

# Топография с основами геодезии

---

*учебник  
для вузов*



# Топография с основами геодезии

Под редакцией  
А. С. Харченко и А. П. Божок

*Допущено Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебника для студентов  
географических специальностей  
университетов*



МОСКВА  
„ВЫСШАЯ ШКОЛА“ 1986

ББК 26.12  
Т58  
УДК 528.42

**Авторы:**

А. П. Божок, К. И. Дрич, С. А. Евтифеев, В. В. Пастух,  
Г. А. Патыченко, В. М. Сердюков, И. А. Тихонова, А. Г. Тка-  
ченко

**Рецензенты:**

кафедра геоморфологии Львовского государственного  
университета имени Ив. Франко (зав. кафедрой доц.  
Я. С. Кравчук); проф., д-р. геогр. наук И. Ю. Левицкий  
(Харьковский государственный университет имени А. М. Горь-  
кого)

**Топография с основами геодезии: Учебн. для**  
Т58 студ. географ. спец. ун-тов/ А. П. Божок,  
К. И. Дрич, С. А. Евтифеев и др.; Под ред.  
А. С. Харченко и А. П. Божок. — М.: Высш. шк.,  
1986.—304 с.: ил.

В учебнике рассмотрены главным образом методы наземной то-  
пографической съемки. Особое внимание уделено топографическим  
картам и решаемым с их помощью задачам. Рассмотрены вопросы  
съемки шельфа и особенности топографических карт шельфа.

Учебник может быть использован студентами педагогических  
вузов и геологических факультетов университетов.

Т 1902020000—242  
001(01)—86 98—86

ББК 26.12  
912

*Учебное издание*

Алла Петровна Божок, Константин Иванович Дрич, Сергей Алек-  
сеевич Евтифеев и др.

**ТОПОГРАФИЯ С ОСНОВАМИ ГЕОДЕЗИИ**

Заведующий редакцией А. Г. Гаврилов. Научный редактор В. Ф. Лукьянов.  
Редактор И. М. Шагинова. Младшие редакторы С. М. Ерохина, Л. С. Ма-  
каркина, Е. И. Попова. Художник В. Н. Хомяков. Художественный редак-  
тор Т. А. Коленкова. Технический редактор И. А. Балелина. Корректо-  
ры С. К. Завьялова, Г. А. Усенко

**ИБ № 5789**

Изд. № Е-454 Сдано в набор 19.12.85. Подписано в печать 23.03.86. Т-09527  
Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бумага кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Объем 15,96 усл. печ. л. 15,96 усл. кр.-отт. 16,34 уч.-изд. л.  
Тираж 14000 экз. Заказ 5032 Цена 85 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул. д. 29/14.  
Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО  
«Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова» Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и  
книжной торговли. 113054, Москва, Валовая, 28

© Издательство «Высшая школа», 1986

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник написан в соответствии с программой по топографии с основами геодезии для географических специальностей университетов.

По содержанию материал учебника делится на три основные части: вводные сведения, топографические карты и планы, топографические съемки. Большое внимание уделено топографическим картам как источнику многообразных сведений о местности, решаемым с их помощью задачам и наземным топографическим съемкам, т. е. вопросам, составляющим основу топографо-геодезического метода географических исследований. Даны первоначальные сведения о фототопографических съемках (более детально аэрофототопографические и космические методы изучаются на старших курсах). Рассматриваются также топографические карты шельфа и методы их создания.

Сведения о действиях с приближенными числами даны кратко, так как изучение правил таких вычислений предусмотрено программой средней школы.

Коллектив авторов выражает глубокую благодарность проф. И. Ю. Левицкому, сотрудникам кафедры геоморфологии Львовского государственного университета, а также В. Ф. Лукьянову за полезные критические замечания по содержанию рукописи.

Глава I написана С. А. Евтифеевым, И. А. Тихоновой; глава II — В. М. Сердюковым; главы III, IV, IX — А. П. Божок; главы V, VI, VII, VIII, XII — А. Г. Ткаченко при участии В. В. Пастуха; главы X, XI — К. И. Дричем; глава XIII — Г. А. Патыченко; введение — А. П. Божок, С. А. Евтифеевым, А. Г. Ткаченко, заключение — А. П. Божок.

*Авторы*



## ВВЕДЕНИЕ

### § 1. Предмет топографии и геодезии. Топографическая карта

*Топография* — наука, изучающая земную поверхность (т. е. элементы ее физической поверхности и расположенные на ней объекты деятельности человека) в геометрическом отношении. Целью этого изучения является создание *топографических карт* — подробного изображения *местности* (т. е. участков земной поверхности) на плоскости.

К числу основных научных и практических задач, решаемых топографией, следует отнести разработку и совершенствование методов создания топографических карт, способов изображения на них земной поверхности, способов и правил использования карт в решении научных и практических задач.

*Геодезия* — наука, изучающая фигуру и размеры Земли, разрабатывающая методы создания координатных систем для детального изучения земной поверхности и проведения на ней различных измерений (*линейных, угловых* и др.). Эти методы составляют основу топографических работ.

Геодезия разрабатывает также методы измерений на земной поверхности, необходимые для наблюдений за движениями и деформациями земной коры, изменениями береговой линии океанов и морей, для установления высоты уровня морей и их разностей, изучения движения земных полюсов, а также для решения разнообразных инженерных задач гражданского, промышленного, сельскохозяйственного, транспортного строительства и др.

Основной метод изучения земной поверхности в топографии — *топографическая съемка*, которая включает комплекс измерительных, вычислительных и графических работ. Координатные системы, используемые для указания взаимного расположения элементов (точек) земной поверхности, позволяют определить их *плановое* (т. е. местонахождение на какой-либо поверхности) и

*высотное* (т. е. расположение *над* исходной поверхностью) положение.

Топографическая карта представляет собой уменьшенное обобщенное изображение местности, показывающее ее элементы с помощью системы условных знаков. Она создается по определенным математическим законам, сводящим к минимуму искажения, неизбежно возникающие при изображении земной поверхности на плоскости, и обеспечивающим максимальную ее точность по сравнению с картами других типов.

Отличительные особенности топографической карты обуславливают следующее стандартное определение: *топографическая карта — это подробная карта местности, позволяющая определять как плановое, так и высотное положение точек.*

## **§ 2. Связь топографии и геодезии с другими науками. Их роль в развитии народного хозяйства**

Топография развивается в тесной связи с науками о природе и обществе. Методологической основой топографии является *марксистско-ленинская теория познания*, позволяющая с диалектико-материалистических позиций осмыслить объективный мир, правильно понять свойства и особенности земной поверхности как части этого мира, связи между составляющими ее элементами. Топография и геодезия тесно связаны с *картографией* — наукой об отображении и исследовании явлений природы и общества (их размещения, свойств, взаимосвязей и изменений во времени) посредством картографических изображений. К таким изображениям относятся и топографические карты. Картография разрабатывает общие вопросы изображения реальной действительности на картах.

Тесные связи у топографии и геодезии с *географией, геологией, почвоведением* и другими отраслями науки, данные которых способствуют более глубокому пониманию свойств физической поверхности Земли, правильному изображению их на картах.

Достижения авиационной и фотографической техники позволили развить в топографии такие ее направления, как *аэрофототопография* и *наземная фототопография*. Широкое использование фотоснимков определило связь топографии с *фотограмметрией*, решающей задачи

измерения объектов земной поверхности и определения их координат по фотоизображениям.

