

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
Институт естественных наук
Кафедра геодезии и геоинформатики

Лабораторные работы по топографии

Учебное пособие



Ижевск - 2016

УДК 528.4 (075.8)

ББК 26.1 я73

Л 12

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом УдГУ

Рецензент: к.г.н., доцент И.Е. Егоров

Составители:

к.г.н., И.И. Григорьев,

А.Г. Казаков

Л 12 Лабораторные работы по топографии: Учебное пособие / И.И. Григорьев, А.Г. Казаков. - Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2016. – 92 с.

В учебном пособии, составленном в соответствии с программой курса «Топография», содержится теоретический материал, примеры выполнения заданий и указания к самостоятельной работе студентов.

Пособие предназначено для студентов 1-го курса направлений «Картография и геоинформатика», «Экология и природопользование» и «География».

УДК 528.4 (075.8)

ББК 26.1 я73

© И.И. Григорьев, А.Г. Казаков, 2016

© ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», 2016

Содержание

Введение	4
1. Масштабы топографических карт	6
<i>Лабораторная работа №1</i>	15
2. Разграфка и номенклатура топографических карт	18
<i>Лабораторная работа №2</i>	26
3. Плановые координаты в топографии	28
<i>Лабораторная работа №3</i>	42
4. Условные обозначения топографических карт	43
<i>Лабораторная работа №4</i>	46
5. Изображение рельефа на топографических картах	47
<i>Лабораторная работа №5</i>	56
6. Измерение площадей участков на топографических картах	57
<i>Лабораторная работа №6</i>	59
7. Измерение горизонтальных углов и вычисление координат точек теодолитного хода	62
<i>Лабораторная работа №7</i>	63
8. Определение превышений и высот точек	77
<i>Лабораторная работа №8</i>	82
<i>Лабораторная работа №9</i>	87
Список рекомендуемой литературы	91

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Лабораторные работы по топографии» составлено в соответствии с учебным планом и рабочей программой 1-го курса направлений подготовки 05.03.03 «Картография и геоинформатика», 05.03.02 «География» и 05.03.06 «Экология и природопользование».

В пособии представлены 8 основных тем, по которым студентам предлагается выполнить 9 лабораторных работ. Состав выполняемых работ определяется преподавателем в зависимости от направления подготовки.

Каждая тема начинается с теоретической части, в которой подробно рассматриваются основные понятия и методы работы, а также рассматриваются примеры выполнения некоторых заданий по изучаемой теме. Затем располагаются вопросы для самоконтроля, ответив на которые можно убедиться в понимании особенностей темы и приступить к непосредственному выполнению заданий лабораторной работы.

В первой теме рассматриваются виды масштабов топографических карт, основные способы определения масштабов и измерения длин линий. Подробно рассматривается работа с линейкой нормального поперечного масштаба.

Вторая тема посвящена изучению разграфки и номенклатуры топографических карт. Рассматриваются примеры определения разграфки и номенклатуры листов карт различных масштабов. Приведены 25 вариантов заданий для выполнения лабораторной работы.

Третья тема содержит описание трех типов координатных систем и способы определения координат в каждой из них по топографической карте.

В четвертой теме содержится описание видов условных знаков, используемых для отображения предметов местности на топографической карте.

В пятой теме рассматриваются способы изображения рельефа на топографической карте и приводятся решения типовых задач при работе с горизонталями.

Шестая тема содержит описание способов измерения площадей участков на топографических картах. Основной упор сделан на изучение аналитического способа определения площади участка.

В седьмой теме рассматривается процесс измерения горизонтальных углов с помощью теодолита и последующей камеральной обработки замкнутого и разомкнутого теодолитных ходов. Предлагается 7 вариантов заданий.

Восьмая тема посвящена изучению процесса определения высот и превышений точек с помощью нивелира методами геометрического и тригонометрического нивелирования. Каждый из рассматриваемых методов выделяется в отдельную лабораторную работу.

Выполнение представленных лабораторных работ способствует формированию у студентов общекультурных и профессиональных компетенций, закрепленных федеральным государственным образовательным стандартом и представленных в рабочих программах каждого направления подготовки по курсу «Топография».

1. МАСШТАБЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Топографические планы и карты. При изображении небольшого участка земной поверхности радиусом до 10 км его проецируют на горизонтальную плоскость. Полученные горизонтальные проложения уменьшают и наносят на бумагу, т.е. получают *топографический план* – уменьшенное и подобное изображение небольшого участка местности, построенное без учета кривизны Земли. Топографические планы создаются в крупных масштабах 1:500, 1:1 000, 1:2 000, 1:5 000 и используются для составления генеральных планов, технических проектов и чертежей для обеспечения строительства. Планы ограничиваются рамками квадрата 40×40 см или 50×50 см, ориентированными на север.

При изображении на плоскости значительных территорий проецирование их производят на сферическую поверхность, которую затем разворачивают в плоскость, используя методы построения изображений, называемые картографическими проекциями. Таким образом, получают *топографическую карту* – уменьшенное, обобщенное и построенное по определенным математическим законам изображение на плоскости значительного участка земной поверхности с учетом кривизны Земли.

Топографические карты в России издаются в масштабах 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 и 1:1 000 000.

Масштаб карты выражается отношением длины линии на карте к длине горизонтального проложения соответствующей линии на местности и определяет степень уменьшения элементов местности при изображении их на карте. Масштабы могут быть выражены как в численной, так и в линейной формах.

Численным масштабом называется дробь, в числителе которой всегда записывается единица, а в знаменателе некоторое число М, указывавшее во сколько раз линия на карте меньше соответствующих линий на местности. Численный масштаб (М

или 1: М) печатается под южной рамкой топографической карты и дополняется пояснительной подписью, которая указывает в словесном виде на соотношение отрезков на карте и соответствующих отрезков на местности. Например: "1 см на карте соответствует 250 м на местности" (на карте масштаба 1:25 000) или "1 см на карте соответствует 1 км на местности" (на карте масштаба 1:100 000).

Используя численный масштаб, измерения на картах можно производить в любых - метрических или не метрических - линейных мерах. Предположим, что измерения длин производятся на английской топографической карте, составленной в масштабе 1:63 360. Можно ли определить длину линии на местности в метрической системе мер по такой карте? Знаменатель численного масштаба показывает, что линии на этой карте меньше линий на местности в 63 360 раз и, следовательно, 1 см на карте соответствует 63 360 см на местности или 633,6 м. Например, измеренный отрезок на карте оказался равным 57,4 мм. Тогда линия на местности, соответствующая этому отрезку, будет равна:

$$57,4 \text{ мм} \times 63360 = 3\,636\,864,0 \text{ мм} = 3\,636,86 \text{ м} = 3 \text{ км } 636 \text{ м } 86 \text{ см}.$$

Пусть на этой же карте измерен отрезок длиной в 1 дюйм. Тогда на местности соответствующий отрезок получится равным 1 дюйм $\times$ 63 360 = 63 360 дюймов = 1 англ. миле.

Таким образом, для того чтобы определять длину отрезка на местности надо:

- измерить отрезок на карте;
- умножить его на знаменатель численного масштаба.

Линейный масштаб. Для того чтобы упростить измерения длин, под южной рамкой карты помещается графический линейный масштаб. Он имеет вид линейки с делениями, оцифрованными в мерах местности, соответственно численному масштабу, для которого он построен (рис. 1).

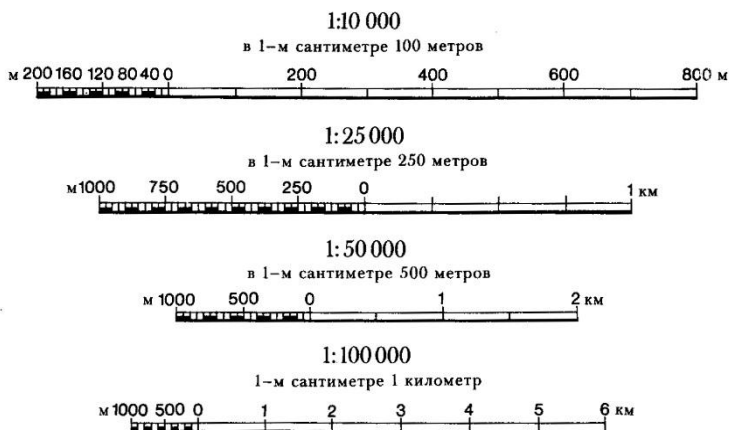


Рис.1. Линейные масштабы

Отрезки, на которые делится линейный масштаб, называются *основанием масштаба* и могут иметь произвольную величину - 1, 2, 4 см. При выборе величины основания ставится обязательное условие: каждому отрезку (основанию) должно соответствовать круглое число метров или километров местности. Самое левое основание делится на 10 частей, что позволяет производить линейные измерения с точностью, равной 0,03 - 0,05 основания.

Поперечный масштаб. Применение поперечного масштаба дает возможность измерять отрезки на карте или на чертеже с точностью, равной 0,01 основания масштаба. Если, например, основание масштаба равно 20 мм, то точность измерения будет равна 0,2 мм. В основе поперечного масштаба лежит известная геометрическая теорема о пропорциональности отрезков параллельных прямых, пересекающих стороны угла.

Нормальный поперечный масштаб строят следующим образом. На прямой несколько раз откладывают основание масштаба - отрезок длиной в 20 мм. Из всех полученных точек деления восстанавливают перпендикуляры.

На крайних перпендикулярах откладывают 10 равных ча-

стей (по 2,5 - 3 мм) и через полученные точки проводят прямые, параллельные основанию масштаба. Первый слева двухсантиметровый отрезок по верхней и нижней горизонтальным линиям чертежа разбивают на 10 частей по 2 мм каждая. Полученные точки соединяют наклонными линиями, как показано на рис. 2. Из чертежа видно, что $a_1b_1=0,1AB=0,2$ мм; $a_2b_2=0,2AB=0,4$ мм; $a_3b_3=0,3AB=0,6$ мм и т.д.

Использование поперечного масштаба.

1. Требуется отложить на бумаге (карте, аэрофотоснимке) отрезок $PQ=59$ мм. Ножки циркуля ставим в точки P и Q (рис.2).

Тогда весь раствор циркуля будет состоять из следующих отрезков поперечного масштаба:

$$QP = Qb_5 + b_5a_5 + a_5P = 40 \text{ мм} + 1 \text{ мм} + 18 \text{ мм} = 59 \text{ мм}$$

2. На карте масштаба 1:100 000 снять циркулем-измерителем отрезок и определить его длину на местности.

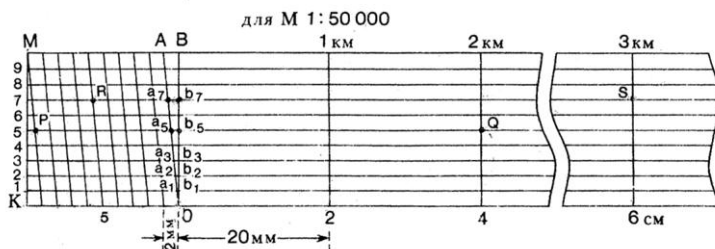


Рис.2. Нормальный поперечный масштаб

Устанавливаем иголки циркуля в начальную и конечную точки измеряемого отрезка и осторожно, чтобы не изменить раствора циркуля, переносим его к поперечному масштабу. Правую иголку устанавливаем на одну из перпендикулярных линий масштаба с таким расчетом, чтобы левая попала на левое основание. Затем перемещаем циркуль вверх по поперечному масштабу, не сводя правой иголки с перпендикулярной линии до тех пор, пока левая иголка не попадет на пересечение какой-либо наклонной линии с одной из горизонтальных. На рис. 2

правая иголка оказалась в точке S , а левая в точке R , все расстояние сложится из отрезков, на поперечном масштабе:

$$SR = Sb_7 + b_7a_7 + a_7R = 60 \text{ мм} + 1,4 \text{ мм} + 10 \text{ мм} = 71,4 \text{ мм}$$

Умножив этот отрезок, снятый с карты, на знаменатель масштаба, равный 100 000, определим длину соответствующего отрезка на местности:

$$7,14 \text{ мм} \times 100\,000 = 714\,000 \text{ мм} = 7 \text{ км } 140 \text{ м.}$$

При большом количестве измерений на карте целесообразно заранее оцифровать поперечный масштаб в мерах на местности, соответственно численному масштабу карты. Предположим, что измерения производятся на карте 1:50 000. Так как основание масштаба равно 20 мм, то оно соответствует отрезку на местности величиной в 1 км. Тогда цифры, подписанные на масштабе – 1, 2, 3, 4 – будут обозначать километры, десятые части основания явятся гектометрами, а с подъемом с одной горизонтальной линии на другую будем прибавлять по 10 м. Для карты масштаба 1:500 000 поперечный масштаб будет оцифрован - 0, 10, 20, 40, 60 км; десятые части левого основания будут соответствовать отрезкам местности длиной в 1 км и с подъемом с горизонтальной линии на другую будем прибавлять по 100 м.

Переходный масштаб используется тогда, когда измерения длин производятся на картах, составленных в не метрической системе мер. К таким картам относятся карты некоторых англоязычных стран и бывших колоний Великобритании и США, а также русские дореволюционные карты. Сантиметру на этих картах соответствует некруглое число метров или километров на местности, поэтому использовать для измерений сантиметровые масштабы практически неудобно. Целесообразно построить такой линейный или поперечный масштаб, у которого основание могло бы соответствовать круглому значению мер на местности. Предположим, что необходимо построить переходный поперечный масштаб для работы с картой масштаба 1:31 680. В этом масштабе 1 см карты соответствует 316,8 м на местности. Чтобы определить рациональную величину основания поперечного масштаба, составим пропорцию:

1 см соответствует 316,8 м;

x см соответствует 500 м;

$$x = \frac{500 \text{ м} * 1 \text{ см}}{316,8 \text{ м}} = 1,578 \text{ см}$$

Эту величину и принимают как основание поперечного масштаба, который можно теперь оцифровать - 0, 500, 1 000, 1 500, 2 000 м. Десятые доли основания будут означать 50-метровые отрезки, а при переходе с одной горизонтальной линии на другую будем прибавлять по 5 м.

Графическая точность масштаба. Наибольшая точность, которую может дать нормальный поперечный масштаб, равна 0,2 мм. Отрезок на местности, соответствующий на карте отрезку в 0,2 мм, называется графической точностью, а отрезок в 0,1 мм - предельной графической точностью масштаба топографической карты. Графическая точность масштаба для карт с разным численным масштабом будет различна. Так, например, для карты масштаба 1:50 000 она будет равна 10 м, а для карты масштаба 1:500 000 - 100 м. Таким образом, графическая точность масштаба определяет подробность карты и точность линейных, а также площадных измерений.

Масштабы аэрофотоснимков. Масштаб топографических карт практически одинаков на всем поле карты. Масштаб аэрофотоснимка в разных его частях неодинаков и иногда различается на значительную величину. Причиной этого являются - наклон оптической оси аэрофотоаппарата в момент фотографирования и амплитуда рельефа сфотографированной местности. Это обстоятельство усложняет измерения на аэрофотоснимках, а также нарушает геометрическое подобие картографического и фотографического изображений местности.

Масштаб аэрофотоснимка может быть выражен следующей формулой:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H},$$

где f - фокусное расстояние аэрофотоаппарата, H - высота фотографирования.

Способы определения масштабов карт. Масштаб топографической карты может быть определен одним из следующих способов:

- по километровой сетке, напечатанной на карте;
- по длине дуги меридиана (по рамке карты);
- по километровым столбам, изображенным на карте;
- по ширине реки;
- по расстояниям между известными пунктами на карте и местности.

Для определения масштаба по километровой сетке измеряется сторона квадрата и берется отношение полученного значения к длине стороны квадрата на местности. Это отношение приводится к виду $\frac{1}{M}$, т.е. к численному масштабу.

Предположим, что сторона квадрата равна 4 см. По подписям выводов сетки известно, что сторона на местности равна 1 км. Тогда:

$$\frac{1}{M} = \frac{4\text{см}}{1000 * 100\text{см}} = \frac{1}{25000}$$

Для определения масштаба по меридиану следует измерить длину одной шапки (одна минута по широте) на минутной рамке карты и отнести эту величину к длине минуты меридиана на местности. Эта длина на местности равна 1852 м, пусть на карте она оказалась равной 1,85 см. Получим масштаб:

$$\frac{1}{M} = \frac{1,85\text{см}}{1852 * 100\text{см}} = \frac{1}{100000}$$

Длину дуги параллели (по южной или северной рамке карты) брать не рекомендуется, так как она значительно изменяется в зависимости от широты.

Для определения масштаба по километровым столбам на карте измеряется расстояние между условными знаками, изображающими эти предметы; на местности это расстояние равно 1 км.

На топографических картах обычно подписывают шири-

ну крупных рек, поэтому численный масштаб может быть определен, если измерить на карте ширину реки. Таким же образом определяют масштаб, если известны расстояния на местности между какими-либо пунктами, например, между опорными геодезическими или населенными.

Способы измерений длин на топографических картах.

Топографическая карта, предназначенная для измерения на ней расстояний, не должна иметь сгибов, потертостей, разрывов и др. Карту следует расположить на гладкой поверхности, прикрыв ее, например, на чертежную доску.

Расстояния на топографической карте измеряют миллиметровой линейкой или с помощью циркуля-измерителя с использованием линейного или нормального поперечного масштаба. Иногда расстояния определяются глазомерно, что делается в тех случаях, когда не требуется знать их точную величину и можно допустить погрешность в пределах 10%.

Определение расстояний с помощью миллиметровой линейки производят следующим образом. Линейку прикладывают к измеряемому отрезку и берут два отсчета по шкале линейки; один в начальной точке отрезка и второй в конечной, оценивая доли миллиметра на глаз. Разность этих отсчетов является длиной измеряемого отрезка. Эту величину умножают на знаменатель численного масштаба и получают длину отрезка на местности.

Линейки мало пригодны для измерения длин рек, дорог, границ и т.п. Такие линии обычно измеряют циркулем-измерителем и графическим масштабом – линейным или поперечным. Исправный циркуль-измеритель должен иметь острые иглы, которые при сжатых ножках циркуля сходятся в точку и дают один накол. Ножки должны передвигаться плавно, без рывков и заеданий в не должны пружинить. Необходимый раствор ножек циркуля устанавливают легким нажимом среднего или указательного пальца на левую от оператора ножку. Прикладывая циркуль к измеряемому отрезку, следует иголки циркуля располагать к себе, для чего циркуль слегка наклоняется от себя.

