строятся для определенной величины  $h_c$ . Задаваясь различными значениями заложения горизонталей  $d$  (т. е. горизонтальное проложение между смежными горизонталями), можно вычислить угол  $v$  и уклон  $i$ , затем построить масштабы заложений  $v_i = f_1(d_i)$  и  $i_k = f_2(d_k)$ .

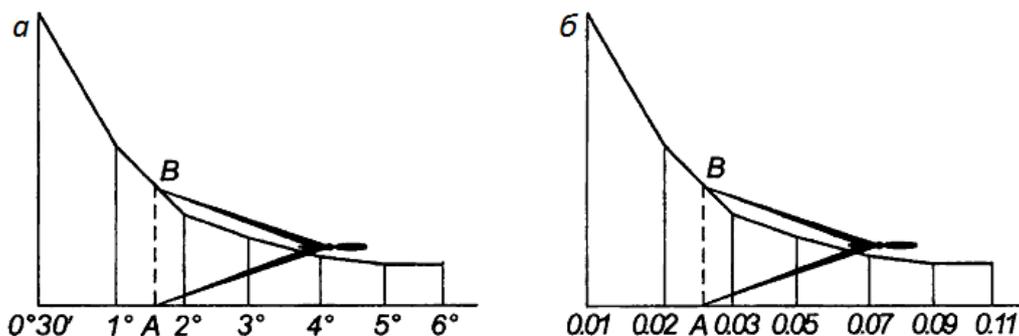


Рис. 29. Графики (масштабы) заложений: а – крутизны, б – уклонов

Для того чтобы по имеющимся масштабам заложений определить крутизну ската, следует в раствор циркуля взять заложение  $d$ , приложить к масштабу заложения так, чтобы одна ножка циркуля была на основании шкалы, а другая – на кривой, при этом обе ножки должны быть на перпендикуляре к основанию шкалы (рис. 29).

Уклон является безразмерной величиной, его можно также записать в процентах (%) или в промиллях (‰):  $i = 0,005 = 0,5 \% = 5 ‰$ .

### 10.3. Определение границы водосборной площади

Водосборной площадью, или бассейном, называется участок земной поверхности, с которой вода по условиям рельефа должна стекать в данный водосток (реку, лощину и т. д.).

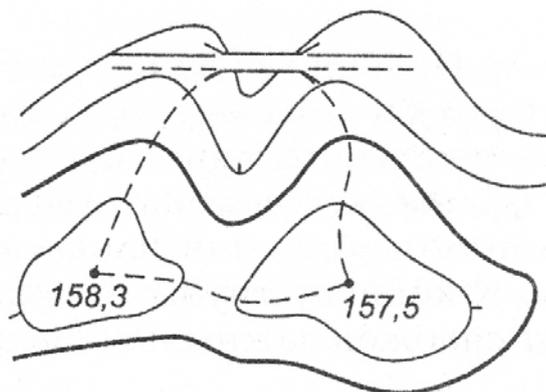


Рис. 30

Оконтуривание водосборной площади проводится с учетом рельефа местности по горизонталям карты (плана).

Границами водосборной площади служат линии водоразделов, пересекающие горизонталы под прямым углом. На рис. 30 линии водоразделов показаны пунктиром. Зная водосборную площадь, среднегодовое количество осадков, условия испарения и впитывания влаги почвой, можно подсчитать мощность водного потока, которая необходима для расчета мостов, площадок, дамб и других гидротехнических сооружений.

### 10.4. Построение профиля по заданному направлению

На карте наносится профильная линия  $BD$  (рис. 31), по которой требуется составить профиль местности.