Освоение космоса привело к появлению *спутниковой геодезии*, изучающей фигуру и размеры Земли с помощью искусственных спутников, космических ракет, кораблей и станций. С разработкой методов получения информации о земной поверхности по космическим снимкам стала развиваться *космическая топография*.

Методы решения научных и практических задач геодезии и топографии основываются на законах *математики* и *физики*. При помощи математики устанавливается зависимость между результатами измерений на местности и величинами, необходимыми для создания карт, обосновывается и контролируется точность проводимых работ. Сведения из физики, особенно таких ее разделов, как оптика, радиофизика, электроника, необходимы при разработке новейших геодезических приборов и инструментов. Достижения *кибернетики* и современной *вычислительной техники* являются базой для автоматизации работ по созданию топографических карт.

Значение топографии и геодезии для науки и практики трудно переоценить. Топографические карты позволяют изучать поверхность Земли с точки зрения условий для жизнедеятельности человека, степени освоения конкретных территорий и возможностей дальнейшего развития этого процесса. Топографические карты являются основой для отображения результатов научных исследований и практической деятельности в географии, геологии и других науках о Земле. Они нужны при разведке и эксплуатации природных богатств, при планировании и размещении производительных сил страны, проектировании инженерных сооружений, при разработке и осуществлении стратегических, тактических, военно-инженерных и многих других задач. Геодезические измерения широко используются при изысканиях, проектировании и строительстве заводов и фабрик, гидротехнических и мелиоративных сооружений, атомных станций, дорожной сети и др. Объем топографических и геодезических работ с каждым годом растет в связи с осуществлением государственных планов развития нашего народного хозяйства.

Все основные топографо-геодезические работы в нашей стране возглавляет Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) при Совете Министров СССР. В системе ГУГК функционируют топографо-геодезические

предприятия и картографические фабрики, государственные институты инженерно-геодезических изысканий и др.

Все материалы топографо-геодезических работ, выполняемых на территории страны, сосредоточены в Центральном картографическом фонде. Созданное при ГУГК Управление государственного геодезического надзора (УГГН) и подчиненные ему территориальные инспекции ведут учет и контроль топографо-геодезических работ, выполняемых предприятиями ГУГК и ведомственными организациями, созданными при отдельных министерствах, ведомствах и учреждениях для выполнения работ с учетом требований конкретной отрасли. При этом обязательно соблюдение общих требований, определяемых инструкциями ГУГК.

### **§ 3. Краткий очерк истории развития топографии и геодезии**

Геодезия возникла в глубокой древности. Геодезия — слово греческое, в переводе на русский язык означает землеразделение. Слово «топография» тоже греческого происхождения (топо — место, местность и графо — пишу). Геодезическими исследованиями начали заниматься за несколько тысячелетий до нашей эры в Китае, Египте, Ассирио-Вавилонии и др. Приемы измерения Земли были известны и в Древней Греции, где они получили теоретическое обоснование и положили начало геометрии (в переводе с греческого — землеизмерение).

К древним временам относится и начало геодезических работ в России. Вблизи г. Тамани обнаружен камень, на котором высечена надпись о том, что в 1068 г. князем Глебом измерена по льду ширина Керченского пролива. В старейшем русском законодательном документе XII в. «Русская Правда» содержатся постановления о межах, т. е. о границах земельных владений. В XV в. описание земель и границ владений сопровождалось измерениями.

Первые геодезические приборы с оптической трубой — нивелиры появились во второй половине XVII в. Теодолит с оптической трубой был изобретен английским механиком Рамсденом в конце XVIII в.

В XVI в. было опубликовано первое русское руководство по выполнению геодезических работ и составлена карта всего Московского государства — «Большой чертеж» — с приложенной к ней «Книгой к Большому черте-

жу». В 1600—1601 гг. появилась карта, составленная Федором Годуновым по «Большому чертежу», с нанесенными на ней меридианами и параллелями и с планом Москвы.

Первые топографические съемки в России относятся к концу XVII в.

Дальнейшее развитие получили геодезия и топография при Петре I в связи с большим строительством и освоением отдаленных земель. По указу Петра I в 1701 г. была открыта математико-навигационная школа. Первыми ее выпускниками были С. И. Челюскин, Д. Л. Овцын, Ф. Ф. Лужин, И. М. Евреинов и др. Они проделали работы по топографическим съемкам Восточных территорий России.

В 1715 г. в Петербурге была основана Морская академия с классом геодезии. В начале XVIII в. проведены съемки на полуострове Камчатка и Курильских островах (1725—1730). В 1721 г. издана первая инструкция по астрономо-геодезическим работам.

Большое значение для развития науки имел созданный в 1739 г. Географический департамент. С 1757 по 1765 г. руководителем Географического департамента был гениальный русский ученый М. В. Ломоносов. В этот период вышли в свет первые учебники по геодезии: «Практическая геометрия» С. Назарова, «Молодой геодезист или Первые основания геодезии» С. К. Котельникова.

В связи с расширением геодезических работ, связанных с генеральным межеванием, в 1779 г. в Москве была основана Межевая школа, впоследствии Межевой институт — крупнейшее высшее учебное заведение по подготовке геодезических кадров.

К концу XVIII в. было определено 67 астрономических пунктов. Такого достижения не имело ни одно западноевропейское государство того времени.

В 1797 г. создается Депо карт, в 1812 г. преобразованное в Военно-топографическое депо, а в 1822 г. — в Корпус военных топографов. С организацией Корпуса военных топографов объем съемок территорий резко возрос. Геодезические работы по развитию триангуляции в западной части Европейской России были проведены еще в 1816 г. русским ученым военным топографом К. И. Теннером. Эти работы продолжил другой русский ученый астроном и геодезист В. Я. Струве — основатель и первый директор Пулковской астрономической обсер-

ватории. Под его руководством было проведено измерение дуги меридиана. Работа выполнялась с целью более точного определения размеров Земли. Большой вклад в развитие геодезии в России внес профессор А. П. Болотов. Им издан в 1845 г. учебник «Курс высшей и низшей геодезии».

Новый этап в развитии геодезии и картографии в нашей стране начался после Великой Октябрьской социалистической революции. Декрет Совета Народных Комиссаров, подписанный В. И. Лениным в марте 1919 г., ясно и точно определил цели и задачи советской геодезии и топографии, основные направления изучения территории страны в топографическом отношении. Геодезия была поставлена на службу социалистическому строительству.

В конце 20-х годов Ф. Н. Красовский разработал программу развития государственной геодезической сети, предусматривающую возможность использования ее не только на практике, но и при решении научных проблем по определению фигуры и размеров Земли. Созданная по этой программе единая астрономо-геодезическая сеть не имеет аналогов в мировой практике по объему работ, стройности построения и точности.

Научно-исследовательские работы возглавил созданный в 1928 г. Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ЦНИИГАиК), а также специальные кафедры многих вузов. В 1940 г. в ЦНИИГАиКе под руководством Ф. Н. Красовского и при участии А. А. Изотова были вычислены новые размеры Земли, принятые для геодезических и картографических работ в СССР. За короткий период проделана огромная работа по созданию Государственной опорной геодезической сети.

В 1945 г. закончены работы по созданию Государственной топографической карты в масштабе 1:1 000 000. В середине 50-х годов вся территория страны была покрыта съемкой в масштабе 1:100 000 и уничтожены «белые пятна» на карте СССР. Эти работы выдвинули Советский Союз на первое место в мире по топографической обеспеченности.