Недопустимо устанавливать раствор циркуля двумя руками. При измерении расстояний циркулем нельзя раздвигать ножки полностью. Опыт показал, что наилучший раствор циркуля тот, при котором угол между ножками не превышает прямого. Длинные линии на карте измеряют по частям шагом циркуля. Для этого с линейного или поперечного масштаба снимают циркулем целое количество километров или сотен метров и этим раствором циркуля "шагают" по измеряемой линии, ведя счет сделанным "шагам". Остаток линии меньше одного "шага" измеряют по линейному или поперечному масштабу.

Измерение извилистых линий производят небольшим (1-4 мм) "шагом" циркуля. Предварительно определяется величина шага циркуля. Для этого нужно вдоль прямой отложить циркулем 10-20 шагов, измерить эту длину и разделить ее на число отложений. Для измерений длин ломаных линий может быть применен способ створов. Последний способ заключается в следующем. Предположим, что требуется измерить ломаную линию $ABCDEF$ (рис. 3).

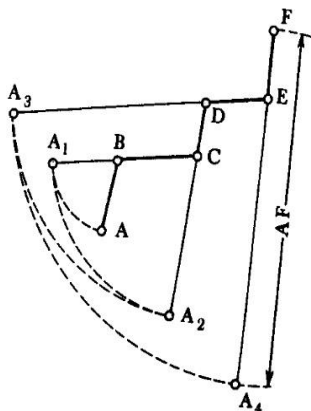


Рис. 3. Измерение ломаной линии

Установив ножки циркуля в точках A и B , переносим иглу A (заднюю) из точки A в точку A_1 на продолжение линии BC . Оставив иглу циркуля в точке A_1 , передвигаем другую иглу (переднюю) из точки B в точку C . Затем оставляем переднюю иглу в точке C , а заднюю из точки A_1 перемещаем в точку A_2 на продолжение линии CD и поступаем так до тех пор, пока в раствор циркуля-измерителя A_4F не войдут длины всех отрезков, составляющих $ABCDEF$.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется топографической картой?
2. Что называется топографическим планом?
4. Что называется масштабом?
5. Перечислите виды масштабов.
6. Что называется точностью масштаба? Как ее вычислить?

Лабораторная работа № 1

Приборы и оборудование:

- топографические карты У-34-37-В-в; У-34-37-В-в-4(Снов);
- металлические миллиметровые линейки;
- линейка поперечного нормального масштаба;
- циркуль-измеритель;
- треугольники (30°, 60°)

Задание №1. Определить численный масштаб карты

№	Отрезок на карте, см	Отрезок на местности, м
1	1,34	335
2	2,52	5 040
3	3,50	2 632
4	9,30	9 300
5	12,14	2 430
6	7,25	145
7	6,42	1 805
8	2,50	1 050
9	2,00	1 680
10	3,77	7 540
11	10,20	2 530
12	1,18	59
13	2,50	3 150
14	9,35	9 350
15	25,40	12 700
16	37,50	1 875
17	3,00	1 260
18	1,01	1 010
19	7,20	1 800
20	2,40	1 200

Задание №2. Определить расстояния на местности, если соответствующие отрезки на карте K в масштабе $1: M$ равны:

№	Отрезки K , см				Масштаб карты $1:M$
1	1,1	2,8	9,5	16,2	1:5 000
2	1,2	3,9	10,6	17,3	1:10 000
3	1,3	4,0	11,7	18,4	1:20 000
4	1,8	5,1	12,8	19,5	1:25 000
5	1,8	6,2	13,9	20,6	1:31 000
6	1,9	8,4	21,5	17,3	1:40 000
7	2,4	5,8	19,4	11,5	1:50 000
8	2,1	7,3	15,4	10,7	1:62 500
9	5,1	6,0	18,7	22,7	1:63 360
10	4,5	2,1	14,7	21,2	1:300 000
11	1,2	4,9	30,5	57,8	1:200 000

Задание №3. Построить переходный линейный масштаб для следующих численных масштабов:

1:21 000, 1:42 000, 1:84 000, 1:63 000, 1:840 000, 1:420 000, 1:168 000, 1:31 680, 1:105 600, 1:126 000.

Задание №4. Построить поперечный переходный масштаб для следующих численных масштабов:

1:21 000, 1:42 000, 1:84 000, 1:168 000, 1:63 000, 1:126 000, 1:63 360.

Задание №5. С помощью нормального поперечного масштаба отложить на бумаге пять расстояний:

№	Масштаб	Расстояния, м				
1	1:10 000	432	741	314	335	1 005
2	1:25 000	210	374	145	282	3 127
3	1:50 000	1 250	589	426	305	1 270
4	1:100 000	1 367	694	899	951	4 769

Задание №6. Пользуясь линейным масштабом и циркулем - измерителем, на карте У-34-37-В-в измерить расстояния между точками:

- геодезический пункт 216,4 (6 910) - высота 213,8 (6 812),
- колодец в д. Никитино (6 909) - высота 208,8 (6 910),
- длину узкоколейной железной дороги от разъезда Добрынино (6 614) до кирпичного завода (6 613).

Задание №7. Определить коэффициент извилистости рек и ручьев:

- р. Голубой до впадения в оз. Черное,
- р. Голубой от выхода из оз. Черное до впадения в р. Андогу,
- ручья Стача от д. Зорино (6 608) до впадения в р. Андогу,
- ручья Безымянного, исток которого находится в квадрате 6408, до впадения в р. Андогу.

Для решения этого задания необходимо:

- измерить длину водотока,
- измерить воздушную прямую от истока (или начальной точки) до устья,
- вычислить коэффициент извилистости по формуле:

$$K = \frac{L}{l},$$

где L - длина реки, l - длина воздушной прямой.

2. РАЗГРАФКА И НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Топографические карты являются многостранными и издаются отдельными листами определенного размера. Разделение топографических карт на листы называется *разграфкой*. Каждый лист карты имеет только ему принадлежащий индекс, и эта система обозначения каждого листа называется *номенклатурой топографических карт*.

В основу номенклатурной индексации карт положен принцип деления поверхности Земли меридианами и параллелями, проведенными через заданные разности долгот и широт, на сфероидические трапеции. Такие выделенные участки картографируются в различных масштабах, а карты получают соответствующий масштабу индекс (рис. 4).

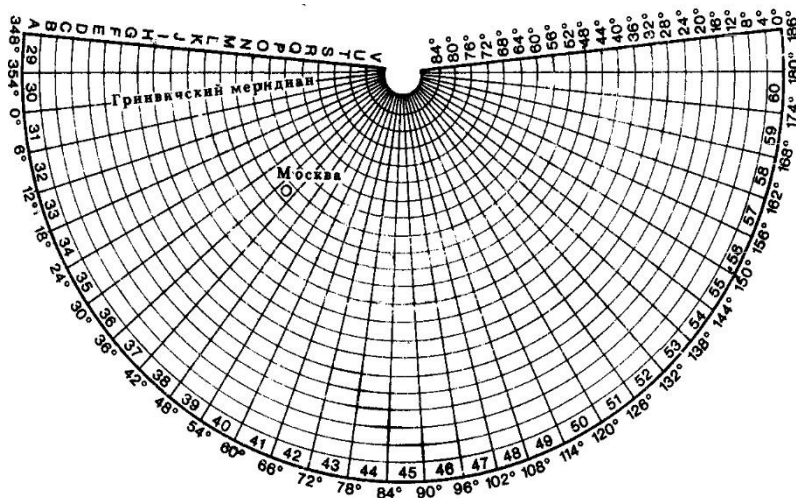


Рис. 4. Разграфка листов карт масштаба 1:1000000

Этот принцип практически реализуется следующим образом. Первоначально поверхность Земли делится меридианами, проведенными через каждые 6° на двугольники, которые называются номенклатурными колоннами. Каждая колонна нумеруется арабскими цифрами с запада на восток, начиная от

меридиана с долготой 180° . Таким образом, часть Чукотского полуострова будет находиться в колонне 60, а часть - в колонне 1. Параллелями, которые проводятся через каждые 4° , земная поверхность делятся на ряды. Каждый ряд обозначается главными буквами латинского алфавита, начиная от экватора к северу и югу. Таким образом, рядов с одинаковым буквенным обозначением на Земле будет два - один в северном, а другой в южном полушарии. В результате такого деления на поверхности Земли будут выделены сфероидические трапеции, ограниченные меридианами и параллелями и имеющие размеры 6° по долготе и 4° по широте. Индекс каждой трапеции сложится из буквенного обозначения ряда и номера колонны (например, О-36). Такой участок картографируется в масштабе 1:1 000 000, а полученная карта имеет тот же индекс, что и изображенный на ней участок (например, К-40, В-20, О-36 и т.д.). Номенклатура листа для Москвы N-37, для Ижевска с географическими координатами $\varphi = 56^\circ 51' \text{ с.ш.}$, $\lambda = 53^\circ 13' \text{ в.д.}$ - О-39.

Участки, покрываемые листами карты масштаба 1:1000000, являются основой для номенклатур карт более крупного масштаба. Для этого они дробятся на более мелкие участки меридианами и параллелями.

Разделим исходный участок (участок, покрываемый картой масштаба 1:1 000 000) на четыре части, проведя меридианы через 3° , а параллели - через 2° (рис. 5). Полученные участки индексируем буквами русского алфавита - А, Б, В и Г. Каждый такой участок картографируется в масштабе 1:500 000. Сам участок и покрывающая его карта получают номенклатуру, состоящую из номенклатуры листа миллионной карты, в пределах которой находится данный участок пятисоттысячной карты, и индекса, указанного выше (например, О-39-Г для Ижевска). Для получения номенклатуры карты масштаба 1:200 000 исходный участок масштаба 1:1000000 делится дополнительными меридианами через 1° по долготе и параллелями через $40'$ по широте на 36 участков (рис. 6). Каждый участок картографируется в масштабе 1:200 000 и индексируется римской цифрой. Номенклатура отдельных листов этой карты сложится из

номенклатуры исходного участка и индекса данной карты (например, О-39-XXX).

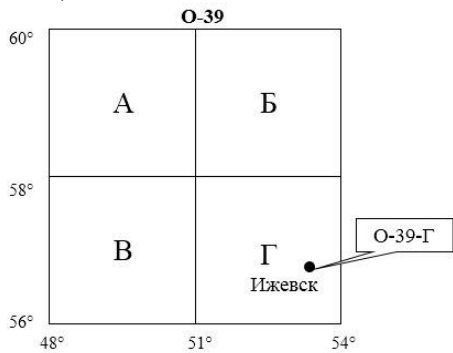


Рис. 5 Разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1:500000

Чтобы получить участки для создания карты в масштабе 1:100 000, исходный участок масштаба 1:1000000 дробится меридианами и параллелями, соответственно, через 30' по долготе по 20' по широте на 144 участка, которые индексируются арабскими цифрами (рис. 7). Номенклатура участков и соответствующих листов стотысячной карты сложится из номенклатуры исходного первоначального участка и индекса стотысячной карты (например, О-39-119).

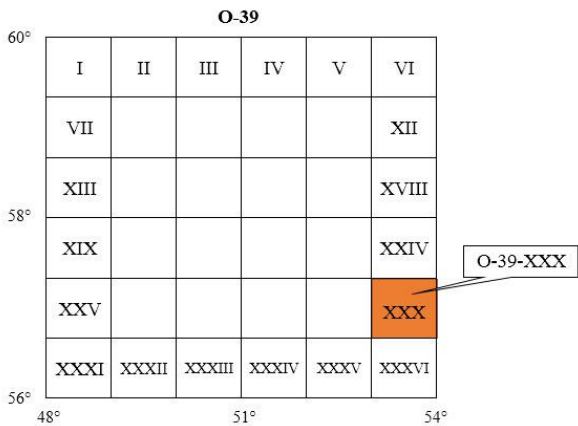


Рис. 6 Разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1:200000

Для карт более крупного масштаба за исходный участок принимается тот, который изображается на карте предыдущего более мелкого масштаба. Например, для карты масштаба 1:50000 исходным явится участок, изображенный на стотысячной карте (рис. 8), для карты масштаба 1:25 000 - участок пятидесятитысячной карты, а для карты масштаба 1:10 000 - трапеция двадцатипяти тысячной карты. Таким образом, для карты масштаба 1:50000 участок, покрываемый стотысячной картой, следует разделить дополнительными меридианами и параллелями на четыре участка, которые индексируются буквами русского алфавита А, Б, В и Г. Номенклатура листов карты (и соответственно участков на Земле) сложится из номенклатуры стотысячной карты и индекса пятидесятитысячной (например, О-39-119-А).

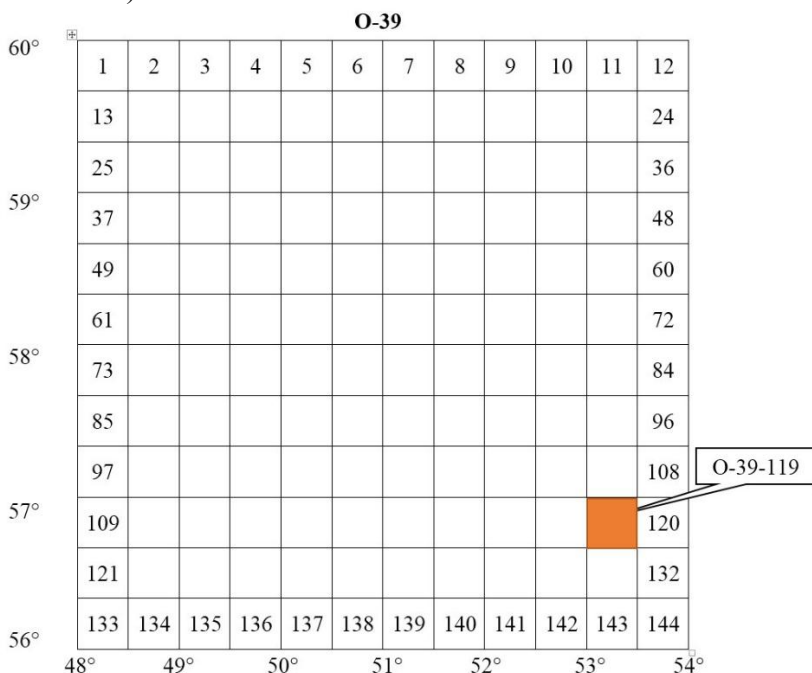


Рис. 7 Разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1:100000

Номенклатура карты масштаба 1:25 000 получится, если участок, покрываемый пятидесятитысячной картой, разделить меридианами и параллелями на четыре участка и индексировать их малыми буквами русского алфавита - а, б, в, г. Номенклатура листов этой карты сложится из номенклатуры пятидесятитысячной и соответствующего индекса (например, О-39-119-А-г). Наконец, номенклатура карты 1:10000 сложится из номенклатуры двадцатипяти тысячной карты, разделенной меридианами и параллелями на четыре участка, индексированные арабскими цифрами - 1, 2, 3, 4, и соответствующего индекса (например, О-39-119-А-г-4).

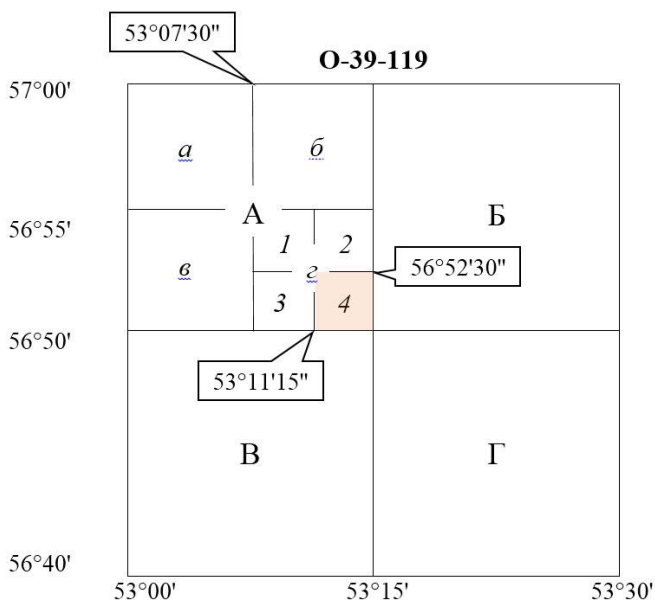


Рис. 8 Разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1:50000, 1:25000, 1:10000

Некоторые особенности имеет разграфка и номенклатура листов топографических планов (рис. 9).

Листу карты масштаба 1:100 000 соответствует 256 листов плана масштаба 1:5 000, которые обозначаются арабскими

цифрами от 1 по 256. Эти цифры приписываются в скобках к номенклатуре листа 1:100 000. Например, О-39-119-(256).

Одному листу плана масштаба 1:5 000 соответствует 9 листов плана масштаба 1:2 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита *а, б, в, г, д, е, ж, з, и*. Например: О-39-119-(256-и).

При создании топографических планов участков, площадью до 20 км² может быть применена прямоугольная разграфка (условная). В это случае в основу разграфки рекомендуется принимать планшет - лист плана масштаба 1:5 000 с размерами рамок 40х40 см или 50х50 см и обозначить его арабскими цифрами, например 4. Одному листу плана масштаба 1:5 000 соответствует 4 листа плана масштаба 1:2 000, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита. Номенклатура последнего листа плана масштаба 1:2000 4-Г (рис. 9).

Одному листу плана масштаба 1:2 000 соответствуют 4 листа масштаба 1:1 000, которые обозначаются римскими цифрами I, II, III, IV. Например: 4-Б-II.

Для определения номенклатуры листа плана масштаба 1:500 делят лист плана масштаба 1:2 000 на 16 листов и обозначают их арабскими цифрами от 1 по 16. Например: 4-В-15.