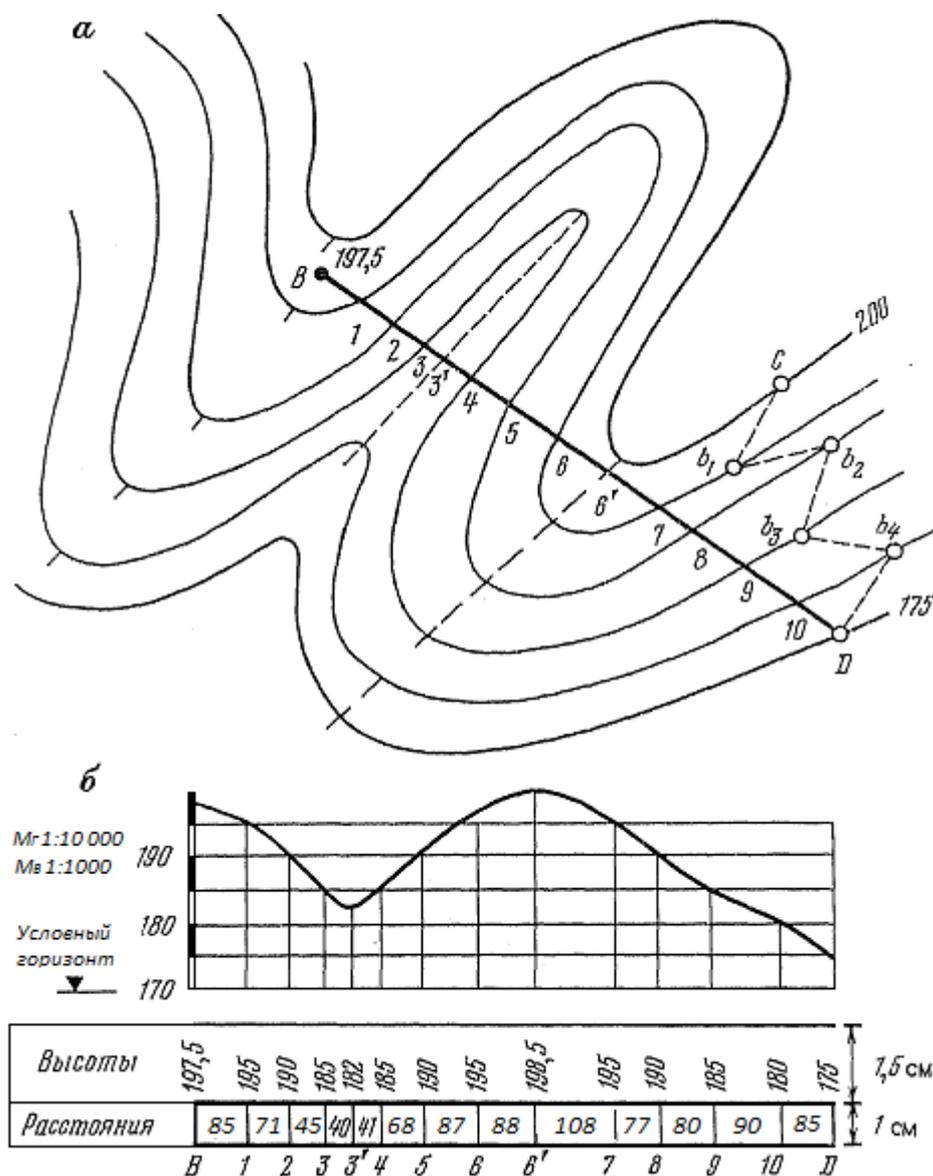


Рис. 31. Построение профиля местности по заданному направлению

При составлении профиля выписывают расстояния между характерными точками и их отметки. Характерные точки находятся в местах пересечения профильной линии горизонталями, водораздельными и водосливными линиями (там, где уклон меняет знак).

Расстояния между точками определяют с округлением до точности масштаба (если  $M = 1:1000$ , то 0,1 мм – 1,0 м), отметки – до 0,1 м.

### 10.5. Проведение линии по кратчайшему направлению с уклоном не более заданного (проектного)

Суть задачи: между точками  $C$  и  $D$  требуется проложить (рис. 31, а) трассу по кратчайшему направлению, но так, чтобы уклон на любом участке трассы был не более некоторого расчетного уклона.

Для этого сначала определяют заложение  $d$ , соответствующее заданному уклону  $i_{np}$ . Величину  $d$  можно получить, используя график заложений (рис. 29, б) или вычислить по формуле:

$$d = \frac{h_c}{i_{np}} \cdot \frac{1}{m},$$

где  $m$  – знаменатель численного масштаба карты (плана).

Например, при  $h_c = 5$  м;  $M 1:10\ 000$  и  $i_{np} = 0,05$

$$d = \frac{5}{0,05} \cdot \frac{1}{10000} = 10_{мм}.$$

Затем из начальной точки  $C$ , придерживаясь заданного направления  $CD$ , раствором измерителя, равным 10 мм, производят засечку соседней горизонтали. Из полученной точки  $b_1$  вновь производят засечку этим же раствором измерителя на следующей горизонтали и получают точки  $b_2$  и т. д. При пересечении оврагов, ручьев, рек и т. д., минуя тальвег, засекают на противоположной стороне препятствия нижнюю одноименную горизонталь. В местах, где расстояние между горизонталями больше вычисленного заложения (т. е., где крутизна ската местности меньше заданного уклона), точки выбирают по направлению линии наибольшего ската. Соединив точки  $C, b_1, b_2, \dots, D$ , получают ломаную линию, все участки которой имеют заданный уклон (на рис. 30 ломаная линия показана пунктиром). Следует отметить, что данная задача имеет несколько решений; из них выбирают наиболее приемлемое.