В последние годы в больших объемах, исчисляемых многими сотнями тысяч квадратных километров, проводятся топографические съемки масштаба 1:25 000 и 1:10 000. Этот успех достигнут благодаря широкому при-

менению методов аэрофотогеодезии, которые разрабатываются в СССР с 1924 г.

В 50-е годы XX в. началось интенсивное освоение мелководной части Мирового океана — шельфа, что привело к развитию топографических съемок дна океанов и морей, а также крупных внутренних водоемов.

За годы Советской власти по существу вновь создано геодезическое и фотограмметрическое приборостроение. Многие геодезические приборы заслуженно носят государственный Знак качества и соответствуют уровню лучших мировых образцов (теодолиты Т1, Т2, Т30, Т5К и др.). В 1930 г. советскими физиками разработан фазовый метод косвенного измерения малых промежутков времени. Это дало толчок к созданию светодальномеров и радиодальномеров.

Ведутся научно-исследовательские работы по автоматизации топографо-геодезических работ. Большое значение для топографо-геодезических и картографических работ, изучения фигуры и размеров Земли имеют запуски советских искусственных спутников Земли и космических кораблей.

В Советском Союзе решен вопрос подготовки кадров для обеспечения геодезического производства и проведения научных исследований. Большая роль в развитии геодезической науки принадлежит советским ученым А. А. Михайлову, Г. А. Авсюку, Ю. Д. Буланже, В. А. Магницкому, М. С. Молоденскому, Ф. Н. Красовскому, Н. М. Кислову, К. А. Цветкову, А. С. Чеботареву, М. Д. Соловьеву, Б. В. Фофилову, В. В. Данилову, Н. М. Алексапольскому, П. А. Кобозеву, М. К. Вентцелю, П. С. Закатову, М. С. Муравьеву, А. И. Мазмишвили, А. С. Скиридову, Н. А. Урмаеву, В. В. Попову, М. Д. Коншину, Н. Г. Келлю, А. Н. Лобанову, В. Д. Большакову, Н. Н. Лебедеву и др. Существенный вклад в развитие советского геодезического приборостроения внесли Ф. В. Дробышев, М. М. Русинов, Д. В. Максutow, Ю. Г. Стодолкевич, В. А. Белицин, Г. В. Романовский, С. В. Елисеев и многие другие.



# ГЛАВА I

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### § I.1. Фигура и размеры Земли

Поверхность Земли, которую принято называть *физической* или *топографической поверхностью*, представляет собой сочетание океанов и материков со сложными геометрическими формами. Океаны занимают почти три четверти площади планеты, а неровности суши незначительны в сравнении с ее площадью, поэтому фигура Земли определяется поверхностью Мирового океана. Это подтверждают и снимки Земли, полученные с космических летательных аппаратов.

Поверхность океана в состоянии полного покоя и равновесия является *уровенной поверхностью*, т. е. поверхностью, на которой потенциал силы тяжести Земли имеет одно и то же значение. Направления *отвесных линий* (линий, совпадающих с направлением действия силы тяжести) перпендикулярны уровенной поверхности в любой ее точке.

Фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана, в состоянии полного покоя и равновесия и продолженной под материками, называется *геоидом*.

Уровенная поверхность может быть проведена через любую точку физической поверхности Земли, а также над или под поверхностью (рис. I.1). Поверхность, которая определяет фигуру планеты (т. е. совпадающая с поверхностью Мирового океана), называют *основной*.

Поверхность геоида не является правильной фигурой в геометрическом отношении, так как внутреннее строение Земли неоднородно и направления действия силы тяжести не совпадают с направлениями, которые они имели бы при однородном строении планеты. Вследствие этого уровенная поверхность, оставаясь в каждой точке перпендикулярной отвесным линиям, приобретает сложную и неправильную форму. Наиболее близкой, математически определенной геометрической фигурой к

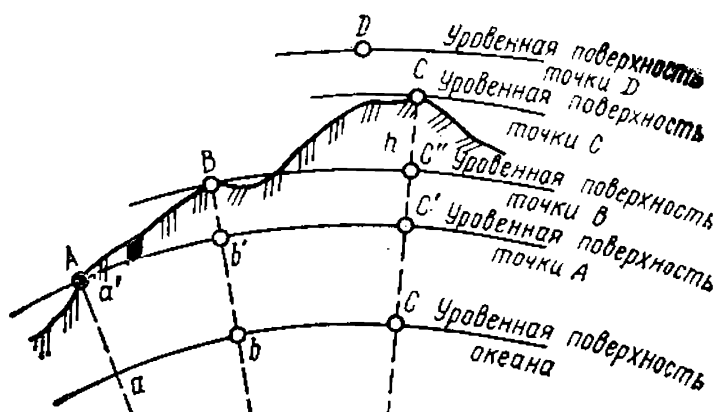


Рис. 1.1. Уровенные поверхности

геоиду, характеризующей фигуру и размеры Земли, является *земной эллипсоид* (рис. 1.2), малая ось которого совпадает с полярной осью Земли  $PP'$ . (Эллипсоидом называется фигура, образованная вращением эллипса вокруг малой оси.)

Направления *отвесной линии* и *нормали* (направления, перпендикулярного поверхности эллипсоида) в точках земной поверхности не совпадают (рис. 1.3) и образуют угол  $\epsilon$ , называемый *уклоном отвесной линии*. В среднем его величина составляет  $3-4''$ , а в местах аномалий достигает десятков секунд.

Размеры земного эллипсоида (см. рис. 1.2) характеризуются длинами полуосей  $a$ ,  $b$  и величиной относительного сжатия  $\alpha = (a-b)/a$ . Для определения  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  на поверхности Земли измеряют геодезическими методами длину дуги меридиана. Эти измерения называют *градусными измерениями*. По данным градусных измерений были рассчитаны размеры земных эллипсоидов учеными Деламбром (1800), Бесселем (1841), Хейфордом (1909) и др.

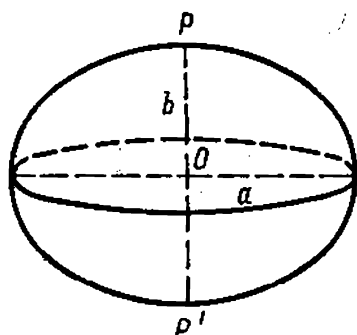


Рис. 1.2. Земной эллипсоид и его элементы

В СССР размеры эллипсоида вычислены в 1940 г. выдающимся советским геодезистом Ф. Н. Красовским при участии А. А. Изотова по наиболее обширным для того времени геодезическим данным. Полученные параметры эллипсоида следующие:  $a = 6\,378\,245$  м,  $b = 6\,356\,863$  м,  $\alpha = 1 : 298,3$ .

В 1942 г. эти размеры утверждены в качестве обязательных для про-

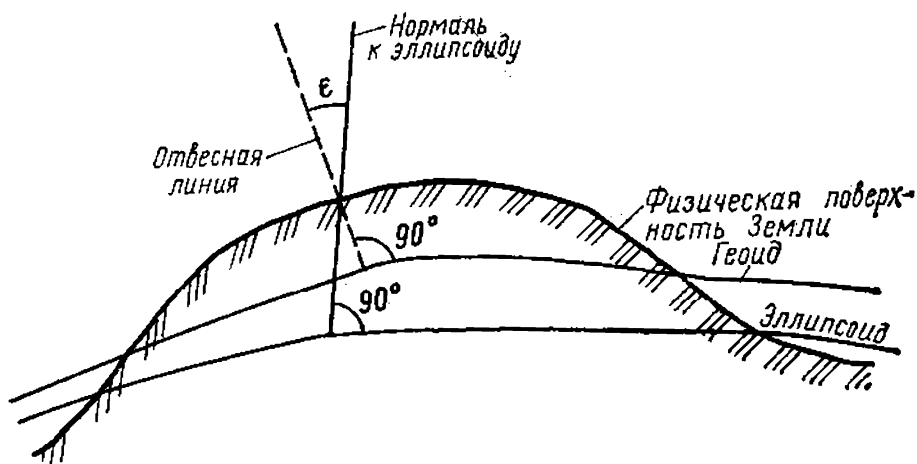


Рис. 1.3. Уклонение отвесной линии

изводства геодезических работ в нашей стране.