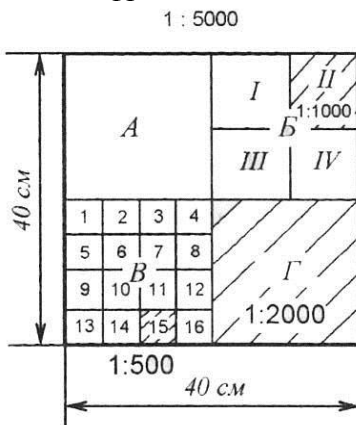


Рис. 9 Прямоугольная разграфка и номенклатура листов планов масштаба 1:5 000, 1:1 000, 1:500

Севернее параллели 60° листы карт издаются сдвоенными, а севернее параллели 76° - счетверенными по долготе. Эта номенклатурная система определяет для каждого листа карты размеры наиболее рациональные и удобные для использования в полевых и камеральных условиях.

Эта же номенклатурная система принята для индексации крупномасштабных тематических карт – геологических, почвенных и др. Номенклатура данного листа карты напечатана над северной рамкой карты, а номенклатуры соседних листов печатают мелким шрифтом в разрывах северной, восточной, западной и южной рамок.

Образцы номенклатур и размеры трапеции приведены в таблице 1:

Таблица 1

Номенклатура и размеры трапеций

Масштаб карты	Размер трапеций		Средняя площадь на широте 54°, км ²	Образец номенклатуры
	по широте	по долготе		
1: 1 000 000	4°	6°	176 104	О-39
1:500 000	2°	3°	43 776	О-39-В
1:200 000	40'	1°	4 864	О-39-XXII
1:100 000	20'	30'	1 216	О-39-119
1:50 000	10'	15'	306	О-39-119-А
1:25 000	5'	7'30"	78	О-39-119-А-Г
1:10 000	2'30"	3'45"	19	О-39-119-А-Г-4

Типовые задачи и примеры их решения:

1. Определить номенклатуру листа карты масштаба 1:100000, на которой находится пункт с координатами: широта 52°25' и долгота 48°37'. Порядок решения:

а) определяются широта и долгота и номенклатуры карты масштаба 1:1 000 000.

Так как каждый номенклатурный ряд имеет протяженность по широте в 4° , то очевидно, что лист миллионной карты, где находится заданный пункт, размещается в 14 ряду, который обозначается латинской буквой N. Широта южной рамки этого листа составит 52° , а северной - 56° . Первая к востоку от Гринвичского меридиана номенклатурная колонна имеет №31. Следовательно, искомый лист миллионной карты находится в 9-й колонне от Гринвича и имеет №39, так как каждая колонна имеет протяженность по долготе в 6° , крайние меридианы, ограничивающие лист карты, будут иметь долготы 48° и 54° восточной долготы. Таким образом, номенклатура искомого листа будет N-39.

б) определяется номенклатура искомого листа карты масштаба 1:100 000.

На бумаге вычерчивается трапеция, которая разделяется на 144 части, для чего стороны ее делятся на 12 частей и эти деления соединяются прямыми линиями. Каждая часть представит собой лист стотысячной карты. Так как разность долгот рамок этой карты составляет $30'$, а разность широт - $20'$, то теперь нетрудно найти положение искомого стотысячного листа и его номенклатуру (N-39-122).

2. Определить номенклатуры листов карты, смежных с листом стотысячной карты, имеющей номенклатуру O-36-132. Для решения этой задачи следует на листе бумаги вычертить трапецию, изображающую лист миллионной карты, с номенклатурой O-36. Эту трапецию следует разграфить на стотысячные листы (см. задачу 1). Каждую клетку следует пронумеровать арабскими цифрами так, как это принято для индексации листов стотысячной карты, и найти на этом чертеже 132-ю клетку. После этого прочитать на чертеже индексы клеток, окружающих данную.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется разграфкой карт?
2. Что называется номенклатурой карт и планов?

3. Карта какого масштаба положена в основу разграфки и номенклатуры топографических карт и планов?
4. Лист плана какого масштаба лежит в основе условной прямоугольной разграфки планов?

Лабораторная работа №2

Задание 1. Определить номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000, на котором находится пункт с географическими координатами:

№	Северная широта, φ	Восточная долгота, λ
1	8°51'	84°10'
2	49°18'	66°46'
3	52°54'	37°14'
4	54°08'	116°09'
5	40°36'	49°35'
6	56°49'	62°40'
7	55°56'	10°42'
8	44°13'	13°32'
9	30°59'	154°57'
10	48°36'	80°24'
11	52°41'	27°13'
12	44°46'	31°24'
13	10°34'	147°20'
14	53°16'	40°50'
15	53°09'	40°41'
16	56°25'	83°59'
17	63°04'	113°52'
18	46°28'	98°41'
19	84°09'	103°09'
20	72°13'	42°33'
21	39°09'	53°15'
22	161°16'	66°33'
23	49°47'	78°18'
24	74°02'	156°29'
25	62°07'	82°46'

Задание 2. Определить географические координаты - широту и долготу – рамок листа карты со следующей номенклатурой:

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1) С-55-55-Б-в-2 | 14) М-43-59-А-г-2 |
| 2) L-36-111-Г-б-3 | 15) М-43-59-Б-в-2 |
| 3) N-35-115-В-г-4 | 16) D-44-55-Б-в-4 |
| 4) М-44-125-Б-б-3 | 17) N-43-101-А-в-3 |
| 5) Н-56-46-Б-б-2 | 18) К-33-42-Б-в-3 |
| 6) L-33-136-А-в-1 | 19) Р-47-14-Б-а-2 |
| 7) N-32-10-А-б-4 | 20) L-41-76-А-г-1 |
| 8) О-41-114-В-б-1 | 21) М-29-08-Б-б-2 |
| 9) К-39-124-А-а-4 | 22) О-60-59-А-в-3 |
| 10) О-50-67-В-г-1 | 23) С-41-55-Б-а-2 |
| 11) N-37-111-А-г-2 | 24) Н-44-18-Г-в-4 |
| 12) М-42-98-Б-а-1 | 25) N-35-86-А-а-2 |
| 13) С-45-109-А-г-3 | |

Задание 3. Определить номенклатуры листов карты масштаба 1:50 000, смежных с листом, имеющим следующую номенклатуру:

- | | |
|---------------|---------------|
| 1) N-35-61-А | 14) Р-42-33-Г |
| 2) М-51-24-Б | 15) Н-59-45-А |
| 3) Р-59-13-В | 16) D-44-55-Б |
| 4) N-42-97-Г | 17) К-33-42-Г |
| 5) О-38-64-Б | 18) О-57-45-А |
| 6) М-35-61-А | 19) Н-32-47-В |
| 7) О-51-24-Б | 20) N-42-35-А |
| 8) К-59-13-В | 21) М-46-86-Г |
| 9) С-42-97-Г | 22) С-49-48-А |
| 10) L-38-64-Б | 23) Р-56-41-В |
| 11) М-43-59-Б | 24) L-54-45-А |
| 12) L-42-33-Г | 25) К-57-24-Б |
| 13) М-43-59-А | |

3. ПЛАНОВЫЕ КООРДИНАТЫ В ТОПОГРАФИИ

В топографии широко применяются геодезические (географические), прямоугольные и полярные координаты.

1. Геодезические (географические) координаты. В этой системе координат положение точки определяется широтой и долготой. Широта отсчитывается по дуге меридиана в обе стороны от экватора, начиная от 0° до 90° . В северном полушарии они называются северными и обозначаются знаком плюс; в южном - южными и обозначаются знаком минус. Долготы отсчитываются по дуге экватора или параллели в обе стороны от начального меридиана, начиная от 0° до 180° . Долготы к востоку от начального меридиана до 180° называются восточными и обозначаются знаком плюс; к западу – западными и обозначаются знаком минус.

Следует иметь в виду, что на топографических картах подписываются так называемые геодезические координаты, величина которых определяется размерами и ориентацией референц-эллипсоида. Российские топографические карты построены на референц-эллипсоиде Красовского. Геодезические координаты не равны астрономическим широтам и долготам, определенным, например, по наблюдениям небесных светил. Эти различия порядка $3''$ - $4''$, а в отдельных районах (горы, места в океанах и др.) могут достигать $30''$ - $40''$ и больше. Это означает, что если на топографическую карту навести точку по астрономическим широтам и долготам, то точка может оказаться в стороне от истинного положения на карте примерно на 100 м в любом районе Земли, а в некоторых районах - на километр и возможно больше. Если такая точность недостаточна, то предварительно астрономические координаты должны быть перевычислены в геодезические. В тех случаях, когда различиями геодезических и астрономических широт и долгот пренебрегают, их называют географическими. Геодезическая широта обычно обозначается латинской буквой B , долгота - латинской буквой L . Широта географическая обычно обозначается греческой буквой φ (фи), а долгота - λ (ламбда).

В России за начальный меридиан принят Гринвичский. На старых русских картах за начальный принимался Пулковский меридиан, долгота которого от Гринвича составляет $30^{\circ}19'38''$.

Разность долгот двух пунктов характеризует не только их географическое положение, но и разницу во времени в один и тот же момент. Каждые 15° по долготе соответствуют разнице во времени в один час. На некоторых специальных картах подписывают не только долготы меридианов, но и разницу во времени с Гринвичем.

Топографические карты позволяют с помощью несложных графических построений определять широты и долготы различных объектов. Рамками топографических карт всех масштабов служат отрезки меридианов и параллелей. Широты и долготы углов рамок каждого листа подписаны на карте (рис. 11). Для определения координат любой точки, расположенной в пределах листа, служит рамка, состоящая из двух параллельных линий, разделенных на минуты широты (по боковым сторонам) и долготы (по верхней и нижней сторонам). Эта рамка состоит из чередующихся черных и белых полос, каждая полоса соответствует одной минуте широты или долготы.

Рассмотрим на примерах определение широт и долгот по топографической карте.

Пример 1. Определить географические координаты точки A (рис. 10) с точностью до $0,1'$.

Для определения географических координат точки A следует провести через эту точку меридиан и параллель и по их концам отсчитать по рамке карты широту и долготу с точностью до $0,1'$. Координаты точки A :

$$\varphi_A = 54^{\circ}58,6' \text{ (северная),}$$

$$\lambda_A = 37^{\circ}31,0' \text{ (восточная).}$$

В данном случае географические координаты определены приближенно: $0,1'$ по широте соответствует примерно 180 м на местности. Во многих случаях широты и долготы по топогра-

фическим картам можно определить точнее. Если измерения по карте выполнять с помощью измерителя и поперечного масштаба с точностью порядка 0,2 мм в масштабе карты, то даже по карте масштаба 1:100 000 можно определить координаты с погрешностью 20 м, а по карте масштаба 1:25 000 – с погрешностью 5 м. Так как по широте 1" соответствует примерно 30 м на местности, то это означает, что в первом случае имеет смысл координаты определять с точностью до 1", а во втором случае с точностью до 0,2". При более точных измерениях должна также учитываться деформация бумаги листа карты. Рассмотрим это на следующем примере.

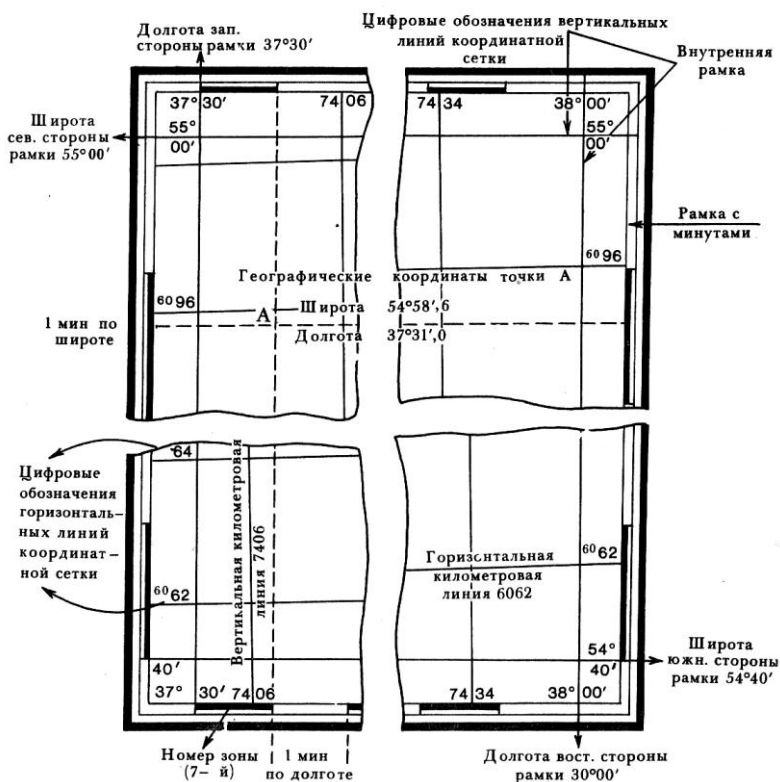


Рис. 10. Определение географических координат по топографической карте

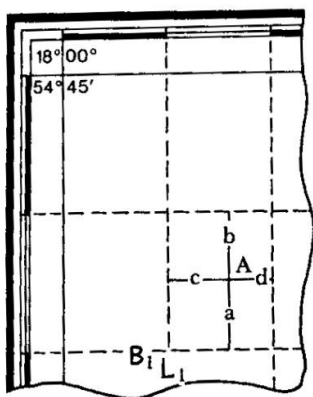


Рис. 11 Определение географических координат

Пример 2. Определить геодезические координаты точки A (рис.11) с учетом точности карты и деформации бумаги. Используем топографическую карту масштаба 1:25 000 У-34-37-В-в (Снов), определим координаты с точностью до 0,2". Для этого через минутные деления рамки проводятся ближайшие к точке A линии меридианов и параллелей и измеряются отрезки a, b, c, d .

Координаты вычисляются по формулам:

$$B_A = B_1 + \frac{a}{a+b} 60'',$$

$$L_A = L_1 + \frac{c}{c+d} 60'',$$

где B, L - широта и долгота юго-западного угла прямоугольника, построенного из проведенных на карте меридианов и параллелей. Пусть $a=37,2$ мм, $b=36,8$ мм, $c=25,2$ мм, $d=17,8$ мм, $B_1=54^\circ 43'$, $L_1=18^\circ 01'$. Тогда имеем:

$$B_A = 54^\circ 43' + \frac{37,2 * 60''}{37,2 + 36,8} = 54^\circ 43' 30,2'',$$

$$L_A = 18^\circ 01' + \frac{25,2 * 60''}{25,2 + 17,8} = 18^\circ 01' 35,2''.$$

2. Прямоугольные координаты Гаусса - Крюгера. В топографических работах применяются прямоугольные координаты Гаусса - Крюгера.

Российские топографические карты построены в картографической проекции Гаусса – Крюгера, в которой земной эллипсоид изображается в виде шестиградусных меридиональных зон. В каждой зоне средний меридиан называют осевым. Осевой меридиан и экватор изображаются прямыми взаимно перпендикулярными линиями (рис. 12). Их принимают за оси координат: осевой меридиан за ось x , экватор за ось y . Счет

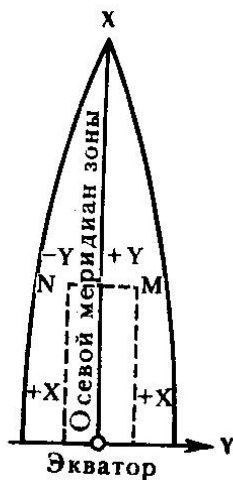


Рис. 12 Зона в проекции Гаусса-Крюгера

абсцисс ведется от экватора к полюсам: к северу абсциссы считают положительными к югу – отрицательными. Ординаты, отсчитываемые от осевого меридиана на восток, считаются положительными, на запад – отрицательными.

На территории России абсциссы всегда будут положительными. Чтобы не иметь дела с отрицательными значениями ординат, которые осложняют вычисления, условно принимают ординату начала координат равной +500 км. При этом условии самая западная точка любой зоны будет иметь ординату примерно +165 км. Предположим, что две точки имеют координаты:

$$x_M = 5\,490 \text{ км}, y_M = 650 \text{ км};$$

$$x_N = 5\,490 \text{ км}, y_N = 350 \text{ км}.$$

Это значит, что обе точки находятся от изображения экватора на расстоянии 5 490 км и что точка М расположена в 150 км к востоку, а точка N в 150 км к западу от осевого меридиана. Так как земной шар разбит на 60 зон, то точек с такими координатами будет тоже 60. Зоны пронумерованы с запада на восток. Первой считается зона с осевым меридианом 3° от Гринвича и крайними меридианами 0° и 6° . Долгота осевого меридиана второй зоны 9° , третьей – 15° и т.д. Зона с номером n имеет долготу осевого меридиана $(6^\circ n - 3^\circ)$.

При обозначении координат точек номер зоны вводится первой цифрой в ординату. Так, если точки M и N находятся в 4-й зоне, то их ординаты будут:

$$y_M = 4\ 650\text{ км}, y_N = 4\ 350\text{ км}.$$

Для удобства пользования прямоугольными координатами на каждый лист топографической карты наносят координатную сетку, образованную прямыми линиями, параллельными осям абсцисс и ординат. Координатные линии проводят через определенное число километров, например через один километр, и подписывают их значения.

Координаты линий, ближайших к углам карты, подписывают полностью, остальные - сокращенно, последними двумя цифрами километров. Такую сетку называют километровой.

Осевые меридианы разных зон между собой не параллельны. Вертикальные линии (абсциссы) координатной сетки параллельны осевому меридиану своей зоны и поэтому при смыкании координатных сеток двух соседних зон они располагаются под некоторым углом (рис. 13).

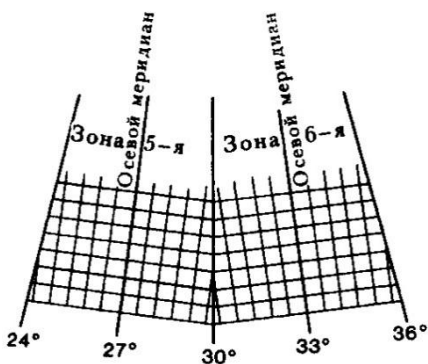


Рис. 13 Смыкание координатных сеток соседних зон

При работе на стыке зон могут возникнуть затруднения с использованием координатных сеток, так как они построены относительно разных осей координат и не дают возможности характеризовать взаимное положение соседних точек, если эти точки разделены крайним меридианом зоны.

Для связи с соседними зонами в широтах от 28° до 76° на рамках листов карт, расположенных на протяжении 2° к востоку и западу от граничных меридианов (а в широтах более 76° - на 3°), показывают выходы линий километровой сетки смежной западной или восточной зоны. Если возникнет

необходимость пользоваться единой системой координат для точек, расположенных в соседних зонах, то дополнительную сетку вычерчивают полностью карандашом или тушью.