### 10.6. Построение графика видимости

Взаимную видимость между двумя точками местности можно установить с помощью профиля (см. п. 10.4), на котором их соединяют прямой линией. Если прямая пересекает профиль, то видимости между точками ( $B$  и  $D$ ) нет.

С помощью профилей, построенных из одной точки по нескольким направлениям, наносят участки, не видимые с этой точки. Такие участки называют *полями невидимости*.

## Практическая часть

1. Вблизи вершины холма наметьте точку на карте. Представьте, что в этой точке находится источник воды, покажите направление ее стока.

2. Вычислите средний уклон линии в тысячных (в промиллях) с точки 1 на точку 2, если  $H_1 = 117,5$  м;  $H_2 = 112,3$  м;  $d_{1-2} = 187$  м.

3. Вычислите превышение с точки 1 на точку 2, если уклон линии  $i_{1-2} = -0,028$  и  $d_{1-2} = 332$  м.

4. Вычислите угол наклона с точки 1 на точку 2, если  $h_{1-2} = 5$  м и  $d_{1-2} = 191$  м.

5. Вычислите заложения горизонталей, соответствующие уклону 0,03 для следующих значений высоты сечения рельефа:  $h_c = 2,5$  м;  $h_c = 1,0$  м;  $h_c = 2,0$  м;  $h_c = 0,5$  м.

6. Вычислите крутизну ската для заложения, равного 1 см, на карте масштаба 1:10 000 при  $h_c = 2,5$  м и  $h_c = 5$  м.

7. От заданного на учебной карте сечения водотока (ручья) проведите границу водосборной площади.

8. Изобразите горизонталями ломаный, выпуклый и вогнутый скаты.

9. Высоты двух точек соответственно равны 157 и 182 м. Определите отметки ближайших к ним горизонталей, если принятая высота сечения рельефа 5 м. Сколько и какие горизонталы пройдут между этими двумя точками при указанном сечении? Какие из них должны утолщаться?

10. Даны прямоугольные координаты точек 1, 2 и 3 (таблица 2). Нанесите эти точки на карту в масштабе 1:25 000 на лист У-34-37-В-в (Снов) и определите их абсолютные высоты.

Таблица 2

	1	2	3
X	60 67 200	60 64 625	60 70 250
Y	43 11 425	43 13 500	43 13 250

11. Проведение горизонталей по отметкам точек и построение продольного профиля.

Задание заключается в составлении топографического плана участка местности в масштабе 1:5000 и построении продольного профиля по заданному направлению.

В верхней половине листа формата А4, на котором выполняется задание, вычертите прямоугольник  $100 \times 140$  мм с сеткой квадратов  $20 \times 20$  мм. В квадраты сетки на глаз с рис. 32 перенесите точки и вместо их номеров выпишите отметки, данные преподавателем.

Определите характерные точки и линии рельефа и с учетом их положения произведите линейную интерполяцию для определения положения горизонталей согласно заданной высоте сечения рельефа. Работы выполните в соответствии с указаниями раздела 6. Горизонталы проведите плавными линиями толщиной не более 0,1 мм. Каждую пятую горизонталь утолстите до 0,25 мм и подпишите



## Библиографический список

1. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман; под ред. Д. Ш. Михелева. - 4-е изд., испр. - М.: Академия, 2004. - 480 с.
2. Неумывакин, Ю. К. Практикум по геодезии. - М.: КолосС, 2008. - 318 с.
3. Инженерная геодезия : учебник для вузов / под ред. Д. Ш. Михелева. - 9-е изд., стер. - М.: Academia , 2008. - 478, [1] с.
4. Инженерно-геодезические измерения: метод. указания / сост. В.Н. Гусев, В. Я. Хотяков. - Л.: Изд-во ЛПИ, 1989. - 40 с.
5. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500: утв. ГУГК при Совете Министров СССР 25 ноября 1986 г. / Роскартография. - М.: Картгеоцентр, 2005. - 284 [2] с., [1] отд. л. карт.: ил.