Земной эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат, называют *референц-эллипсоидом*. В Советском Союзе в качестве референц-эллипсоида принят эллипсоид Ф. Н. Красовского. Отклонения его поверхности от геоида не превышают 100—150 м, что подтверждает целесообразность принятия эллипсоида в качестве фигуры, наиболее приближающейся к геоиду. Чтобы максимально приблизить поверхность эллипсоида к поверхности геоида, эллипсоид ориентируют, т. е. располагают определенным образом по отношению к поверхности геоида. Ориентирование зависит от выбора точки земной поверхности, в которой нормаль совпадает с отвесной линией (точки  $A$  и  $A'$  на рис. 1.4). В СССР такой точкой ориентирования референц-эллипсоида служит центр круглого зала Пулковской обсерватории.

При решении многих практических задач достаточно принять форму Земли за шар, площадь поверхности которого равна площади эллипсоида, а радиус — 6371,1 км (6370 или 6400 км при округлении).

## § 1.2. Понятие о методах определения фигуры и размеров Земли

**Астрономо - геодезический метод.** Определение фигуры и размеров Земли

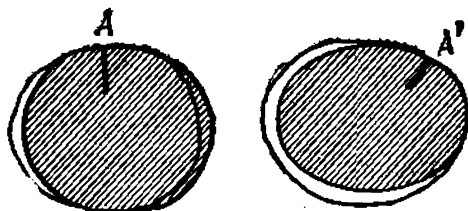


Рис. 1.4. Ориентирование земного эллипсоида

основано на использовании градусных измерений, суть которых сводится к определению линейной величины одного градуса дуги меридиана и параллели на разных широтах. Однако непосредственные линейные измерения значительной протяженности на земной поверхности затруднены, ее неровности существенно снижают точность работ.

**Метод триангуляции.** Высокая точность измерения значительных по протяженности расстояний обеспечивается применением метода триангуляции, разработанного в XVII в. голландским ученым В. Снеллиусом (1580—1626).

Триангуляционные работы для определения дуг меридианов и параллелей проводились учеными разных стран. Еще в XVIII в. было установлено, что один градус дуги меридиана у полюса длиннее, чем у экватора. Такие параметры характерны для эллипсоида, сжатого у полюсов. Этим подтверждалась гипотеза И. Ньютона (1643—1727) о том, что Земля в соответствии с законами гидродинамики должна иметь форму эллипсоида вращения, сплюснутого у полюсов.

Большое значение имели градусные измерения, проведенные при участии Ж. Деламбра. По результатам этих измерений  $1/1\,000\,000$  часть четверти парижского меридиана была принята за единицу длины метрической системы мер — один метр (1 м).

В 1848—1852 гг. под руководством русских геодезистов К. И. Теннера и В. Я. Струве была измерена дуга меридиана между г. Фуленесом (Норвегия) и устьем Дуная протяженностью  $25^{\circ}20'$ . Работа — выдающаяся для своего времени. Она оставила заметный след в истории градусных измерений.

**Геофизический (гравиметрический) метод.** Он основан на измерении величин, характеризующих земное поле силы тяжести, и их распределении на поверхности Земли. Преимущество этого метода в том, что его можно применять на акваториях морей и океанов, т. е. там, где возможности астрономо-геодезического способа ограничены. Данные измерений потенциала силы тяжести, выполненные на поверхности планеты, позволяют вычислить сжатие Земли с большей точностью, чем астрономо-геодезическим методом.

Начало гравиметрическим наблюдениям было положено в 1743 г. французским ученым А. Клеро (1713—1765). Он предположил, что поверхность Земли имеет

вид *сфероида*, т. е. фигуры, которую приняла бы Земля, находясь в состоянии гидростатического равновесия под влиянием только сил взаимного тяготения ее частиц и центробежной силы вращения около неизменной оси. А. Клеро предположил также, что тело Земли состоит из сфероидальных слоев с общим центром, плотность которых возрастает к центру. В результате он получил формулу для вычисления ускорения силы тяжести в любой точке Земли:

$$g_{\varphi} = g_{\varepsilon} \left( 1 - \frac{g_{\pi} - g_{\varepsilon}}{g_{\varepsilon}} \sin^2 \varphi \right), \quad (1.1)$$

где  $g_{\varphi}$ ,  $g_{\varepsilon}$ ,  $g_{\pi}$  — ускорение силы тяжести, соответственно, на определенной широте  $\varphi$ , на экваторе и на полюсе.

Если в формулу (1.1) подставить числовые значения  $g_{\varepsilon}$  и  $g_{\pi}$ , полученные путем измерений, то формула (1.1) приобретает вид

$$g_{\varphi} = 978,030 (1 - 0,005302 \sin^2 \varphi).$$

**Космический метод.** Развитие космического метода изучения Земли связано с освоением космического пространства, которое началось с момента запуска советского искусственного спутника Земли (ИСЗ) в октябре 1957 г. Перед геодезией были поставлены новые задачи, связанные с бурным развитием космонавтики. В их числе — наблюдение за ИСЗ на орбите и определение их пространственных координат в заданный момент времени. Выявленные отклонения реальных орбит ИСЗ от предвычисленных, вызванные неравномерным распределением масс в земной коре, позволяют уточнить представление о гравитационном поле Земли и в конечном результате о ее фигуре.

### § 1.3. Понятие о геодезических сетях

В процессе изучения размеров и фигуры Земли на ее поверхности закрепляются точки (пункты), положение которых вычислено в общей системе координат. Совокупность таких пунктов составляет *геодезическую сеть*. Геодезическая сеть создается прежде всего на территории отдельных государств, где она служит основой (опорой) для проведения топографических съемок. Поэтому такие сети называют также *опорными*, а составляющие ее пункты — *опорными пунктами*.

Различают *плановые геодезические сети* (если для составляющих их пунктов определено плановое положение на земной или заменяющей ее поверхности), *высотные геодезические сети* (если определены значения высоты пунктов над исходной поверхностью) и *планово-высотные сети* (пункты сети имеют как плановые, так и высотные координаты).

Современное развитие науки и техники способствует внедрению новых методов определения координат геодезических пунктов, позволяет связывать воедино геодезические сети разных материков. Тем самым устраняются различия в системах координат разных стран и отпадает необходимость перевычисления координат пунктов из одной системы в другую при работах планетарного масштаба.

Имеется несколько методов связи пунктов геодезических сетей различных материков при помощи ИСЗ.

Первый метод — *синхронный* — основан на одновременных наблюдениях ИСЗ с пунктов геодезических сетей, расположенных на различных материках.