Координатная сетка на картах позволяет быстро указывать местоположение любых изображенных на них объектов, определять их прямоугольные координаты и наносить на карты точки по координатам, полученным с помощью геодезических измерений или по снимкам.

Чтобы приблизительно указать на карте положение объекта, достаточно назвать квадрат километровой сетки, в котором этот объект расположен. Для этого нужно прочесть оцифровку горизонтальной и вертикальной координатной линий, пересечение которых образует юго-западный угол квадрата. При этом сначала указывается абсцисса, а затем - ордината. Например, точка *A* (рис. 14) расположена в квадрате 7108.

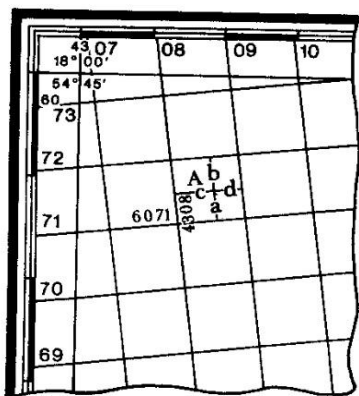


Рис. 14 Определение
прямоугольных ко-
ординат

Для определения прямоугольных координат какой-либо точки по карте сначала записывают координаты юго-западного угла квадрата, в котором находится эта точка. Затем измеряют отрезки *a*, *b*, *c*, *d*, как показано на рис. 14, и вычисляют координаты точки так, чтобы исключить деформацию бумаги карты. Сказанное поясняется примером.

Пример 3. Определить по карте У-34-37-В-в (Снов) координаты точки (рис. 14). Измерителем и поперечным масштабом измеряют отрезки: $a=17,9$ мм, $b=21,9$ мм, $c=22,1$ мм, $d=18,1$ мм. Координаты юго-западного угла квадрата $x=6\ 071$ км, $y=4\ 308$ км. На основе очевидных пропорций вычисляем координаты точки *A*:

$$x_a = 6071 + \frac{a}{a+b} 1000 = 6071 \frac{17,9 \cdot 1000}{17,9 + 21,9} = 6071450 \text{ м,}$$

$$y_a = 4308 + \frac{c}{c+d} 1000 = 430822,1 + 18,1 = 4308550 \text{ м.}$$

Контролем правильности измерений должны служить равенства сумм $(a+b)$ и $(c+d)$ и равенство этих сумм длине стороны квадрата километровой сетки. Равенства эти должны соблюдаться с точностью до погрешностей измерений и величин деформаций бумаги.

На практике при работе в пределах одного листа карты, кроме полных координат, используют сокращенные, содержащие только цифры, начиная с десятков километров, например $x = 69840\text{м}$, $y = 09290 \text{ м}$.

Измеряют и наносят координаты с помощью измерителя и линейки поперечного масштаба.

3. Полярные координаты. Если положение точки O известно (рис. 15), то, определив от некоторого начального направления ON угол Q до направления на точку M и отложив вдоль него расстояние до этой точки S , получим положение точки M . В топографии за начальное направление принимают северные направления меридианов: географического, магнитного или осевого проекции Гаусса - Крюгера (вертикальную линию сетки). В зависимости от того, какое из этих направлений принято за начальное, углом Q будет (рис. 16):

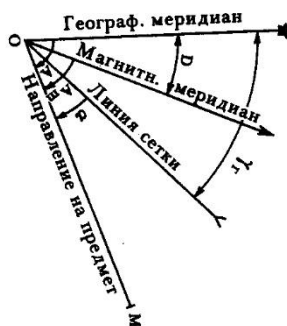
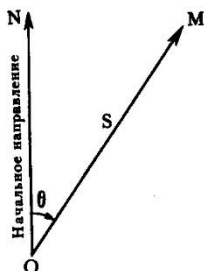


Рис. 15 Полярные координаты Рис. 16 Ориентирные углы

- азимут A ,
- магнитный азимут A_m ,
- дирекционный угол α .

Азимутом A называют угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана до направления на данную точку.

Магнитным азимутом A_m называют угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до направления на данную точку.

Дирекционным углом α называют угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления координатной линии, параллельной осевому меридиану, до направления на данную точку. Углы эти изменяются от 0° до 360° . Так как углы возрастают по ходу часовой стрелки, то счет четвертей в топографии также возрастает по ходу часовой стрелки.

Таблицы тригонометрических функций, применяемые при геодезических вычислениях, содержат обычно значения этих функций для углов первой четверти от 0° до 90° . Поэтому в топографии наряду с азимутами и дирекционными углами применяют и их румбы. *Румбом r* называют угол, отсчитываемый от ближайшего (северного или южного) начального направления до направления на данную точку. Следовательно, румбы не превышают 90° . Каждому румбу придается название той страны света, в которой располагается данное направление: СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ. На рис. 17 показаны магнитные румбы пред-

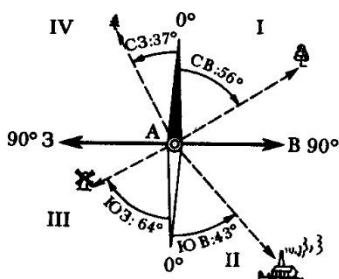


Рис. 17 Магнитные румбы

метов местности, расположенных в разных четвертях.

По этому рисунку легко установить простые зависимости между румбами и азимутами. Например, азимут мельницы, расположенной в третьей четверти, будет: $A = \text{ЮЗ: } 64 + 180^\circ = 244^\circ$.

Азимут какой-либо линии AB , измеренный в точке A , назы-

вается *прямым* (рис. 18). Азимут той же линии, измеренный в конечной точке *B* называется *обратным*. Прямой азимут связан с обратным следующим образом:

$$A_{обр.} = A_{пр.} \pm 180^\circ + \gamma$$

Угол γ называют *сближением меридианов*. Это угол между направлениями меридианов двух точек. Если точки *A* и *B* имеют географические координаты $\varphi_A, \lambda_A, \varphi_B, \lambda_B$, то достаточной для топографических целей точностью сближение меридианов равно:

$$\gamma = (\lambda_B - \lambda_A) \sin \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$$

Пример 4. Вычислить обратный азимут линии *AB*, если прямой азимут равен $63^\circ 47,0'$; $\varphi_A = 54^\circ 43,0'$, $\lambda_A = 18^\circ 00,0'$, $\varphi_B = 54^\circ 43,6'$, $\lambda_B = 18^\circ 02,1'$. Имеем:

$$\gamma = 2,1 \sin (54^\circ 43,3') = 2,1' \times 0,8164 = 1,7';$$

$$A_{обр.} = 63^\circ 47,0' + 180^\circ + 1,7' = 243^\circ 48,7'.$$

Направления вертикальных линий координатной сетки (параллельных оси абсцисс) в пределах зоны всегда параллельны между собой и, следовательно, прямой и обратный дирекционные углы отличаются только на 180° :

$$\alpha_{обр.} = \alpha_{пр.} \pm 180^\circ.$$

Величина γ усложняет переход от прямых азимутов к обратным и затрудняет вычисления. Поэтому в пределах одной зоны чаще используются дирекционные углы.

Зависимость между азимутами, магнитными азимутами и дирекционными углами. Угол между северным направлением географического меридиана данной точки и вертикальной линией координатной сетки называют *гауссовым сближением меридианов* и обозначают буквой γ_z .

Гауссово сближение меридианов равно разности долгот меридиана данной точки λ и осевого меридиана λ_0 , умноженной на синус широты этой точки:

$$\gamma_r = (\lambda - \lambda_0) \sin \varphi$$

В пределах одной координатной зоны значение $(\lambda - \lambda_0)$ колеблется от 0° на осевом меридиане до 3° на краю зоны, а си-

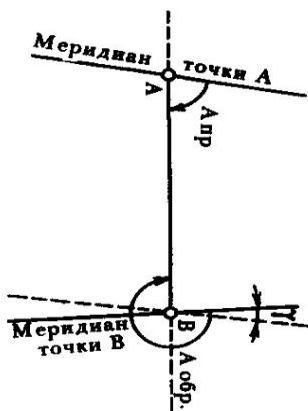


Рис. 18 Прямой и обратный азимуты

нус широты - от 0 на экваторе до 1 на полюсах. Поэтому, чем больше точка от осевого меридиана и экватора, тем больше γ_z . На краю зоны у полюса $\gamma_z = \pm 3^\circ$.

Если вертикальная линия координатной сетки отклоняется северным концом к востоку от географического меридиана, то сближение меридианов считается *восточным* и обозначается знаком плюс; при отклонении к западу - *западным* и обозначается знаком минус. Азимут равен дирекционному углу плюс гауссово сближение меридианов:

$$A = \alpha + \gamma_z.$$

Магнитный меридиан не совпадает с географическим. Угол между магнитным и географическим меридианами данной точки называют *магнитным склонением*, и обозначают буквой D . Если магнитный меридиан отклоняется к востоку от географического, то магнитное склонение называется восточным и обозначается знаком плюс, к западу - западным и обозначается знаком минус. Следовательно (рис.18),

$$A = A_M + D$$

На карте удобнее работать с дирекционными углами, на местности часто при помощи компаса или буссоли измеряют магнитные азимуты. Переход от одних величин к другим выполняется на основе выписанных зависимостей:

$$\alpha = A_M + (D - \gamma_z)$$

Пример 5. Измерен магнитный азимут $A_M = 120^\circ$, известно, $D = -8^\circ$, $\gamma_z = -2^\circ$. Найти дирекционный угол. Имеем:

$$\alpha = 120^\circ + (-8^\circ + 2^\circ) = 114^\circ.$$

Пример 6. По карте измерен дирекционный угол 45° , известно, $D = +5^\circ$, $\gamma_z = -3^\circ$. Найти магнитный азимут. Имеем: $A_M = 45^\circ - (5^\circ + 3^\circ) = 37^\circ$.

Просчеты в вычислении дирекционных углов и магнитных азимутов могут привести к грубым ошибкам в определении местоположения объектов, потере ориентировки на местности и т.д. Поэтому вычисления следует контролировать путем построения чертежа.

Для удобства решения рассмотренных выше задач на российских топографических картах под нижней рамкой листа слева от линейного масштаба помещается график, показывающий взаимное расположение географического, магнитного меридианов и вертикальной линии сетки, а также подпись, в которой указывается с точностью до минуты среднее склонение магнитной стрелки и гауссово сближение меридианов. Рядом с графиком дается текстовое пояснение, где указывается так-же годовое изменение магнитного склонения.

Определение дирекционных углов и магнитных азимутов по карте.

Измеряют или строят дирекционные углы на карте с помощью транспортира. Чтобы измерить дирекционный угол какого-либо направления, надо остро отточенным карандашом прочертить это направление на карте. Далее следует сообразить, в какой четверти располагается данное направление, и каким приблизительно будет значение угла. Затем транспортир накладывают на карту так, чтобы середина его линейки, отмеченная штрихом, совпала с точкой пересечения данного направления и одной из вертикальных линий координатной сетки, а край линейки транспортира совместился бы с этой линией. После этого нужно отсчитать по шкале транспортира угол, соответствующий румбу или дирекционному углу. На рис. 19 транспортом измерен румб: ЮЗ:60°; дирекционный угол будет равен 240°.

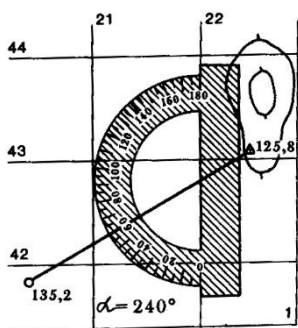


Рис. 19 Измерение дирекционного угла

Для построения на карте дирекционного угла проводят через данную точку прямую, параллельную вертикальной линии координатной сетки. Затем прикладывают к этой линии транспортир так, чтобы середина его совпала с данной точкой, и по шкале транспортира откладывают данный угол.

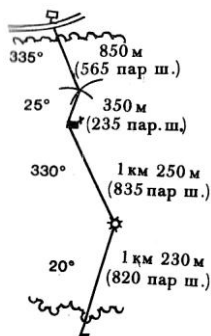


Рис. 20 Схема маршрута

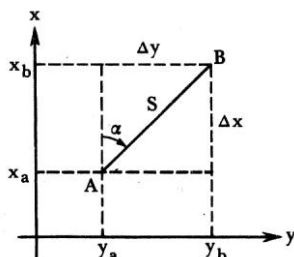


Рис. 21 Решение прямой и обратной задач

Подготовка по карте данных для движения по азимутам.

При передвижении по закрытой или бедной ориентирами местности направление движения выдерживают с помощью компаса по магнитным азимутам. Данные для движения подготавливают заблаговременно по топографической карте. Сначала намечают по карте маршрут движения. После этого измеряют дирекционные углы каждого прямолинейного участка маршрута и вычисляют их магнитные азимуты. Далее измеряют длины этих отрезков в метрах или переводят в пары шагов. Все полученные таким образом данные оформляют в виде схемы маршрута (рис. 20).

4. Решение прямой и обратной задач (рис. 21). Прямую задачу решают при переходе от полярных координат к прямоугольным, обратную - при переходе от прямоугольных к полярным.

Она решается по формулам:

$$x_b = x_a + S \times \cos \alpha,$$

$$y_b = y_a + S \times \sin \alpha,$$

где x_a и y_a - известные прямоугольные координаты точки A ; x_b и y_b определяемые координаты точки B ; α - дирекционный угол линии AB ; S - длина этой линии.

Пример 7. Даны координаты точки A : $x_a = 6\,065\,340,00$ м, $y_a = 4\,309\,180,00$ м, дирекционный угол линии AB $\alpha = 303^\circ 47',6$ и расстояние $S = 246,16$ м. Вычислить координаты точки B . Вычисления приведены ниже в таблице:

S	346,16 м	x_a	6065340,00	y_a	4309180,00
α	$303^\circ 47',6$	$S \cos \alpha$	+192,53	$S \sin \alpha$	-287,68
$\cos \alpha$	+ 0,55620	x_b	6065532,53	y_b	4308892,32
$\sin \alpha$	- 0,83105				

Обратная задача решается по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

$$S = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

Совпадение значений S , вычисленных по этим формулам, служит контролем правильности вычислений.

Пример 8. По координатам точек A и B примера 7 вычислить дирекционный угол линии AB и длину этой линии. Вычисления приведены ниже в таблице:

x_b	6065532,53	y_b	4308892,32	$\operatorname{tg} \alpha$	-1,49421
x_a	6065340,00	y_a	4309180,00	r	C3: $56^\circ 12',4$
$x_b - x_a$	+192.53	$y_b - y_a$	-287.68	α	$303^\circ 47',6$
$\cos \alpha$	+ 0,55620	$\sin \alpha$	-0.83105		
S	346.15 м	S	346.16 м		

Вопросы для самоконтроля:

1. Как определить по топографической карте географические координаты?
2. Что принимается в геодезии за направление оси абсцисс x ?
3. Как определить по топографической карте прямоугольные координаты?
4. Что называется дирекционным углом?
5. Как вычислить значение сближения меридианов?
6. Как вычислить значение магнитного азимута?
7. Чему равен дирекционный угол α_{1-2} , если румб линии $r_{1-2} = ЮЗ: 35^\circ$?
8. Чему равен румб линии 1-2 r_{1-2} , если дирекционный угол этой линии $\alpha = 150^\circ$?
9. В чем заключается сущность прямой геодезической задачи?
10. В чем заключается сущность обратной геодезической задачи?

Лабораторная работа №3

Задание. Между двумя точками, указанными преподавателем на карте У-34-37-В-в (Снов), наметить маршрут длиной около 10 км. Маршрут должен состоять из четырех (не менее) прямолинейных отрезков и иметь три точки поворота (рис. 20). Выполнить следующие работы:

- Вычертить схему маршрута.
- Определить по карте географические и прямоугольные координаты для конечных точек поворота маршрута.
- Измерить длины и дирекционные углы каждого прямолинейного участка маршрута, вычислить их магнитные азимуты.
- Решить обратную задачу для конечных точек маршрута, вычислить прямой и обратный азимуты этой линии.
- Результаты вычислений поместить в таблицы. На схеме выписать данные, необходимые для движения по азимутам.

4. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Условные обозначения, которыми изображаются объекты местности, и их некоторые характерные особенности, могут быть цветовыми, шрифтовыми и графическими (геометрическими).

Топографические карты издаются в несколько красок, и отдельными цветами на них изображаются однородные группы объектов местности. Например, голубым цветом на топографических картах показывают все гидрографические объекты (водотоки, водоемы, родники, колодцы и др.). Участки, занятые лесами или фруктовыми садами, изображаются на картах сплошной зеленой заливкой. Красно-коричневый цвет (жженая сиена) применяется для изображения природных форм рельефа, тогда как черным цветом изображают искусственные формы (насыпи, выемки, карьеры, курганы и др.). Изображения шоссейных дорог даются красным цветом, а улучшенных грунтовых - желтым и т.д. Таким образом, цвет на топографических картах играет роль условного обозначения, позволяя определить принадлежность того или иного объекта к определенной группе, а также узнать его некоторые качественные особенности. Начертание шрифтов подписей на картах - их величина, наклон, наличие или отсутствие заглавной буквы - позволяет получить некоторую информацию о подписанном объекте. Например, названия городов или поселков городского типа подписываются без выделения заглавной буквы (буквами одинакового размера), причем города подписывают прямым шрифтом, а поселки - с наклоном вправо. Без выделения заглавной буквы даются также подписи названий судоходных рек.

Графические (геометрические) условные знаки подразделяются на масштабные (контурные), внемасштабные и линейные. Масштабными условными знаками изображаются объекты местности, которые по своим размерам могут быть отображены в масштабе карты. Например, на рис. 22, представляющем

часть карты, границы леса, кустарника, редкого леса на болоте изображаются в масштабе карты и геометрически подобны соответствующим границам в натуре. В случае, если отдельные участки на местности не разделены дорогами, канавами, ручьями и т.п., то граница на карте между ними обозначается точечным пунктиром. Предельная погрешность в положении на карте контуров лесов, кустарников, болот, а также берегов широких рек и водоемов иногда достигает 1 мм.

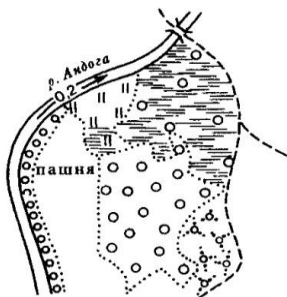


Рис. 22 Пример топографической карты

Внемасштабные условные знаки используются для изображения объектов и предметов местности, имеющих малые размеры в плане и поэтому не выражающихся в масштабе карты.

Примерами таких знаков могут служить знаки отдельных домов, пунктов триангуляции, водонапорных башен, километровых столбов и т.п.

Внемасштабный условный знак не воспроизводит размеров объекта, и только одна его точка показывает, где расположен объект на карте. При измерениях расстояний необходимо знать, какая точка условного знака на карте соответствует положению данного предмета на местности. Положение этой точки зависит от рисунка условного знака. У знаков, имеющих форму кружка, квадрата, прямоугольника, треугольника и звездочки, она находится в центре фигуры. У знаков в виде фигуры с широким основанием (телефонная или метеорологическая станции, каменная ветряная мельница, памятник и др.) эта точка находится в середине основания условного знака. У знаков, имеющих в основании прямой угол (километровые столбы, указатели дорог, отдельно стоящее дерево, деревянные ветряные мельницы и т.п.), - в вершине прямого угла, а у знаков, имеющих усложненный рисунок и представляющих собой сочетание нескольких фигур (изображение завода с трубой, построек башенного типа, часовни и т.п.), - в центре нижней фигуры знака.

Линейными условными знаками изображаются объекты местности, имеющие большое протяжение, которое можно выразить в масштабе карты, и малую ширину, которая в масштабе карты не изображается. Поэтому линейные условные знаки одновременно являются масштабными и внесмасштабными. Примерами могут служить знаки, изображающие дорожную сеть. Для шоссейных и железных дорог, изображаемых двойной линией, истинному положению дороги на местности соответствует осевая линия знака. Этими главными точками условных знаков и следует пользоваться при измерении расстояний между местными предметами или при определении их координат.

Для дополнительной характеристики объектов местности используются дополнительные поясняющие условные знаки. Они могут иметь различную символику - цифры, сокращенные слова, буквы, графические значки. Например, на рис. 23 изображение леса дополнено несколькими условными знаками в виде слов ("ель", "бер."), графических знаков и цифр. Эти знаки показывают, что лес преимущественно состоит ели и березы, средняя высота деревьев 15 м, толщина стволов 15 см, а ствол от ствола в среднем отстоит на 7 м. Река на данном участке карты не судоходна (название подписано с заглавной буквы), имеет скорость течения 0,2 м/с, ее ширина равна 60 м, а максимальная глубина – 1,2 м.

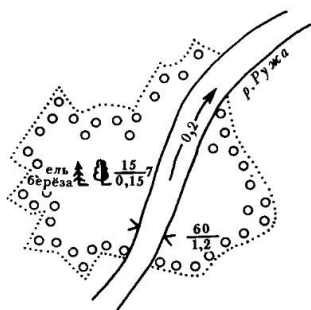


Рис. 23 Лес на топографической карте

Условные обозначения топографических карт являются государственным стандартом, обязательным для всех ведомств, изготавливающих топографические карты. Все условные обозначения собраны в официальном документе – таблицах условных обозначений, которые издаются для карт различных масштабов или групп масштабов.

В них условные знаки размещены по группам - опорные геодезические пункты, населенные

пункты, промышленные сооружения, дорожная сеть, гидрография, рельеф, растительный покров и грунты, границы и ограждения; дается перечисление сокращений и тип шрифтов, указания по цветовому оформлению, приведены образцы зарамочного оформления. Они являются основным документом при съемочных работах и справочным пособием при анализе и чтении топокарт.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислить виды условных знаков.
2. Какие особенности имеют виды условных знаков?

Лабораторная работа №4

Задание 1. Сделать выкопировку с части карты 1:10 000 и дать описание местности, включающее характеристики следующих компонентов: а) рельеф; б) гидрографическая сеть; в) растительность; г) транспортная сеть и средства связи; д) промышленные и горнодобывающие объекты; е) хозяйственно-используемые территории.

Задание 2. Скомпоновать и вычертить карту, руководствуясь списком условных обозначений, предложенным преподавателем.

5. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ

Совокупность неровностей физической поверхности Земли называется *рельефом*. Метод изображения рельефа местности должен давать возможность определять: плановое очертание элементарных форм рельефа, абсолютные высоты точек местности и их относительные превышения, степень расчленения земной поверхности, глубину врезания речных долин, балок и оврагов, крутизну склонов и уклоны местности, естественные и искусственные формы рельефа.

Все эти задачи могут быть решены на топографической карте, где рельеф изображается горизонталями в сочетании с условными знаками и высотными отметками. *Горизонтали* представляют собой следы сечения рельефа местности уровнями поверхностями, отстоящими друг от друга на равные, заранее установленные, расстояния по высоте. Исходя из этой природы горизонталей, их можно определить как кривые замкнутые линии, все точки которых имеют одинаковую высоту и обрисовывающие элементарные формы рельефа. Расстояния между секущими поверхностями называются *высотой сечения рельефа*, или просто *сечением*. Для топографических карт России высота сечения - величина стандартная и зависит от характера рельефа местности и масштаба топографических карт (см. таблицу 2).

Таблица 2

Высота сечения топографических карт по типам рельефа

Территории	Высота сечения, в м			
	1:10000	1:25000	1:50000	1:100000
1. Плоскоравнинные	2,5	2,5	10,0	20,0
2. Равнинные, пересеченные и всхолмленные с преобладанием углов наклона до 6°	2,5	5,0	10,0	20,0
3. Горные и предгорные, а также песчаные пустыни	5,0	5,0	10,0	20,0
4. Высокогорные	-	10,0	20,0	40,0

Свойства горизонталей изображать элементарные формы рельефа показаны на рис. 24.

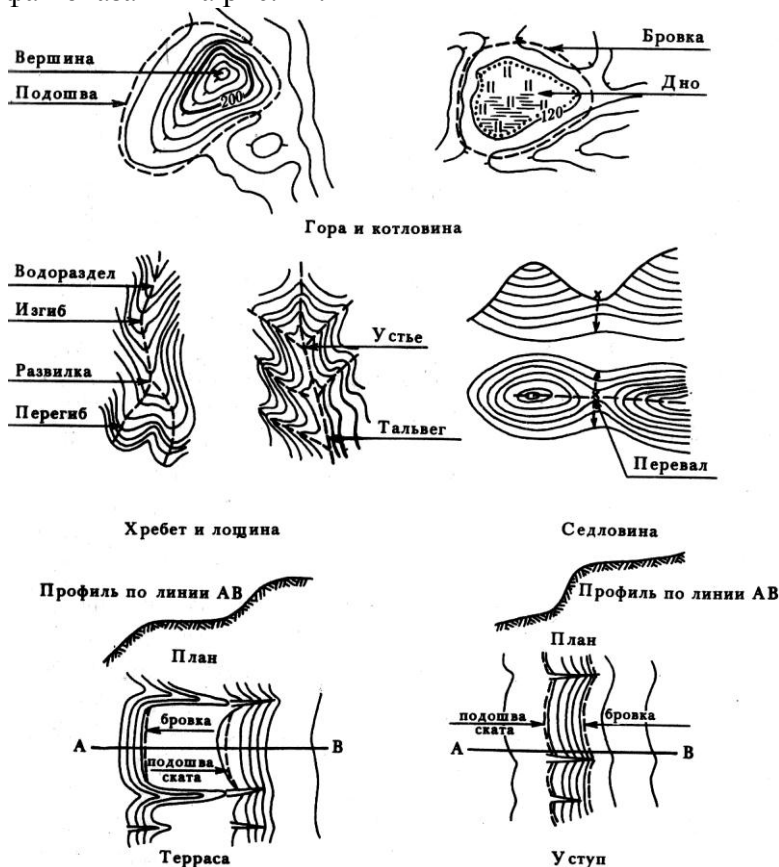


Рис. 24 Свойства горизонталей

Направление склонов (их падение) указывается небольшими штрихами ("бергштрихи"), направленными вниз по склону. Крутые склоны (обрывы, овраги, насыпи, выемки, открытые горные разработки - карьеры и т.п.), на изображении которых горизонталы сливаются вместе из-за малых заложений, показываются на топографических картах условными знаками. Условными знаками изображаются формы, имеющие в плане незначительные размеры, как например курганы, не-

большие ямы, западины и т.п., причем формы естественного происхождения изображаются красно-коричневым цветом, а искусственные - черным.

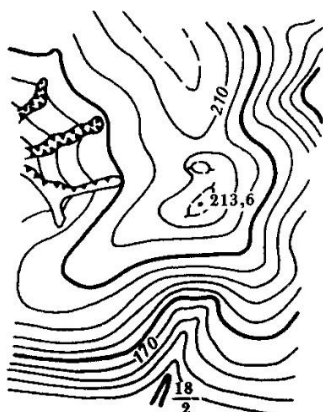


Рис. 25 Горизонталы

попадающих в промежуток между основными секущими плоскостями, применяются так называемые полугоризонталы, которые проводятся через половину основного сечения и изображаются черточным пунктиром (рис. 26).



**Рис. 26 Изображение
вспомогательных гори-
зонталей**

На изданных топографических картах горизонталы, соответствующие основному, принятому для данного масштаба, сечению напечатаны сплошной тонкой линией красно-коричневого цвета, и некоторые из них подписаны числом, указывающим их абсолютную высоту. Для облегчения счета горизонталей каждая пятая (начиная от нулевой горизонтали) или десятая изображаются утолщенной линией (рис. 25).

Для изображения на картах небольших по высоте форм рельефа,

Очень мелкие (по высоте) формы рельефа, которые невозможно показать основными или половинными горизонталями, изображаются вспомогательными горизонталями, проведенными через четверть основного сечения.

Изображение рельефа горизонталями и условными знаками дополняются высотными отметками характерных точек местности – вершин, перевалов (седловин), тальвегов, горизонтов воды на водоемах или водотоках и т.п. Кроме этих абсолютных высотных отме-

ток, которые отсчитываются от нуля кронштадтского футштока, на картах подписываются собственные высоты или глубины некоторых форм рельефа.

Решение типовых задач по карте с горизонталями

1. Определение абсолютных высот и превышений точек.

Абсолютные высоты точек по карте определяют с помощью горизонталей и отметок абсолютных высот характерных точек, подписанных на карте.

Если точка находится на горизонтали, то определение ее абсолютной высоты сводится к определению высоты горизонтали с помощью других, высоты которых подписаны. Высота

сечения должна быть известна.

Например, абсолютная высота точки *A* при сечении, равном 10 м, равна 140 м (рис. 27).

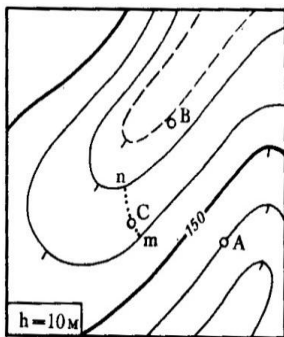


Рис. 27 Определение превышений и высот

В том случае, если точка, например *C*, расположена между горизонталями, то для определения ее высоты нужно провести через эту точку направление наибольшей крутизны склона *mn* и измерением на карте отрезков *mn* и *Cm* (или *Cn*) определить, какую долю составляет отрезок *Cm* от всего заложения *mn*.

В данном случае отрезок *Cm* составляет 0,3 *mn*, следовательно, точка *C* расположена выше точки *m* приблизительно на 3 м, а ее абсолютная высота оказывается равной 163 м. Подобным образом найдем, что высота точки *B* равна 174 м.

Для определения превышений между точками следует найти разность абсолютных высот этих точек. Так, например, превышение между точками *A* и *C* будет равно: $h = 140 \text{ м} - 163 \text{ м} = -23 \text{ м}$, т.е. точка *A* ниже точки *C* на 23 м.

2. Определение направления и крутизны скатов. *Направлением* ската называется линия, проведенная через точку перпендикулярно к горизонталям и определяющая наибольшую крутизну ската в данном месте (на рис. 28 - MN , CD , AB). *Крутизной* ската называется вертикальный угол ν , образованный направлением ската и плоскостью горизонта (рис. 29). *Заложением* называется проекция склона между двумя секущими плоскостями на горизонтальную плоскость (d). На карте заложение представлено отрезком между двумя горизонталями (рис. 29). Как видно на рис. 29, заложение уменьшается с увеличением крутизны ската. Между заложением d , сечением h и крутизной ν существует простая математическая зависимость (рис. 30):

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}$$

Для практического определения крутизны скатов используют так называемый график заложений, который напечатан под южной рамкой каждого листа топографической карты (рис. 31). Для построения этого графика на горизонтальной линии откладывают равные произвольные отрезки.

Из точек деления восстанавливают перпендикуляры, длину которых вычисляют по формуле:

$$d = \frac{h * \operatorname{ctg} \nu}{M},$$

где ν - крутизна ската, равная $0^{\circ}30'$, 1° , 2° , 3° , 4° , 5° , 10° , 20° ; M - знаменатель масштаба карты, h - сечение, d - заложение. Чтобы определить крутизну ската с помощью этого графика, следует измерить на карте величину заложения между соседними горизонталями и, найдя на графике перпендикуляр, соответствующий этому заложению, прочесть значение крутизны в градусах. При измерении крутых склонов пользуются графиком, построенным для пятикратных заложений (на рис. 31 - график "при высоте сечения 25 м").

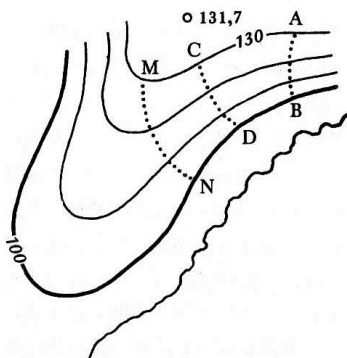


Рис. 28 Определение наибольшей крутизны склона

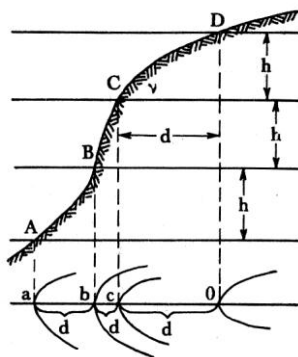


Рис. 29 Крутизна склона

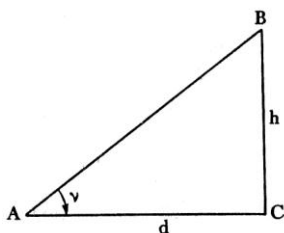


Рис. 30 Зависимость между заложением, сечением и крутизной

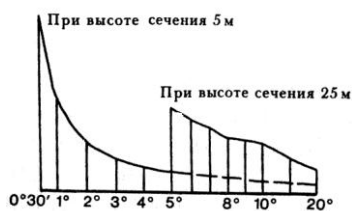


Рис. 31 График заложения

3. Построение профиля по карте. *Профилем* называется разрез местности вертикальной плоскостью. Линия, вдоль которой строится профиль, является профильной линией, или трассой профиля (линия *AB* на рис. 32).

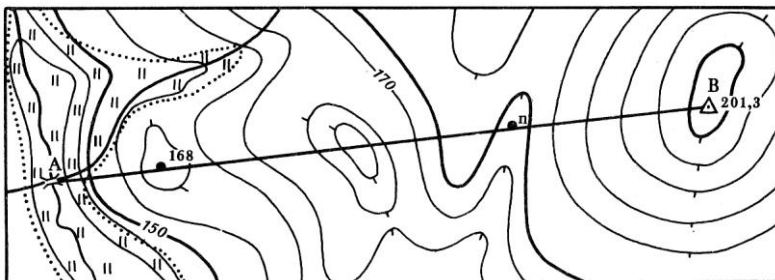


Рис. 32 Линия профиля

Строят профиль по карте на миллиметровой бумаге в следующей последовательности. Прочерчивают по карте профильную линию и определяют максимальную и минимальную высоты профиля. Выбирают вертикальный масштаб с таким расчетом, чтобы все характерные перегибы скатов хорошо выразились на профиле. Величины превышений точек профиля, как правило, незначительны по сравнению с горизонтальными проложениями. Поэтому вертикальный масштаб выбирается в 5-10 раз крупнее горизонтального. В соответствии с выбранным вертикальным масштабом подписывают отметки горизонталей на горизонтальных линиях миллиметровки и, приложив край миллиметровки к профильной линии, опускают перпендикуляр от каждой горизонтали до пересечения его с соответствующей горизонтальной линией. Соединив полученные точки плавной (или ломаной) линией, получают профиль (рис. 33).

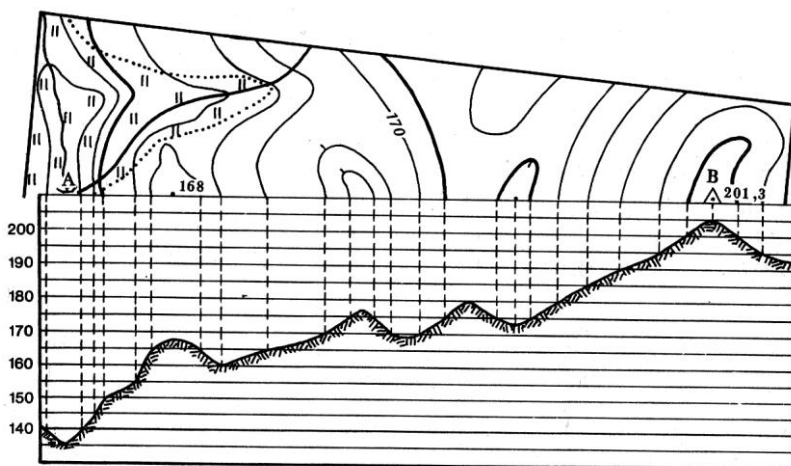


Рис. 33 Вертикальный профиль

4. Выделение границы водосборной площади бассейна.

Граница водосборной площади проходит по ближайшим к водотоку водораздельным линиям. Водораздельные линии проводят через вершины и седловины, всюду перпендикулярно к горизонталям, и замыкают их у устья водотока. Если водоток пересекается гидротехническим сооружением, то водораздель-

ные линии замыкают по линии этого сооружения.