Пусть на территории двух материков (рис. 1.5) выбраны пункты  $A$ ,  $A'$ ,  $B$ ,  $B'$ . Измерив на этих пунктах синхронно направления на ИСЗ, путем вычислений можно установить связь между геодезическими сетями, построенными на обоих материках. Координаты спутника, определенные из синхронных наблюдений с раз-



Рис. 1.5. Синхронный метод наблюдений

ных материков, будут отличаться друг от друга. Эти отличия свидетельствуют о различиях в системах координат (если не принимать во внимание погрешности наблюдений). Многократные наблюдения ИСЗ позволяют свести погрешности к минимуму.

Применение синхронного метода возможно при сравнительно небольших расстояниях между материками (необходима одновременная видимость ИСЗ с них). Чем больше высота орбиты спутника Земли, тем значительнее может быть расстояние между материками.

Второй метод — *орбитальный* — отличается от синхронного тем, что наблюдения за ИСЗ могут производиться в разное время (рис. 1.6). Для этого выбирают на разных материках точки  $A, A', B, B'$  с известными координатами и ведут наблюдения за ИСЗ с целью определения параметров его орбиты и предвычисления его положения на разных участках. По результатам наблюдений можно определять координаты ИСЗ на орбите в любой момент. Зная координаты ИСЗ в момент наблюдения спутника с пунктов земной поверхности, координаты которых неизвестны, можно вычислить их значения.

Однако орбитальный метод не всегда позволяет учесть возможные отклонения реальной орбиты ИСЗ от предвычисленной.

В связи с развитием новой отрасли геодезии — *радиогеодезии* — разработаны новые методы определения



Рис. 1.6. Орбитальный метод наблюдений





## § 1.4. Методы проектирования и проекции земной поверхности на плоскость

Чтобы получить топографическую карту, точки земной поверхности предварительно должны быть перенесены (отнесены) на поверхность более простую, чем земная. Ее называют *поверхностью относимости*. Такой поверхностью может быть поверхность референц-эллипсоида, а также плоскость.

Процесс перенесения точек с земной поверхности на поверхность относимости осуществляется различными методами проектирования. Методы проектирования определяют свойства получаемой проекции.

В топографии и геодезии проектирование ведется отвесными линиями. Ввиду малого отклонения направление нормалей можно считать совпадающим с направлением отвесных линий. Поправки вводятся только для аномальных районов. Полученные проекции называются *горизонтальными*, так как горизонтальной считается поверхность, перпендикулярная в каждой точке направлению отвесной линии. На рис. 1.8, А пятиугольник  $abcfe$  является горизонтальной проекцией на эллипсоиде  $Q$

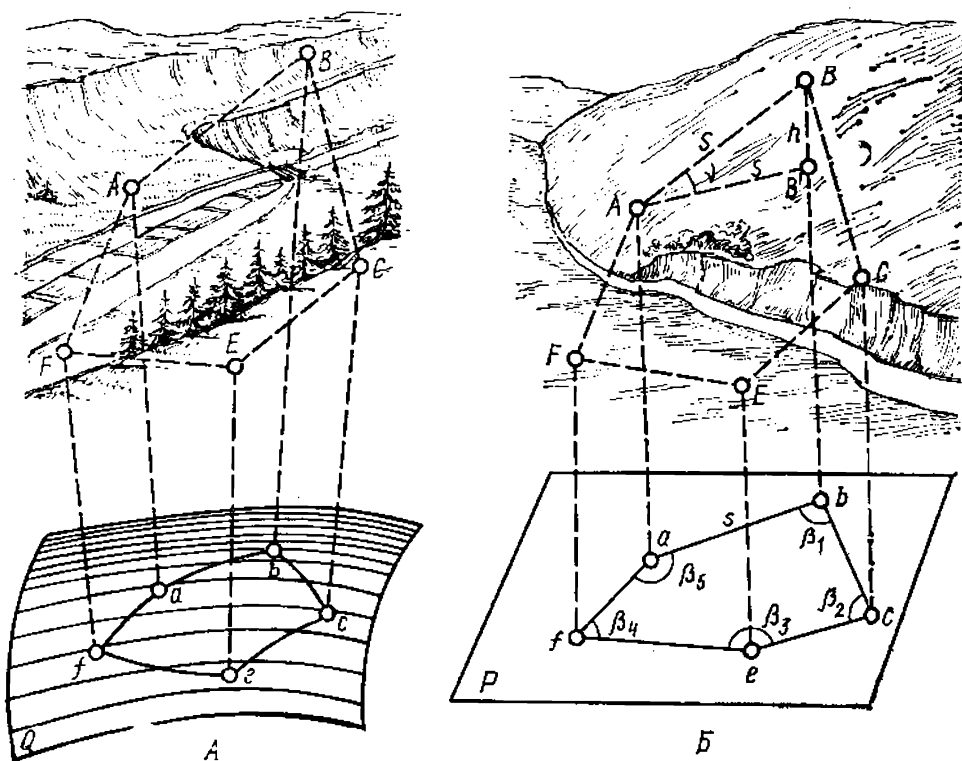


Рис. 1.8. Проектирование точек местности

(уровенной поверхности) пятиугольника  $ABCEF$  на местности.

При проектировании небольших участков земной поверхности часть уровня поверхности можно заменить плоскостью  $P$ . В этом случае отвесные линии практически параллельны между собой (рис. 1.8,Б) и горизонтальная проекция земной поверхности преобразуется в *ортогональную проекцию*, т. е. проекцию, полученную параллельными проектирующими линиями, перпендикулярными плоскости проектирования. Проекция линии местности  $S$  на горизонтальную плоскость называется *горизонтальным проложением*  $s$  (отрезки  $ab$ ,  $bc$  и т. д. на рис. 1.8,Б).

Таким образом, положение точек и линий местности  $AB$ ,  $BC$ , ...,  $FA$  в ортогональной проекции определяется длинами горизонтальных проложений  $ab$ ,  $bc$ , ...,  $fa$  и горизонтальными углами между ними  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , ...,  $\beta_5$  (см. рис. 1.8,Б).

Горизонтальные проложения линий отличаются от их длин на местности. Это различие можно вычислить по известным формулам тригонометрии. Например, если  $AB=S$ ,  $ab=AB'=s$ ,  $\nu$  — угол между  $AB$  и  $AB'$ , то

$$s = S \cos \nu. \quad (1.2)$$

В отличие от горизонтальных углов  $\beta$  угол  $\nu$ , характеризующий отклонения земной поверхности на конкретном участке от горизонтальной плоскости, называется *вертикальным углом* (углом наклона), так как он располагается в вертикальной плоскости (плоскости проектирующих линий).

Наряду с названными в геодезии довольно широко применяется *центральная проекция*. Проектирование производится линиями, исходящими из одной точки  $F$  (рис. 1.9), называемой *центром проекции*. Плоский многоугольник  $abce$  является центральной проекцией многоугольника  $ABCE$  на местности.

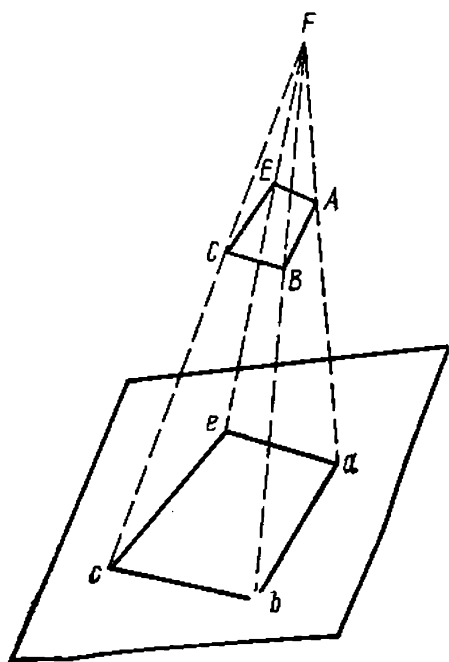


Рис. 1.9. Центральная проекция

Чтобы перейти от изображения значительной по площади территории земной поверхности в горизонтальной проекции к ее плоскому изображению на карте, применяют *картографические проекции*. Вид и характер искажений, неизбежно возникающих при переходе от сферической поверхности к плоской, зависят от характера картографической проекции. Правильный выбор проекции при ограничении площади изображаемого на карте участка земной поверхности позволяет свести искажения к минимуму.

### § 1.5. Понятие о масштабе

Чтобы создать топографическую карту, проекция земной поверхности на поверхность относимости должна быть уменьшена до обозримых размеров. Отношение, показывающее, во сколько раз уменьшены линейные размеры земного эллипсоида или шара при его изображении на карте, называется *масштабом карты*. Его можно записать как

$$M=l:S, \quad (I.3)$$

где  $M$  — масштаб,  $l$  — длина отрезка прямой на карте,  $S$  — длина соответствующей ему линии (ее горизонтального проложения) на эллипсоиде или шаре; при этом

$$M=1:m, \quad (I.4)$$

где  $m$  — число, показывающее степень уменьшения. Например:  $l=10$  см,  $S=500$  м,  $M=10$  см:50 000 см =  $=1:5000$ . Это означает, что линейные размеры земного эллипсоида (шара) уменьшены в 5000 раз. Если те же 500 м на карте изобразятся отрезком  $l=1$  см, то  $M=1:50\,000$ . Следовательно, чем больше знаменатель дроби, тем меньше изображение на карте и ее масштаб; чем меньше знаменатель, тем крупнее масштаб карты.

### § 1.6. Размеры участков земной поверхности, принимаемые за плоские. Топографический план

Задача определения участка земной поверхности, принимаемого за плоскость, сводится к установлению его размеров, при которых кривизна Земли может не учитываться в процессе создания на этот участок карты. Иными словами, необходимо определить, для какого участка местности применима ортогональная проек-

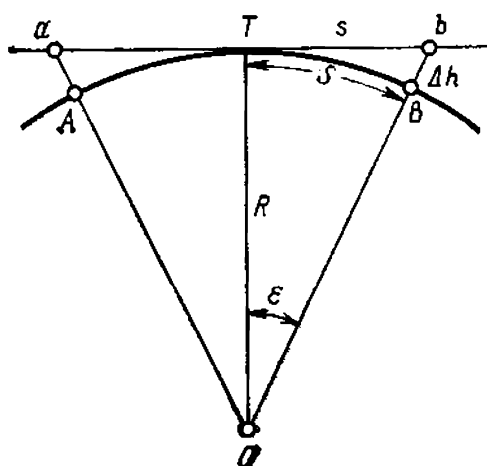


Рис. I.10. Влияние кривизны земной поверхности на измерение расстояний и высоты точек

ция точек земной поверхности на горизонтальную плоскость.

На рис. I.10 изображена часть поверхности Земли в виде сферы радиуса  $R$  и ее проекция на плоскость, где  $aT = Tb$ . Для простоты рассуждений рассмотрим половину изображения проекции.

Из данных рис. I.10 видно, что с удалением от точки  $T$  разница между длиной линии на сферической поверхности  $TB = S$  и ее проекцией на

плоскость  $Tb = s$  возрастает, а расстояние  $OB$  увеличивается на величину  $\Delta h$ , характеризующую изменение высоты точки местности. Определим разность между длиной касательной  $s$  и длиной дуги  $S$ . Из данных рисунка видно, что  $s = R \operatorname{tg} \varepsilon$  и  $S = R\varepsilon$ . Обозначив разность  $s - S$  через  $\Delta S$ , получим

$$\Delta S = R(\operatorname{tg} \varepsilon - \varepsilon).$$

Центральный угол  $\varepsilon$  мал. Поэтому при разложении  $\operatorname{tg} \varepsilon$  в убывающий ряд можно ограничиться вторым членом ряда и пренебречь последующими из-за их малости. Тогда

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \varepsilon + \frac{\varepsilon^3}{3} + \dots$$

Так как  $S$  по сравнению с  $R$  пренебрежимо мала, то тангенс угла  $\varepsilon$  приближенно можно принять равным двум членам указанного ряда или

$$\operatorname{tg} \varepsilon - \varepsilon = \frac{\varepsilon^3}{3} \quad \text{и} \quad \Delta S = R \frac{\varepsilon^3}{3}, \quad \varepsilon^3 = \frac{S^3}{R^2}.$$

Произведя подстановку, получим

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2}.$$

Из данных рис. I.10 видно, что отрезок касательной  $s$  длиннее дуги  $S$  на величину  $\Delta S$ . Результаты вычислений, представленные ниже, свидетельствуют о том, что

$\Delta S$  возрастает незначительно. При длине дуги 10 км  $\Delta S$  составляет лишь 1:1 000 000 ее длины, а если расстояние  $S=50$  км, то  $\Delta S$  достигает 1:50 000. Современные высокоточные геодезические приборы дают возможность измерять расстояния с относительной погрешностью 1:1 000 000, поэтому считают, что участок радиусом 10 км ( $\sim 400$  км<sup>2</sup>) можно принимать за плоский. При пониженных требованиях к точности линейных измерений его площадь может быть увеличена.

Для определения влияния кривизны Земли на величину  $\Delta h$  (рис. I.10) рассмотрим угол  $BTb = \frac{1}{2}\varepsilon$  как угол, образованный касательной и хордой. По малости этого угла отрезок  $\Delta h$  можно рассматривать как дугу радиуса  $S$ . Тогда  $\Delta h = \frac{1}{2}\varepsilon S$ . Подставив значение  $\varepsilon = S/R$ , найдем

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R}.$$

Подставив в эту формулу различные значения  $S$ , получим значения  $\Delta h$ . Они свидетельствуют о том, что расхождения между высотами точек на сфере и на плоскости быстро нарастают, достигая недопустимых величин на относительно небольшом удалении от точки касания  $T$ . Так как на практике высоты точек местности часто определяют с точностью до 1 мм, приходится учитывать значение  $\Delta h$  даже при коротких расстояниях.

$S$ , км	$\Delta S$ , м	$\Delta h$ , м
1	0,00	0,08
5	0,00	1,96
10	0,01	7,85
20	0,07	31,39
50	1,02	196,20
100	8,21	784,81

При проекции сферической поверхности на плоскость изменяются также значения углов, образуемых линейными отрезками, например, сторонами какого-либо многоугольника. Избыток (эксцесс) угловых величин определяется формулой

$$\xi = \rho \frac{P}{R^2},$$

где  $P$  — площадь фигуры;  $\rho$  — величина радиана. Величины сферического эксцесса приведены ниже:

$P$ , км <sup>2</sup> . . . . .	10	100	400	900	1600	2500	5000	10 000
$\xi''$ . . . . .	0,05	0,51	2,03	4,57	8,13	21,71	25,40	50,80

Приведенные данные сферического эксцесса позволяют сделать вывод о том, что для квадрата со стороной 10 км влияние сферичности Земли выражается величиной всего лишь  $0,5''$ . Таким образом, при проектировании относительно малых участков земной поверхности на горизонтальную плоскость получают подобное изображение, в котором практически отсутствует искажение в длинах отрезков и горизонтальных углах между направлениями этих отрезков.