5. Построение горизонталей по отметкам точек. При построении горизонталей по отметкам точек сначала на лист бумаги наносят основные орографические линии и характерные точки рельефа с их абсолютными высотами, выбирают высоту сечения и интерполированием между точками с известными высотами проводят горизонталы (рис. 34). Сущность интерполирования видна из следующего примера.

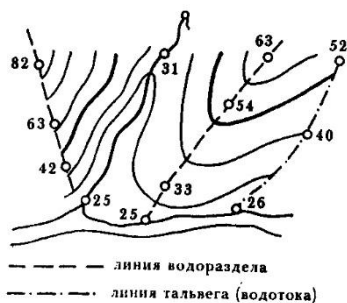


Рис. 34 Построение горизонталей

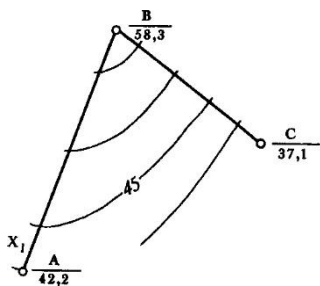


Рис. 35 Пример построения горизонталей

Пусть требуется провести горизонталь через 5 м по трем точкам A , B и C , имеющим высоты 42,2 м, 58,3 м и 37,1 (рис. 35). Превышение $h_{ab} = 58,3 \text{ м} - 42,2 \text{ м} = 16,1 \text{ м}$, следовательно, между точками A и B пройдут три горизонтали с отметками 45, 50 и 55 м.

Известно, что горизонтальные проложения пропорциональны высоте сечения, поэтому положение горизонталей с отметкой 45 м будет определяться отрезком x_1 , который находится из пропорции:

$$\frac{x_1}{h_1} = \frac{AB}{h_{AB}}$$

Если $AB = 5,6 \text{ см}$, превышение горизонталей с отметкой 45 м над точкой A равно 2,8 м, а превышение точки B над точкой A равно 16,1 м, то:

$$x_1 = \frac{2,8 * 5,6}{16,1} = 0,97 \text{ см}$$

Вычислив таким же образом величины отрезков x_2 и x_3 отложив все три значения на прямой AB , получим положение горизонталей 45, 50 и 55 м между точками A и B . Таким же об-

разом определим положение этих горизонталей между точками *B* и *C*. Соединив плавными кривыми точки с одинаковыми высотами, получим изображение рельефа в горизонталях.

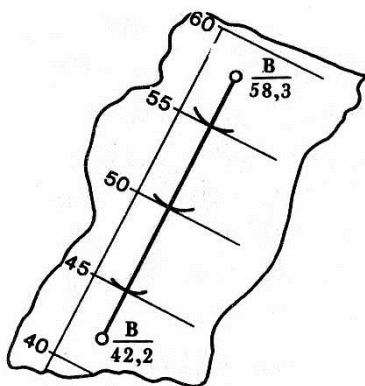


Рис. 36 Пример построения горизонталей

Часто интерполяция производится графически. Для этого на листе кальки прочерчивают ряд параллельных прямых на равных расстояниях одна от другой (рис. 36) и подписывают отметки, соответствующие заданной высоте сечения.

Кальку накладывают на план так, чтобы точки *A* и *B* разместились между прямыми с соответствующими отметками, и перекалывают на план точки пересечения линии *AB* с линиями кальки, име-

ющими отметки 45, 50 и 55 м.

На практике интерполирование производится чаще всего на глаз, то есть, определив, какие горизонтالي пройдут между точками, глазомерно делят горизонтальное положение ската на соответствующее число заложений.

6. Изображение рельефных макетов местности. Для того, чтобы зарисовать рельефный макет местности в горизонталях, необходимо, прежде всего, изучить рельеф макета и определить положение основных орографических линий и характерных точек рельефа.

Далее следует вычертить на бумаге общий контур макета в заданном масштабе и нанести орографические линии рельефа и его характерные точки.

После этого с помощью миллиметровой (или двухмиллиметровой) линейки определить высоты характерных точек рельефа и подписать их на плане с точностью до 1 мм. Затем следует выбрать высоту сечения и интерполированием провести горизонтали, постоянно сверяя их рисовку с рельефом модели.

Незначительные неровности рельефа, которые не выражаются заданным сечением, рисуются на глаз.

Следует обратить внимание на правильность передачи на плане форм скатов макета.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется рельефом земной поверхности?
2. Что называется горизонталью?
3. Что называется высотой сечения рельефа?
4. Что называется заложением горизонталей?
5. Что называется высотной отметкой точки?
6. Как определить высотную отметку точки и превышения между ними по карте или плану?
7. Как вычислить уклон линии?
8. Что называется профилем линии?

Лабораторная работа №5

Задание 1. По карте масштаба 1:10 000 изобразить на кальке основные орографические линии и характерные точки рельефа в пределах квадратов с координатами углов (в километрах), указанных преподавателем.

Задание 2. На заданном участке определить абсолютные отметки точек и превышения каждой из последующих точек над предыдущей (карта масштаб 1:10000).

Задание 3. По заданным высотам характерных точек нарисовать рельеф местности горизонталями способом графического интерполирования с заданной высотой сечения.

Задание 4. Решить на карте с горизонталями следующие задачи:

- построение профиля по линии *A-B*;
- определение высот точек *A* и *B*;
- определение углов наклона по линии профиля;
- определение уклона между конечными точками профильной линии;
- определение границ водосборного бассейна.

6. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ УЧАСТКОВ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ

Площади участков на топографических картах могут измеряться различными способами в зависимости от конфигурации участка и его размеров. В том случае, если участок изображен на карте геометрически правильной фигурой – прямоугольником, многоугольником и так далее - его площадь проще всего определить по известным геометрическим формулам, предварительно измерив необходимые элементы фигуры. Участки, имеющие форму многоугольников, целесообразно разделить на треугольники диагоналями, проведенными из одной вершины многоугольника. Площадь многоугольника получится из суммы площадей составляющих его треугольников. Для контроля определение площади следует повторить, проведя диагонали из другой вершины многоугольника.

Участки, изображенные на карте произвольными геометрическими фигурами, предпочтительнее определять палетками или специальными приборами - планиметрами.

Точность определения площадей участков с помощью топографических карт геометрическим и инструментальным методами зависит от ряда факторов. Особое внимание следует уделить точности измерения элементов фигуры, рациональным размерам ячеек палетки и точности ее построения, физическому состоянию карты, на которой производится определение площадей (отсутствие сгибов, потертостей и пр.).

Аналитический способ определения площадей используется в случае, когда участок ограничен ломаной линией, а прямоугольные координаты его вершин известны с высокой точностью. Принцип определения площади участка заключается в следующем (рис.37): вершины участка проектируют на оси X и Y , в результате образуется ряд трапеций, основаниями которых являются координаты x_i вершин участка, а высотами — приращения координат Δy_i . Вычислив площади трапеций, можно определить площадь участка, который является их составной частью. Рассмотрим

определение площади участка, представленного треугольником ABC , координаты вершин которого соответственно равны $x_A, y_A; x_B, y_B; x_C, y_C$. Площади трапеций $A'ABB', B'BCC'$ и $A'ACC'$ - соответственно равны

$$S_1 = \frac{(x_A + x_B)(y_B - y_A)}{2};$$

$$S_2 = \frac{(x_B + x_C)(y_C - y_B)}{2};$$

$$S_3 = \frac{(x_A + x_C)(y_C - y_A)}{2}.$$

Площадь треугольника может быть вычислена как $S = S_1 + S_2 + S_3$, т. е.

$$S = \frac{(x_A + x_B)(y_B - y_A) + (x_B + x_C)(y_C - y_B) - (x_A + x_C)(y_C - y_A)}{2}.$$

После преобразования получим:

$$S = \frac{x_A(y_B - y_C) + x_B(y_C - y_A) + x_C(y_A - y_B)}{2}$$

или

$$S = \frac{y_A(x_C - x_B) + y_B(x_A - x_C) + y_C(x_B - x_A)}{2}.$$

Если, вершины участка пронумеровать по часовой стрелке, то формулу определения площади можно представить в общем виде:

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

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

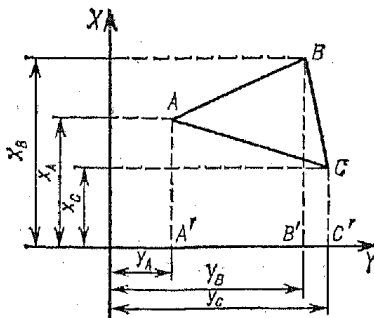


Рис.37 Схема определения площади аналитическим способом

Способ взвешивания применяют при наличии лабораторных аналитических весов. Участок с карты (плана) по внешнему контуру переносят на лист плотной бумаги и вырезают. Из того же листа вырезают прямоугольник, соответствующий единице площади в земельной мере. Взвесив обе вырезки на весах, рассчитывают площадь участка по формуле

$$S = (PS_0)/P_0,$$

где P — вес участка, S_0 и P_0 — соответственно площадь и вес прямоугольника.

Вопросы для самоконтроля:

1. Способы измерения площадей участков на топографических картах?
2. От чего зависит точность определения площадей участков на топографических картах?
3. В каких случаях может использоваться аналитический способ определения площадей участков?

Лабораторная работа №6

Задание 1. Изготовить сеточную и точечную палетки.

Для выполнения задания потребуется: лист прозрачного материала (кальки, целлулоида, пластика и т.п.) размером 10х10 см, циркуль-измеритель, нормальный поперечный масштаб.

Порядок выполнения задания:

На листе прозрачного материала строят сетку квадратов со сторонами заданной величины (например, со сторонами 2 мм; 2,5 мм; 5 мм). Очень мелкую сетку строить нецелесообразно, так как затруднится подсчет клеток при измерениях площади. Линии сетки процарапываются иглой циркуля и забиваются порошком черного или цветного графита с помощью ватного тампона. Каждая пятая горизонтальная и вертикальная линии делаются несколько толще остальных.

Для сеточной палетки, перед тем как измерять площадь, следует определить цену ячейки палетки, т.е. площадь каждой ее клетки. Обычно определяется относительная цена клетки в поземельных мерах местности. Цена ячейки будет зависеть от размера стороны квадрата и масштаба топографической карты, на которой определяется площадь. Пусть, например, размер стороны ячейки палетки равен 2 мм, а масштаб карты - 1:50000. В этом масштабе длина стороны ячейки в 2 мм на палетке соответствует отрезку на местности в 100 м. Следовательно, площадь каждой мелкой клетки на местности будет соответствовать 1 га. Если бы измерения площадей производились на карте масштаба 1:100 000, то цена равнялась бы 4 га, а на карте масштаба 1:25 000 - 1/4 га.

Для построения точечной палетки, вначале строится сеточная, с еле заметными линиями. Затем в центре клеток или в их углах ставится точка, а линии сетки стираются. Цена каждой точки будет равен цене ячейки.

Сеточной (или точечной) палеткой выгодно измерять вытянутые участки размерами не более 5 см².

Задание 2. Измерить сеточной (точечной) палеткой площадь участка на топографической карте.

Для выполнения задания потребуются: палетка, топографическая карта.

Порядок выполнения задания:

Палетку наложить на изображение участка, площадь которого измеряется, подсчитать количество целых клеток и оценить их дробные части внутри контура. Площадь участка F вычисляется по формуле:

$$F = c \times n$$

c - относительная цена ячейки палетки (или цена точки), n - количество ячеек палетки (или количество точек).

Задание 3. Измерить с помощью аналитического способа площадь участка на топографической карте.

Для выполнения задания потребуются: линейка нормаль-

ного поперечного масштаба, циркуль-измеритель, топографическая карта.

Порядок выполнения задания:

На топографической карте отмечается многоугольный участок с вершинами в точках, указанных преподавателем. Способом, рассмотренным в лабораторной работе №3, определяются прямоугольные координаты вершин многоугольника. Полученные координаты используются для определения площади участка с помощью ряда формул, рассмотренных выше.

7. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ И ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

Для измерения горизонтальных (а также вертикальных) углов на местности используются *теодолиты*.

Теодолит состоит из следующих основных частей:

- подставки с тремя подъемными винтами,
- горизонтального круга с цилиндрическими уровнями,
- вертикального круга,
- зрительной трубы с сеткой нитей.

Теодолит должен удовлетворять ряду геометрических условий, которые определяют соотношение его осей и плоскостей.

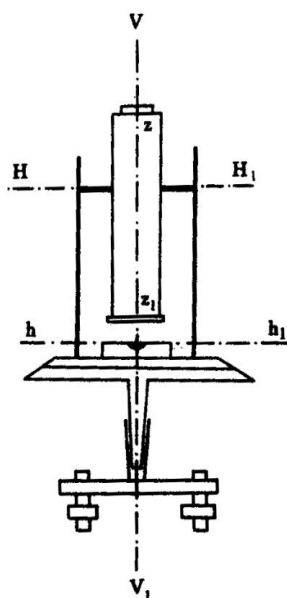


Рис. 38 Основные
оси теодолита

Основной линией прибора является его *главная ось* VV_1 (рис. 38). Вокруг этой оси вращается горизонтальный круг. Линия hh_1 на чертеже представляет ось уровня горизонтального круга. С помощью этого уровня проверяется отвесное положение главной оси прибора и горизонтальность горизонтального круга. Линия HH_1 представляет ось вращения трубы, а линия zz_1 визирную ось зрительной трубы. Перечисленные оси должны располагаться относительно друг друга следующим образом:

1. Ось уровня на горизонтальном круге должна быть перпендикулярна главной оси теодолита и параллельна плоскости горизонтального круга ($hh_1 \perp VV_1$).
2. Визирная ось трубы zz_1 должна быть перпендикулярна

оси вращения трубы $HH_1 (zz_1 \perp HH_1)$.

3. Ось вращения трубы HH_1 должна быть перпендикулярна главной оси прибора VV_1 ($HH_1 \perp VV_1$).

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое «теодолит»?
2. Назовите основные геометрические условия осей и плоскостей теодолита?

Лабораторная работа №7

Задание 1. Поверки теодолита.

Перед началом работы с теодолитом необходимо проверить указанную геометрическую схему и, в случае нарушения ее, произвести исправления.

1. Первое условие проверяется следующим образом:

- устанавливаем уровень горизонтального круга по направлению двух подъемных винтов (любых);
- выводим пузырек уровня на середину, вращая эти два подъемных винта в противоположные стороны;
- поворачиваем алидаду примерно на 180° .

Если пузырек уровня после поворота остался на середине, то условие выполнено; если же он отклонился больше, чем на одно деление, то условие перпендикулярности осей нарушено, тогда:

• вращаем исправительные винты уровня, чтобы пузырек сместился к середине на половину его отклонения. После этого поверку повторяют.

2. Второе условие проверяется визированием на удаленную точку. Такой точкой может служить крестик, нанесенный карандашом на стене на уровне теодолита (на расстоянии 15-20 м). Поверка выполняется в следующей последовательности (табл. 3):

• крест сетки нитей трубы наводится на выбранную точку. Лимб и алидада закрепляются, по лимбу берется отсчет;

- труба переводится через зенит, алидада открепляется, крест сетки нитей трубы снова наводится на точку, алидада закрепляется и по лимбу берется второй отсчет.

Если первый отсчет (взятый, например, при "круге слева") отличается от второго (при "круге справа") на 180° , то погрешность за неперпендикулярность осей визирования и вращения трубы (так называемая коллимационная погрешность) отсутствует. В противном случае, когда разность отсчетов превышает $1'$ необходимо визирную ось привести в положение, перпендикулярное оси вращения трубы. Для этого:

- разность между отсчетами делится пополам, и на лимбе, с помощью наводящего винта алидады, устанавливается отсчет, исправленный на полуразность.

Таблица 3

Пример записи при определении коллимационной погрешности, ее исправления и контрольного наблюдения

Точка наведения	Наведение при КП	Наведение при КЛ	2 с = КП-КЛ-180	Примечание
Шпиль башни	$226^\circ 22'$	$46^\circ 18'$	+ 4,0	До исправления
Шпиль башни	$226^\circ 20'$	$46^\circ 20'$	0,0	После исправления

Пример:

КЛ = $46^\circ 18'$

КП = $226^\circ 22'$;

КП - КЛ = $226^\circ 22' - 46^\circ 18' = 180^\circ 04'$.

Исправленный отсчет при КП будет $226^\circ 20'$; при КЛ - $46^\circ 20'$.

Если последний отсчет был сделан при "круге справа", то наводящим винтом алидада устанавливаем исправленный отсчет $226^\circ 20'$ вместо $226^\circ 22'$. В результате этой операции крест сетки нитей отойдет от точки визирования и должен быть возвращен на нее с помощью горизонтальных исправительных винтов сетки нитей.

3. Третье условие обычно гарантируется заводом, изготовившим теодолит.

Данные поверок записать в соответствующие бланки.

Задание 2. Измерить горизонтальный угол методом приемов.

Для измерения горизонтального угла выверенный и исправленный теодолит устанавливается над вершиной угла. Перед измерением угла выполняется центрирование и нивелирование теодолита.

1. Центрирование производится с помощью отвеса, шнур которого пропускается через полый становой винт теодолита и зацепляется за крючок подставки. Груз отвеса должен почти касаться точки, над которой центрируется теодолит. Центрирование производят движением штатива и теодолита относительно штатива. Отклонение отвеса от точки не должно превышать 0,5-1,0 см.

2. Нивелированием называется операция приведения главной оси теодолита в отвесное положение. Для этого уровень на алидаде устанавливают по направлению двух подъемных винтов (любых), и вращением этих винтов приводят пузырек уровня на середину. Затем поворачивают алидаду примерно на 90° по отношению к прежнему положению, и приводят пузырек на середину третьим винтом. Для контроля вращаем алидаду вокруг своей оси - пузырек не должен отходить от среднего положения более чем на 1,5 деления.

3. Измерение угла способом приемов производится следующим образом (табл. 4):

- закрепляем зажимный винт лимба и ослабляем зажимные винты алидады и трубы;

- смотря вверх трубы, направляем ее приблизительно на правую визирную точку. После этого зажимные винты алидады и трубы закрепляем и, наблюдая в трубу, наводим на данную точку пересечения сетки нитей, действуя при этом наводящими винтами алидады и трубы;

- делаем отсчеты по горизонтальному кругу и записываем

их в журнал измерений;

- ослабив зажимные винты алидады и трубы, производим в описанном порядке визирование на левую точку, вновь отсчитываем и записываем отсчеты;

- вычитая из правого направления левое, вычислим значение угла.

Если правое направление будет меньше, чем левое, то к нему прибавляем 360^0 , и левое направление вычитаем из полученной суммы.

Измерение угла, произведенное при одном положении вертикального круга, например при КП, называется полуприемом. В значение угла, которое получается в результате одного полуприема, входят коллимационная погрешность и погрешность за наклон оси вращения трубы. Эти погрешности должны быть исключены. Для этой цели угол измеряют второй раз при другом положении вертикального круга. Второе измерение производится так же, как и первое, и называется вторым полуприемом.

Таблица 4

Измерение горизонтального угла способом приемов (оптический теодолит Т-30)

№ точек		Положение круга	Горизонтальный круг			
станций	визиро- вания		отсчеты	2с	средние	угол
5	6	КЛ	28°40'	0	28°40'	28°10'
		КП	208°40'			
	4	КЛ	0°30'	0	0°30'	
		КП	180°30'			

Вследствие погрешностей измерений значения угла, полученные при первом и втором полуприемах, будут несколько

расходиться между собой. Если это расхождение будет больше принятых допусков, то угол должен быть измерен вновь. При допустимом расхождении из обоих полученных значений угла выводится среднее. Оно считается окончательным значением угла, измеренным одним полным приемом.

Задание 3. Вычислить координаты вершин полигона, используя данные, приведенные в вариантах задания.

Для вычисления координат вершин полигона на местности должны быть измерены длины всех сторон и горизонтальные углы. Полигоны бывают замкнутые и разомкнутые.

Рассмотрим обработку замкнутого полигона.

Вычисление координат вершин полигона производится в следующей последовательности.

1. В графу 2 бланка вычислений (табл. 5) записываются измеренные углы из варианта задания. Так как при измерении на местности горизонтальных углов мы не получим их истинных значений, то возникает так называемая угловая невязка полигона, которую находим следующим образом:

- находим сумму внутренних углов замкнутого полигона $\Sigma B_{изм} = 1079^{\circ}57,9'$;

- вычисляем теоретическую сумму внутренних углов полигона $\Sigma B_{теор} = 180^{\circ} (n - 2) = 1080^{\circ}00'$;

- находим разность измеренной суммы и теоретической $f_B = \Sigma B_{изм} - \Sigma B_{теор} = 1079^{\circ}57,9' - 1080^{\circ}00' = -02,1'$;

- находим предельную допустимую невязку по формуле: $f_{вдоп} \leq \pm 1,5 \times t \times \sqrt{n}$, где t - точность верньера теодолита, n - число углов; $f_{вдоп} = \pm 1,5 \times 30'' \times \sqrt{8} = \pm 0,24$.

Так как угловая невязка полигона меньше предельной допустимой, то можно считать, что измерения углов полигона произведены в пределах допуска.

Варианты заданий

№1

№ точек	Измеренные углы	Горизонтальные проложения	Исходные данные
1	61°04,2'	750,00	$\alpha_{1-2} = 30^\circ 15,0'$ $x_1 = 6\,648\,000,0$ $y_1 = 7\,415\,000,00$
2	115°35,8'	516,64	
3	98°27,2'	628,72	
4	84°54,0'	934,16	
1			

№ 2

№ точек	Измеренные углы	Горизонтальные проложения	Исходные данные
1	84°52,7'	1137,23	$\alpha_{1-2} = 75^\circ 30,2'$ $x_1 = 5\,848\,000,0$ $y_1 = 10\,622\,000,00$
2	89°08,3'	1202,58	
3	156°22,6'	714,72	
4	72°09,6'	966, 95	
5	137°27,9'	1206,33	
1			

№3

№ точек	Измеренные углы	Горизонтальные проложения	Исходные данные
1	47°03'	1137,2	$\alpha_{1-2}= 112^{\circ}00,0'$ $x_I= 6\ 485\ 000,0$ $y_I= 5\ 542\ 000,00$
2	89°08'		
3	43°51'	1202,7	
1		1642,8	

№4

№ точек	Измеренные углы	Горизонтальные проложения	Исходные данные
1	67°02'	891,2	$\alpha_{1-2}= 137^{\circ}17,3'$ $x_I= 6\ 348\ 000,0$ $y_I= 3\ 584\ 000,00$
2	109°39'		
3	108°30'	707,0	
4	74°51'	807,5	
1		1264,4	

№5

№ точек	Измеренные углы	Горизонтальные проложения	Исходные данные
1	61°04'	843,8	$\alpha_{1-2} = 152^\circ 31,4'$ $x_1 = 6\,016\,000,0$ $y_1 = 8\,458\,000,00$
2	115°36'	581,2	
3	98°28'	707,3	
4	84°54'	1050,9	
1			

№6

№ точек	Измеренные углы	Горизонтальные проложения	Исходные данные
1	67°01,2'	816,97	$\alpha_{1-2} = 168^\circ 47,2'$ $x_1 = 7\,849\,000,0$ $y_1 = 4\,571\,000,00$
2	109°38,9'	648,12	
3	108°30'	740,19	
4	74°51,2'	1159,07	
1			

№7

№ точек	Измеренные углы	Горизонтальные проложения	Исходные данные
1	66°28'	584,3	$\alpha_{1-2} = 211^\circ 08,4'$ $x_1 = 6\,985\,000,0$ $y_1 = 12\,555\,000,00$
2	95°25'		
3	144°31'	702,5	
4	41°29'	611,7	
5	192°10'	834,1	
1		448,2	

Все проведенные вычисления с пункта «а» по «г» записываются в бланке вычислений (табл. 5).

Считая, что каждый угол полигона измерялся с одинаковой погрешностью, разделим угловую невязку, взятую с обратным знаком, на количество углов полигона и получим поправку в каждый угол:

$$\Delta = \frac{-f_{\text{визм.}}}{n} = \frac{2,1'}{8} = 0,26'$$

Так как запись углов в нашем примере производится с точностью до 0,1', то округляем поправку до 0,2' и 0,3'. В углы с длинными сторонами вводим меньшую поправку (0,2'), а в углы с короткими - большую (0,3'). Поправки записываются в графу 2 и имеют знак, обратный знаку невязки (в нашем примере со знаком плюс). Сумма поправок по абсолютному значению должна равняться невязке. Исправленные углы (графа 3) суммируются. Очевидно, что сумма исправленных углов должна равняться теоретической сумме внутренних углов полигона, т.е. 180°00'.

Таблица 5

Вычисление координат вершин полигона (замкнутого)

№	Измерен- ные углы, <i>β</i>	Исправ- ленные углы, <i>β</i>	Дирек- ционные углы, <i>α</i>	Румбы, <i>r</i>	Гориз. про- ложения <i>S, м</i>	$\cos r$ $\sin r$	Приращение координат				Координаты	
							вычисленные и их поправки		исправленные			
							$\pm\Delta x$	$\pm\Delta y$	$\pm\Delta x$	$\pm\Delta y$	<i>x</i>	<i>y</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	⁺² 125°42,5'	125°42,7'	343°21,7'	16°38,3'	462,8	+0,9581 -0,2863	⁺¹ +443,43	-16 -132,47	+443,44	-132,63	0,00	0,00
2	⁺² 144°51,5'	144°51,7'									18°30,0'	18°30,0'
3	⁺³ 111°46,2'	111°46,5'	86°43,5'	86°43,5'	301,63	+0,9571 +0,9983	⁺¹ +366,41	-10 +122,60	+366,42	+122,47	+809,86	-10,16
4	⁺³ 137°08,8'	137°09,1'	129°34,4'	50°25,6'	284,26	-0,6371 +0,7707	+17,19	-10 +310,14	+17,19	+301,04	+827,05	+290,88
5	⁺³ 193°06,0'	193°06,3'	116°28,1'	63°31,9'	276,12	-0,4457 +0,8951	-181,07	-10 +219,13	-181,07	+219,03	+645,98	+509,91
6	⁺³ 84°33,4'	84°33,7'	211°54,4'	31°54,4'	391,90	-0,8489 -0,5285	-123,06	-09 +247,18	-123,06	+247,09	+522,92	+757,00
7	⁺³ 189°16,0'	189°16,3'	202°38,1'	22°38,1'	360,00	-0,9229 -0,3848	⁺¹ -322,71	-13 -207,09	-322,70	-207,22	+190,22	+549,78
8	⁺² 93°33,5'	93°33,7'	289°04,4'	70°55,6'	434,82	+0,3267 -0,9451	-322,27	-12 -138,44	-322,27	-138,66	+142,05	+411,12
1							⁺¹ +142,04	-15 +410,97	+142,05	-411,12	0,00	0,00
	1079°57,9' 1080°00,0'	1080°00,0'			P=2897,91		+969,07 -969,11	+890,06 -880,07	+969,10 -969,10	+889,63 -889,63		

$$f_{\beta} = +2,1'; f_{\beta_{don}} = \pm 4,50'' \sqrt{8} = \pm 2,4'$$

$$f_{\Delta x} = -0,04; f_{\Delta y} = +0,980,000,00$$

2. После исправления углов, можно приступить к вычислению дирекционных углов. Дирекционный угол α_{1-2} начальной стороны указан в задании. Дирекционные углы последующих направлений вычисляют по формуле:

$$A_{\text{посл.}} = \alpha_{\text{пред.}} + 180^\circ - \beta,$$

где β - правые углы полигона

$$\begin{aligned}\alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2 = 343^\circ 021,7' + 180^\circ 00,0' - 144^\circ 51,7' = \\ &= 378^\circ 30,0' - 360^\circ 00,0' = 18^\circ 30,0'\end{aligned}$$

$$\alpha_{3-4} = 18^\circ 30,0' + 180^\circ 00,0' - 111^\circ 46,5' = 86^\circ 43,5' \quad \text{и т.д.}$$

Контролем правильности вычислений является получение исходного дирекционного угла по вычисленному дирекционному углу последней стороны полигона:

$$\alpha_{1-2} = 289^\circ 04,0' + 180^\circ 00,0' - 125^\circ 42,7' = 343^\circ 21,7'$$

Вычисленные дирекционные углы сторон полигона записываются в графу 4.

3. В графу 5 записываются значения румбов сторон полигона. Величина румба зависит от того, в какой четверти располагается сторона полигона:

- в I четверти (СВ) $r = \alpha$;
- во II четверти (ЮВ) $r = 180^\circ - \alpha$;
- в III четверти (ЮЗ) $r = \alpha - 180^\circ$;
- в IV четверти (СЗ) $r = 360^\circ - \alpha$

4. В графу 6 записываются горизонтальные проложения из варианта задания.

5. Приращения координат вычисляются по формулам:

$$\Delta x = S \times \cos \alpha; \Delta y = S \times \sin \alpha$$

или

$$\Delta x = S \times \cos r; \Delta y = S \times \sin r.$$

По этим формулам можно найти величины Δx и Δy . В графу 7 записываются значения синусов и косинусов румбов.

Величины Δx и Δy могут быть вычислены по "Таблицам приращений координат". В этом случае графа 7 не заполняется, значения Δx и Δy находятся непосредственно из таблиц по значениям дирекционного угла и горизонтального приложения и записываются в графы 8 и 9.

6. В замкнутом полигоне суммы приращений по осям x и y должны равняться нулю. Однако на практике эти суммы отличаются от нуля на некоторую величину, называемую *невязкой*. В нашем примере невязка по абсциссам $f_{\Delta x} = -0,04$ м, а по ординатам $f_{\Delta y} = +0,98$. По этим данным вычисляется так называемая линейная невязка полигона:

$$f_s = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2}$$

Допустимая невязка вычисляется по формуле:

$$\frac{f_s}{P} \leq \frac{1}{1000},$$

где P - периметр полигона.

Поправки к приращениям вычисляют по формулам:

$$\delta_x = \frac{-f_{\Delta x}}{P} * S; \delta_y = \frac{-f_{\Delta y}}{P} * S$$

где S - длина стороны полигона.

Вычисленные поправки, округленные до сантиметров, выписываются в графы 8 и 9. Сумма всех поправок по абсолютной величине должна равняться невязке по данной оси. Исправленные приращения выписываются в графы 10 и 11 и суммируются для проверки. Их суммы должны равняться нулю.

Вычисленные координаты вершин полигона записываются в графы 12 и 13.

В разомкнутом полигоне для вычисления угловой невязки следует воспользоваться формулой:

$$f_B = \Sigma B_{изм} - (\alpha_{нач.} + 180^\circ n) - \text{для правых углов};$$

$$f_B = \Sigma B_{изм} - (\alpha_{кон.} - \alpha_{нач.} + 180^\circ n) - \text{для левых углов},$$

где $\alpha_{нач.}$ - дирекционный угол первой стороны хода,

$\alpha_{кон.}$ - дирекционный угол последней стороны хода,

n - количество измеренных углов.

Линейная невязка разомкнутого полигона подсчитывается по формуле:

$$f_{\Delta x} = \sum \Delta x - (x_{кон.} - x_{нач});$$

$$f_{\Delta y} = \sum \Delta y - (y_{кон.} - y_{нач}),$$

где $x_{нач.}$, $x_{кон.}$, $y_{нач.}$, $y_{кон.}$ - координаты начальной и конечной точек, между которыми прокладывается ход.

В остальном, обработка хода и вычисление координат его вершин не отличаются от замкнутого полигона (табл. 6).

Таблица 6

Вычисление координат вершин разомкнутого полигона

№ точек	Измеренные углы, β	Исправленные углы, β	Дирекционные углы, α	Румбы, r	Горизонт, проложение S_M	$\cos r$ $\sin r$	Приращение координат				Координаты	
							вычисленные и их поправки		исправленные			
							$\pm\Delta x$	$\pm\Delta y$	$\pm\Delta x$	$\pm\Delta y$	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
РП 1	-0,4 120°43,2'	120°42,8'	62°40,3'			-0,5293	+0,06	-0,09			10000,0	11 986,4
			121°57,5'			58°02,5'						
1	-0,4 170°27,0'	170°26,6'	131°30,9'	48°29,1'	420,27	-0,6628 +0,7488	+0,08 -278,55	-0,12 +314,70	-278,47	+314,58	9 549,1	12 577,4
2	-0,4 185°30,8'	185°30,4'	126°00,5'	53°59,5'	393,42	-0,5879 +0,8089	+0,07 -231,29	-0,12 +318,24	-231,22	+318,12	9 317,9	12 895,5
3	-0,4 165°19,5'	165°19,1'	140°41,4'	39°18,6'	410,88	-0,7738 +0,6335	+0,08 -317,94	-0,12 +260,29	-317,86	+260,17	9 000,0	13 155,7
4	-0,4 170°21,5'	170°20,3'	150°21,1'				$\Sigma=-1000,29$	+1169,75	-1000,0	+1169,30		
РП 2												

$$\Sigma \beta_{изм.} = 812^\circ 22,0' 812^\circ 20,0'$$

$$\Sigma \beta_{теор.} = 812^\circ 20,0'$$

$$f_\beta = +0^\circ 02,0'$$

$$\Sigma D = 1550,50 x_{РП1} - x_{РП2} = -1\,000,0 \quad f_S = \sqrt{0,29^2 + 0,45^2} \approx 0,54 \quad f_{дон.} = \frac{155}{200} = 0,77$$

$$Y_{РП1} - y_{РП2} = +1169,3 f_{\Delta x} = -0,29; f_{\Delta y} = +0,450,54 < 0,77$$

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ И ВЫСОТ ТОЧЕК

Определение высот точек земной поверхности (нивелирование) сводится к измерению превышений между ними. Если высота одной из точек известна из предыдущих определений или условно задается, то высоты всех остальных точек могут быть вычислены по формуле:

$$H = H_{исх.} + h,$$

Где $H_{исх.}$ - исходная высота, H - определяемая высота, h – измеряемое превышение между точками.

Обычно определяют абсолютные высоты, началом счета которых является нуль кронштадтского футштока. Однако в ряде случаев за начало счета высот приходится условно принимать какой-либо другой уровень (урез озера или реки, подошву холма и др.). Высоты, определенные относительно условного уровня, называют условными высотами.

Основными методами нивелирования являются:

- геометрическое нивелирование,
- тригонометрическое нивелирование.

В полевой практике географов, геологов или почвоведов нивелирование проводят для следующих целей:

- передачи высот,
- построения профиля,
- нивелирования поверхности.

1. Геометрическое нивелирование. Рассмотрим геометрическое нивелирование для построения профилей.

Нивелирование для построения профилей распадается на несколько этапов работ:

- подготовка трассы;
- нивелирование трассы;
- обработка результатов полевых измерений и вычерчивание профилей.

Подготовка трассы заключается в закреплении на местности точек, по высотам которых будет строить профиль. С этой целью вдоль трассы профиля отмеряют отрезки (обычно по 100

м) и их концы закрепляют кольями. Эти точки называют пикетами, а сам процесс - разбивкой пикетажа. Колья также забивают в промежутках между пикетами на перегибах рельефа: бровках, подошвах, гребнях. Положение промежуточных ("плюсовых") точек определяют расстоянием, отмеренный от заднего пикета, и обозначают, например, "3+60". Это означает, что точка отстоит от пикета 3 на расстоянии 60 м. Одновременно с измерением расстояний измеряют углы поворота трассы и составляют глазомерный абрис (зарисовку ситуации) вдоль всей трассы.

Нивелирование трассы выполняется при помощи нивелиров нивелированием из середины. Для этого нивелир устанавливается посередине между пикетами, а рейки - на пикетах. Превышение между пикетом вычисляют по формуле:

$$h = a - b,$$

где h - превышение между пикетами, a - отсчет по задней рейке, b - отсчет по передней рейке.

Нивелир состоит из подставки с тремя подъемными винтами, зрительной трубы с сеткой нитей и цилиндрического уровня. Зрительная труба может вращаться по азимуту. К трубе прикреплен цилиндрический уровень, по пузырьку которого при помощи подъемных винтов визирная ось зрительной трубы нивелира приводится в горизонтальное положение. Основные требования, которым должен удовлетворять нивелир, - это: 1) перпендикулярность оси уровня вертикальной оси вращения нивелира и 2) параллельность оси уровня визирной оси нивелира. Перед измерениями выполняются проверки этих условий, а при необходимости - соответствующие исправления.