Картографическое изображение на плоскости в ортогональной проекции в крупном масштабе ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности пренебрежимо мала, называется *топографическим планом*.

### § 1.7. Системы координат для определения положения точек земной поверхности

*Координаты* — это величины, определяющие положение любой точки на поверхности или в пространстве относительно принятой системы координат.

*Система координат* устанавливает начальные (исходные) точки, поверхности или линии отсчета необходимых величин — *начало отсчета координат*, единицы их исчисления. В топографии и геодезии наибольшее применение получили системы географических, прямоугольных и полярных координат.

*Система географических координат (географические координаты)* применяется для определения положения точек Земли на эллипсоиде (шаре). Исходными плоскостями в этой системе являются *плоскости начального меридиана и экватора*,

а координатами — *угловые величины: долгота и широта точки*.

*Меридианом* называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точку и полярную ось вращения Земли (рис. 1.11).

*Параллелью* называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точ-

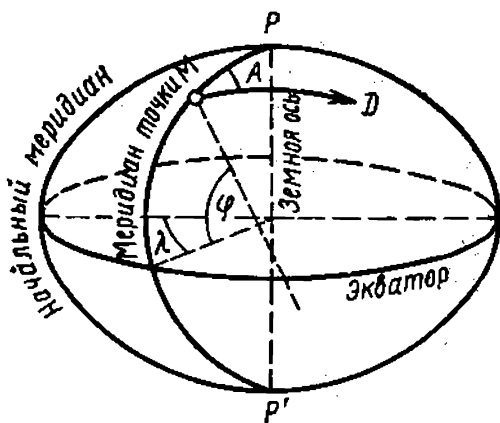


Рис. 1.11. Система географических координат и азимут



ку и перпендикулярной земной оси  $PP'$ . Параллель, проходящая через центр эллипсоида, называется *экватором*.

В качестве начального принят *Гринвичский меридиан*, т. е. меридиан, проходящий через центр главного зала Гринвичской обсерватории в окрестностях Лондона.

Географические координаты могут быть получены на основании астрономических наблюдений или геодезических измерений. В первом случае их называют *астрономическими*, во втором — *геодезическими*. При астрономических наблюдениях проектирование точек на поверхность относимости осуществляется отвесными линиями, при геодезических измерениях — нормальми, поэтому величины астрономических и геодезических географических координат несколько отличаются.

Астрономические координаты являются компонентами направления отвесной линии в данной точке пространства относительно плоскости, перпендикулярной к оси вращения Земли (плоскости экватора) и плоскости начального астрономического меридиана. *Плоскостью астрономического меридиана* является плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке и параллельная оси вращения Земли.

*Астрономическая широта  $\varphi$*  — это угол, образованный отвесной линией в данной точке и плоскостью, перпендикулярной к оси вращения Земли, а *астрономическая долгота  $\lambda$*  — двугранный угол между плоскостями астрономического меридиана данной точки и начального астрономического меридиана (рис. I.11).

Начальной точкой отсчета этих координат служит точка пересечения начального меридиана и экватора, для которой  $\varphi = 0^\circ$  и  $\lambda = 0^\circ$ .

*Плоскостью геодезического меридиана* является плоскость, проходящая через нормаль к поверхности земного эллипсоида в данной точке и параллельная его малой оси.

*Геодезическая широта  $B$*  — это угол, образованный нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора.

*Геодезическая долгота  $L$*  — двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического меридиана.

Широты бывают *северные* и *южные*, изменяются они от  $0^\circ$  (на экваторе) до  $90^\circ$  (на земных полюсах). Дол-

готы бывают *восточные* и *западные* и изменяются от  $0^\circ$  (на начальном Гринвичском меридиане) до  $180^\circ$  на восток и на запад. Долгота и широта могут быть также определены соответственно длиной дуги меридиана и параллели на поверхности эллипсоида.

Началом координат в геодезической системе (на референц-эллипсоиде) служит точка ориентирования эллипсоида с известными астрономическими координатами. По отношению к ней определяются координаты пунктов геодезической сети данной страны. Использование государствами планеты различных референц-эллипсоидов приводит к различиям координат одних и тех же пунктов, вычисленных относительно разных исходных поверхностей. Практически это выражается в общем смещении картографического изображения относительно меридианов и параллелей на картах крупного и среднего масштабов.

*Плоскими прямоугольными геодезическими координатами (прямоугольными координатами)* называются линейные величины — *абсцисса* и *ордината*, — определяющие положение точки на плоскости относительно исходных направлений. Исходными направлениями служат две взаимно перпендикулярные линии (рис. I.12) с началом отсчета в точке их пересечения  $O$ . Прямая  $XX$  является *осью абсцисс*, а прямая  $YY$ , перпендикулярная к оси абсцисс, — *осью ординат*. В такой системе положение любой точки на плоскости определяется кратчайшим расстоянием до нее от осей координат. Так, положение точки  $A$  определяется длиной перпендикуляров  $x_a$  и  $y_a$ . Отрезок  $x_a$  называется абсциссой точки  $A$ , а  $y_a$  — ординатой. Выражаются абсциссы и ординаты в линейной мере (обычно в метрах).

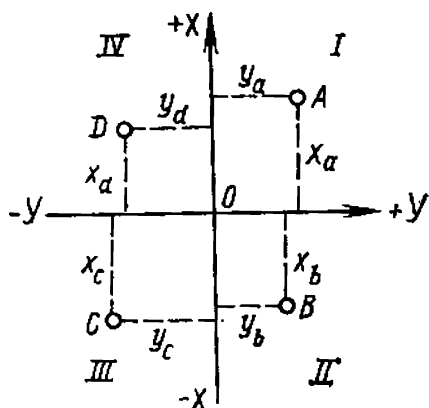


Рис. I.12. Система плоских прямоугольных координат

В геодезии и топографии принята правая система прямоугольных координат: это отличает ее от левой системы координат, используемой в математике. Четверти системы координат (название которых определяется принятыми обозначениями стран света), нумеруются по ходу часовой стрелки (рис. I.12). В такой системе упро-

щается измерение углов ориентирования (см. § 1.9).

Абсциссы точек, расположенных вверх от начала координат, считаются *положительными*, а вниз от нее — *отрицательными*; ординаты точек, расположенных вправо от начала координат, считаются *положительными*, а влево от нее — *отрицательными* (см. табл. I.1). Система

Таблица I.1

Четверти	Координаты	
	$x$	$y$
I — северо-восток (СВ)	+	+
II — юго-восток (ЮВ)	—	+
III — юго-запад (ЮЗ)	—	—
IV — северо-запад (СЗ)	+	—

плоских прямоугольных координат применяется на ограниченных участках земной поверхности, которые могут быть приняты за плоские.

Для небольших участков начало отсчета координат может быть в любой точке участка (система с *условным началом координат*). В государственной системе координат за ось ординат принимают линию экватора, за ось абсцисс — направление меридиана, который называется *осевым* (он совпадает с направлением одной из осей системы прямоугольных координат). При проведении работ на значительных по площади территориях осевыми выбирают несколько меридианов (см. § 3.3).