Нивелирная рейка представляет собой деревянный брусок, длиной 3 или 4 м, с нанесенными на нем сантиметровыми делениями в виде чередующихся шашек. Нижний конец рейки окован железом и называется пяткой рейки. Часто применяют рейки, имеющие деления с двух сторон. Обычно одна сторона рейки (основная) раскрашена в черный цвет, вторая (контрольная) - в красный. На основной стороне рейки счет делений начинается от нуля, на контрольной - от некоторой произволь-

ной цифры, например 4778. Поэтому отсчеты по рабочей и контрольной сторонам реек не будут одинаковыми. Это помогает избежать погрешностей при измерениях, связанных с неправильным отсчетом по рейкам. Часто применяют рейки, нули красных сторон которых сдвинуты по высоте на некоторую величину, например на 100 мм.

Для того чтобы взять отсчет по рейке, следует установить нивелир на треноге, вывести пузырек уровня на середину и прочитать отсчет по рейке по средней горизонтальной нити сетки нитей зрительной трубы нивелира. При этом рейка должна быть вертикально установлена над пикетом или плюсовой точкой. Измерения выполняются с контролем: отсчет по черной стороне задней (по ходу) рейки, отсчет по черной стороне передней рейки, отсчет по красной стороне передней рейки и отсчет по краевой стороне задней рейки. После этого задняя рейка переносится и устанавливается последовательно на всех плюсовых точках и берутся отсчеты только по черной стороне рейки. По окончании этих работ задняя рейка переносится на следующий пикет и работы продолжают дальше. Если на отдельных участках трассы по каким-либо причинам невозможно выполнить измерения с одной установки (станции) нивелира между соседними пикетами, то выбираются вспомогательные связующие точки, между которыми выполняется нивелирование. Эти точки обозначают через "х", иногда их называют "иксовыми" и на профилях не показывают. Нивелирный ход в целях контроля прокладывают между пунктами (реперами) с уже известными высотами; при отсутствии такой возможности нивелирный ход прокладывают в прямом и обратном направлениях.

Обработка результатов полевых измерений. Обработка состоит в проверке полевых журналов, вычислении отметок точек профиля и в вычерчивании профилей.

В качестве примера рассмотрим обработку нивелирного хода, проложенного между РП 31 и РП 37. Результаты измерений и обработки приведены в таблице (табл. 7):

Колонка 1 - номера станций нивелира.

Колонка 2 - номера реперов, пикетов и промежуточных точек.

Колонка 3 - отсчеты по черной и красной сторонам задних реек и их разность. Например, на ст.1 эти отсчеты такие - 1337 мм, 6217 мм, их разность 4880 мм.

Колонка 4 - отсчеты по черной и красной сторонам передних реек и разности этих отсчетов. На ст.1 эти отсчеты равны 2209 мм, 6990 мм, их разность 4781 мм. Так как нули пятков красных сторон реек сдвинуты на 100 мм, то разности из отсчетов по задней рейке и из отсчетов по передней рейке должны отличаться на $100 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$. На ст.1 разности 4880 мм и 4781 мм удовлетворяют этому требованию. Подсчет таких разностей дает возможность вовремя обнаружить грубые погрешности в измерениях и в вычислениях.

Колонка 5 - отсчеты по черной стороне задней рейки, установленной на плюсовых точках.

Колонка 6 – превышения $h = (a - в)$ по черной и по красной сторонам реек. На ст.1 эти превышения равны -872 мм и -773 мм. Результаты должны различаться на $100 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$.

Колонка 7 - средние значения превышений, причем сотни миллиметров определяются по превышению, полученному по черным сторонам реек. На ст.1 среднее превышение равно 872 мм.

Колонки 8 и 9 заполняются позже.

Для проверки правильности вычислений выполняется так называемый постраничный контроль по формулам:

$$\frac{\Sigma(a_{\text{черные}} + a_{\text{красные}}) - \Sigma(b_{\text{черные}} + b_{\text{красные}} \pm 100 \text{ мм})}{2} =$$

$$= \frac{\Sigma(h_{\text{черные}} + h_{\text{красные}} \pm 100 \text{ мм})}{2} = \Sigma h_{\text{среднее}}$$

В приведенном примере сумма всех отсчетов по задним рейкам равна 37 359 мм, по передним рейкам, с учетом разниц в 100 мм, - 41 384 мм; их полуразность равна -2012 мм и равна половине суммы превышений колонки 6 (с учетом разниц в 100 мм), и равна сумме всех средних превышений колонка 7. Это

свидетельствует о правильности вычислений.

Нивелирный ход проложен между реперами 31 и 37, разность высот которых равна:

$$H_{pn37} - H_{pn31} = -2020 \text{ мм.}$$

Вследствие неизбежных погрешностей нивелирования возникает невязка нивелирного хода:

$$f_h = \sum h_{\text{среднее}} - (H_{pn37} - H_{pn31}) = -2012 - (-2020) = +8 \text{ (мм)}.$$

Если измерения не содержат грубых погрешностей, то невязка должна находиться в пределах, которые определяются методикой и точностью измерений. Например, невязка не должна превышать предельной величины

$$f_{\text{доп.}} = \pm 50 \sqrt{L} \text{ (мм)}$$

где L - длина нивелирного хода в километрах. Если этот допуск не выдержан, то измерения не качественны и должны быть повторены.

При допустимой невязке измерения должны быть исправлены так, чтобы невязка была устранена. С этой целью невязку распределяют с обратным знаком поровну на все превышения. Эти поправки в миллиметрах выписаны в колонке 7. На первой и второй станциях поправки равны 1 мм на каждой, на остальных станциях равны 2 мм. В колонке 7 выписаны и исправленные превышения. На ст.1 исправленное превышение равно 873 мм. Сумма исправленных превышений должна равняться разности высот конечного и начального реперов, в данном случае -2020 мм.

По исправленным превышениям вычисляются высоты точек и записываются в колонку 9. Отметка каждого пикета равна отметке предыдущей точки плюс соответствующее превышение. Например, отметка пикета 0 равна:

$$H_{нк.0} = H_{pn.31} + h = 371,200 - 0,873 = 370,327 \text{ (м)}.$$

Для вычислений отметок плюсовых точек определяется "горизонт инструмента H_I " и результат записывается в колонку 8. Горизонт инструмента H_I - это отметка визирной оси тру-

бы данной станции. Вычисляется по формулам:

$$H_I = H_3 + a, \text{ или } H_I = H_n + b,$$

где H_3 - высота заднего пикета, H_n - высота переднего пикета, a и b - отсчеты по рейкам (по черным сторонам) соответственно заднего и переднего пикетов.

Например, на ст.2 имеем:

$$H_I = H_{пк.0} + a = 370,327 + 1,602 = 371,929 \text{ (м).}$$

или

$$H_I = H_x + b = 369,862 + 2,067 = 371,929 \text{ (м).}$$

После определений высот горизонтов вычисляют и записывают колонку 9 отметки плюсовых точек. Отметка плюсовой точки равна высоте горизонта минус отсчет, по рейке плюсовой точки. Например, отметка плюсовой точки 0 + 76 равна:

$$H_{0+76} = 371,929 - 2,213 = 369,716 \text{ (м).}$$

Вычерчивание профиля выполняется на миллиметровой бумаге. Под профилем показывается план трассы, подписывают отметки, номера пикетов, указывают расстояния, углы поворота и другие данные.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое нивелирование?
2. Назовите основные методы нивелирования?
3. В чем заключается сущность геометрического нивелирования?
4. Для чего необходим постраничный контроль обработки измерений геометрического нивелирования?

Лабораторная работа №8

Задание 1. Ознакомиться с нивелиром и рейками. Определить несколько отсчетов по черной и красной сторонам реек.

Задание 2. Обработать журнал нивелирования трассы с целью построения профиля. Вычертить профиль, горизонтальный масштаб которого 1:2 000, вертикальный масштаб - 1:100. Исходные данные приведены ниже в таблицах 8 и 9.

**Таблица исходных данных задания
по геометрическому нивелированию**

№ стан-ций	№ пи-кетов	Отсчеты по рейкам рам		
		задние	перед-ние	проме-жуточ-ные
1	рп.57 пк.0	1594 6378	647 5329	
2	пк.0 +60 пк.1	646 5332	2902 7687	1374
3	пк.1 пк.2	2506 7289	752 5432	
4	пк.2 +72 пк.3	1336 6020	2742 7526	946
5	пк.3 х	2456 7240	578 5260	
6	х пк.4	2779 7466	546 5332	
7	пк. 4 рп.58	2799 7584	445 5129	

Таблица вариантов высот исходных пунктов по геометрическому нивелированию

Вариант	Высоты, м	
	<i>РП 57</i>	<i>РП 58</i>
1	112,640	118,151
2	211,700	217,218
3	300,000	305,491
4	351,143	356,661
5	211,711	217,229
6	400,800	406,320
7	411,126	416,610
8	512,100	517,621
9	126,300	131,830
10	150,601	156,090
11	178,000	183,522
12	200,450	205,973
13	80,611	86,100
14	94,324	99,840
15	520,800	526,312
16	160,320	165,833
17	180,060	185,551
18	341,700	347,212
19	290,001	295,023
20	311,640	317,133
21	427,181	432,692
22	391,161	396,686
23	302,871	308,397
24	256,562	262,046
25	88,812	94,301

Тригонометрическое нивелирование. Сущность тригонометрического нивелирования заключается в том, что на местности измеряют угол наклона v и расстояние S между точками. Превышение между точкой установки прибора и точкой, высоте которой необходимо определить, вычисляют по формуле:

$$h = S \times \operatorname{tg} v + i - v + f,$$

где S - горизонтальное расстояние между точками;

v - угол наклона, измеренный теодолитом или кипрегелем;

i - высота инструмента;

v - высота над землей точки наблюдения;

f - суммарная поправка за кривизну Земли и рефракцию визирного луча.

Если расстояние измеряют дальномером и угол наклона превышает 5° , то используют другую формулу:

$$h = \frac{1}{2}S \times \sin 2v + i - v + f;$$

$$S = k \times L + c,$$

где k - коэффициент нитяного дальномера,

c - постоянная поправка дальномера,

L - отрезок рейки, видимый между дальномерными нитями прибора.

Для формул $S \times \operatorname{tg} v$ и $\frac{1}{2}S \times \sin 2v$ составлены таблицы, из которых необходимое превышение выбирается по аргументам расстояния и угла наклона. В этих же таблицах помещаются величины суммарной поправки f за кривизну Земли и рефракцию.

Основными погрешностями, влияющими на точность определения превышений методом тригонометрического нивелирования, являются погрешности измерения расстояний и углов наклона. Чем больше расстояние, тем большую погрешность можно ожидать.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем заключается сущность тригонометрического нивелирования?
2. Назовите основные погрешности, влияющие на точность в тригонометрическом нивелировании?

Лабораторная работа №9

Задание 1. Нитяным дальномером теодолита измерить расстояние до точки наблюдения, измерить угол наклона и вычислить превышение между точками.

Для измерения расстояния и угла наклона над точкой наблюдения устанавливается рейка, над другой точкой - теодолит на штативе. Горизонтальная нить зрительной трубы прибора наводится на точку рейки на высоте v . По нижней и верхней дальномерным нитям определяются отсчеты по рейке и вычисляется расстояние.

Отсчеты по дальномерным нитям рейки:

2816

2704

Их разность $l = 112$ (мм).

Пусть для дальномера $k = 100$, $c = 0,10$ м. Тогда измеренное наклонное расстояние будет:

$$S = k \times l + c = 112 \text{ мм} \times 100 + 0.10 = 11.3 \text{ м.}$$

Для измерения угла наклона следует привести пузырек уровня при вертикальном круге прибора на середину, навести горизонтальную нить трубы на наблюдаемую точку, проверить уровень и взять отсчет по вертикальному кругу. Предположим, что этот отсчет был выполнен при положении "круг справа". Затем трубу следует перевести через зенит и выполнить такие же действия при "круге слева". Значение угла наклона вычисляют по формулам:

$$v = КП - МО; v = МО - КЛ; v = \frac{КП + КЛ}{2},$$

где $КП$ - отсчет при круге справа,

$КЛ$ - отсчет при круге слева,

$МО$ - место нуля, отсчет по вертикальному кругу, когда пузырек уровня приведен на середину, а визирная ось трубы занимает горизонтальное положение ($v=0$). Место нуля вычисляется по формуле:

$$MO = \frac{KP + KL}{2}$$

Место нуля (MO) может быть любым, однако для удобства измерений желательно, чтобы $MO = 0$. Обычно, если MO отличается от нуля более чем на $1'$, выполняют исправления и приводят MO к нулю. Для этого вычисляем угол наклона на точку визирования. Наводящим винтом уровня на вертикальном круге устанавливаем отсчет, соответствующий вычисленному углу наклона v . Пузырек уровня отойдет от середины. Для того, чтобы вернуть пузырек уровня снова на середину, поворачиваем шпилькой исправительные винты уровня.

Контролем правильности измерения углов наклона является постоянство MO . Если при измерении нескольких углов наклона MO изменяет свое значение больше чем на $1'$, то это значит, что при измерениях были допущены погрешности или работа выполняется неисправным инструментом.

Наиболее часто встречающиеся погрешности:

1. Пузырек уровня при вертикальном круге перед отсчетом не был выведен на середину.
2. Наведение при разных кругах произведено на разные точки.
3. Наведение при разных кругах произведено на разные нити. Например, при "круге справа" - на среднюю нить, при "круге слева" - на одну из крайних нитей сетки.

Для вычисления превышения в данном случае необходимо воспользоваться второй формулой из приведенных выше. Предположим, что высота инструмента $i = 1,20$ м, высота точки наблюдения $v = 2,76$ м. Выражение $\frac{1}{2}S \times \sin 2v$ можно вычислить или определить по "Таблицам превышений, вычисляемых по расстояниям, измеренным дальномером, для углов наклона от 0 до 30° ". Здесь же находим поправку f . Она тем больше, чем больше расстояние. Для расстояний от 390 м до 3895 м поправка имеет значения от $0,01$ до $1,00$ м. Результаты вычислений сводятся в таблицу (табл. 10).

Задание 2. Вычислить превышение, если измерены горизонтальное расстояние S , угол наклона v , высота инструмента i

и высота наблюдаемой точки v (табл.12).

В данном случае необходимо воспользоваться первой из формул. Ниже дан пример вычислений (табл. 11).

Таблица 10

S	11,3 м
v	$6^{\circ}13,0'$
$\frac{1}{2}S\sin 2v$	1,22 м
f	0
i	1,20
v	2,76
h	-0,34 м

Таблица 11

S	1054 м
v	$+0^{\circ}47,0'$
$S \times \operatorname{tg} v$	+14,41 м
f	+0,07
i	1,20
v	2,87
h	+12,81 м

Таблица 12

**Исходные данные к заданию по тригонометрическому
нивелированию**

Вариант	S, м	ν	i, м	v, м
1	212	2°10'	1,20	3,00
2	314	+0°46'	1,15	2,50
3	385	+1°16'	1,10	2,14
4	412	+0°53'	1,08	2,34
5	480	+3°11'	1,00	2,16
6	511	+2°03'	1,08	1,85
7	570	-1°16'	1,21	1,70
8	613	-2°11'	1,27	1,50
9	718	+2°50'	1,06	2,11
10	785	-0°16'	1,20	1,20
11	881	-0°31'	1,03	2,11
12	907	+0°20'	1,18	1,83
13	983	+1°18'	1,31	2,61
14	1081	-1°21'	1,17	1,87
15	1183	-2°03'	1,40	1,40
16	1216	+3°21'	1,15	2,87
17	1284	+3°26'	1,16	2,70
18	1341	-3°00'	1,18	2,16
19	1419	-2°48'	1,13	1,91
20	1534	-1°31'	1,20	1,85
21	1621	+4°12'	1,22	1,76
22	1687	+1°28'	1,28	1,92
23	1708	-1°21'	1,04	2,11
24	1792	-0°44'	1,08	2,85
25	1831	+1°26'	1,11	3,12

Список рекомендуемой литературы

Основная:

1. Геометрическое нивелирование: Метод. указания / А.С. Мамаков, Ижевск: Изд. Удм. Ун-та, 2000. – 13 с.
2. ГОСТ Р 8.563-96. ГСИ. Методика выполнения измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.
3. Дьяков, Б.Н. Геодезия / Б.Н. Дьяков. - Новосибирск: СГГА, 1997. – 172 с.
4. Дьяков, Б.Н. Основы геодезии и топографии / Б.Н. Дьяков, В.Ф. Ковязин, А.Н. Соловьев. – М.: Лань, 2011. – 272 с.
5. Колмогоров, В.Г. Топография с основами геодезии: учеб. пособие / В.Г. Колмогоров - Новосибирск: СГГА, 2008. – 150 с.
6. Курошев, Г.Д. Геодезия и топография / Г.Д. Курошев, Л.Е. Смирнов. – М.: Академия, 2008. – 176 с.
7. Лабораторные работы по топографии: Учеб.- метод. пособие / Г.В. Господинов и др. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1981. – 84 с.
8. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1989. – 286 с.

Дополнительная:

1. Господинов, Г.В. Топография. / Г.В. Господинов, В.Н. Сорокин. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1974.
2. Лабораторные занятия по топографии с основами геодезии. Учеб. пособие для географических фак. вузов. / Р.А. Жмойдяк и др. – Минск: Высшая школа, 1979. – 295 с.
3. Топография с основами геодезии / Под ред. А.С. Харченко, А.П. Божок. М.; Высш. шк., 1986. - 304 с.
4. Условные знаки для топографических карт масштаба 1:10000. М.: Недра, 1977. 143 с.

Учебное издание

СОСТАВИТЕЛИ:
ГРИГОРЬЕВ ИВАН ИВАНОВИЧ
КАЗАКОВ АНДРЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ТОПОГРАФИИ

Учебное пособие

Напечатано в авторской редакции с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать _____. Формат 60х84¹/₁₆.

Усл. печ. л. _____. Уч. -изд. л. _____.

Тираж ____ экз. Заказ № _____

Издательский центр «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, Университетская, д. 1, корп. 4, каб. 207
Тел./факс: +7 (3412) 500-295 E-mail: editorial@udsu.ru