Координаты, началом отсчета которых является какая-либо точка местности, называются *топоцентрическими*. Если на горизонтальной плоскости через произвольно выбранную точку  $O$  (рис. I.13), называемую полюсом, провести прямую  $OX$ , называемую *полярной осью*, то положение любой точки, например  $M$ , будет определяться *радиусом-вектором*  $r_1$  и *углом направления*  $\alpha_1$ , а точки  $N$  — соответственно  $r_2$  и  $\alpha_2$ . Такие координаты называются *полярными*. Углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  измеряют от полярной оси по ходу часовой стрелки до радиуса-вектора. Полярная ось на плоскости может располагаться произвольно или

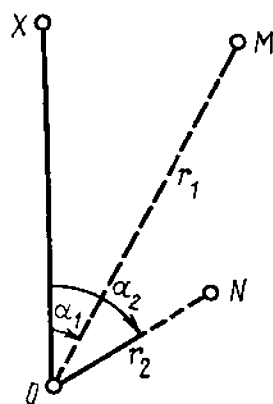


Рис. I.13. Система полярных координат

совпадать с направлением какого-либо меридиана, проходящего через полюс  $O$ .

Для определения положения точек физической поверхности Земли недостаточно знать только две их координаты на какой-либо поверхности (широту и долготу,  $x$  и  $y$  и др.). Необходима третья координата—*высота точки  $H$* , т. е. расстояние по отвесному направлению от данной точки (или проходящей через нее уровенной поверхности) до уровенной поверхности, принятой за начало счета высот. Начальной (исходной для счета) поверхностью может быть поверхность геоида (отсчитываемое от нее расстояние называется *ортометрической высотой*) или поверхность земного эллипсоида (в этом случае получают *геодезическую высоту*). Числовое значение высоты точки называется *отметкой (отметкой высоты)*. Высоты, отсчитываемые от основной уровенной поверхности, называют *абсолютными высотами* ( $aA, bB, cC$  на рис. I.1), а определяемые относительно произвольно выбранной уровенной поверхности—*условными высотами* ( $b'B, c'C, c''C$  на том же рисунке). Разность высот двух точек (или расстояние по отвесному направлению между уровенными поверхностями, проходящими через две любые точки Земли) называется *относительной высотой* или *превышением  $h$*  этих точек ( $c''C$  на рис. I.1).

В СССР принята Балтийская система высот. Счет высот в этой системе ведут от уровенной поверхности, проходящей через нуль Кронштадтского футштока. *Футшток*—рейка, устанавливаемая на берегах океанов и морей для наблюдений за уровнем моря.

Три величины, две из которых характеризуют положение точки *на поверхности*, а третья является высотой точки *над поверхностью* земного эллипсоида, называются *геодезическими координатами*.

## § I.8. Сближение меридианов и его определение

Вследствие сферичности Земли меридианы параллельны между собой только на экваторе. В направлении к земным полюсам расстояние между ними постепенно сокращается, а сами меридианы сходятся в точках-полюсах, образуя углы, называемые *углами сближения меридианов* (сокращенно сближением меридианов).

[illegible]
$$\gamma = \frac{S_p}{TM},$$

**Следовательно,**

$$\gamma = \frac{\rho}{R} \operatorname{Stg} B. \quad (I.5)$$

$$\gamma' = 3438' \frac{S}{R} \operatorname{tg} B.$$
$$\gamma' = 0,540 S \operatorname{tg} B, \text{ где } S \text{ выражено в км.}$$
$$S = \frac{NF\Delta L}{\rho}.$$

Тогда 
$$S = \frac{\Delta L}{\rho} R \cos B. \quad (1.6)$$

Подставив  $S$  из формулы (I.6) в формулу (I.5), получим

$$\gamma = \Delta L \sin B. \quad (I.7)$$

Из формулы (I.7) следует, что на экваторе ( $B=0$ ) сближение меридианов  $\gamma=0$ , а на полюсе  $\gamma=\Delta L$ .

### § I.9. Связь плоской прямоугольной и полярной систем координат

Простота полярной системы координат и возможность ее построения относительно любой точки местности, принимаемой за полюс, обусловили ее широкое применение в топографии. Чтобы связать воедино полярные системы отдельных точек местности, необходимо перейти к определению положения последних в прямоугольной системе координат, которая может быть распространена на значительно бóльшую по площади территорию. Связь между двумя системами устанавливается решением прямой и обратной геодезических задач.

*Прямая геодезическая задача* состоит в определении координат конечной точки линии по длине ее горизонтального проложения, направлению и координатам начальной точки. Так, если принять точку  $A$  (рис. I.15) за полюс полярной системы координат, а прямую  $AC$  — за полярную ось, параллельную оси  $OX$ , то полярными координатами точки  $B$  будут  $s$  и  $\alpha$ . Необходимо вычислить прямоугольные координаты этой точки в системе  $XOY$ . На рис. I.15 видно, что  $x_B$  отличается  $x_A$  на величину  $(x_B - x_A) = \Delta x$ , а  $y_B$  отличается от  $y_A$  на величину  $(y_B - y_A) = \Delta y$ . Разности координат конечной  $B$  и начальной  $A$  точек линии  $AB$   $\Delta x$  и  $\Delta y$  называются

*приращениями координат.*

Из данных рисунка ясно, что приращениями координат линии являются ортогональные проекции горизонтального проложения этой линии на оси координат, а координаты  $x_B$  и  $y_B$  могут быть вычислены по формулам:

$$\begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x_{AB}; \\ y_B &= y_A + \Delta y_{AB}. \end{aligned} \quad (I.8)$$

Значения приращений определяются из прямоугольного треугольника  $ACB$  по

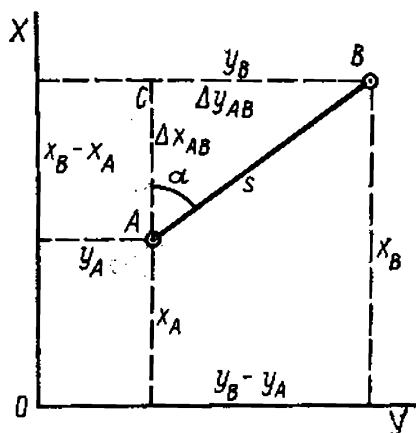


Рис. I.15. Прямая и обратная геодезические задачи

заданным  $s$  и  $\alpha$ , так как приращения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  являются катетами этого прямоугольного треугольника:

$$\Delta x_{AB} = s \cos \alpha, \quad \Delta y_{AB} = s \sin \alpha. \quad (1.9)$$

Приращения координат имеют знаки. Знак приращений зависит от знака косинуса и синуса угла направления или от названия четверти прямоугольной системы координат (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Угол направления, град	Четверть	Знаки приращений координат	
		$\Delta x$	$\Delta y$
0—90	I — СВ	+	+
90—180	II — ЮВ	—	+
180—270	III — ЮЗ	—	—
270—360	IV — СЗ	+	—

Подставив значение приращений  $\Delta x_{AB}$  и  $\Delta y_{AB}$  в равенство (1.8), получим формулы для решения прямой геодезической задачи:

$$x_B = x_A + s \cos \alpha, \quad y_B = y_A + s \sin \alpha. \quad (1.10)$$

*Обратная геодезическая задача* заключается в определении длины горизонтального проложения  $s$  и направления  $\alpha$  линии  $AB$  (рис. 1.15) по данным координатам ее начальной точки  $A(x_A, y_A)$  и конечной  $B(x_B, y_B)$ . Угол направления вычисляется по катетам прямоугольного треугольника:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}.$$

Горизонтальное проложение  $s$ , согласно (1.9), можно определить по двум формулам:

$$s = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos \alpha} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha}; \quad s = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin \alpha} = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha}. \quad (1.11)$$

Обратную задачу можно решить в такой последовательности: вначале вычислить горизонтальное проложение  $s$  по теореме Пифагора:

$$s = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2},$$

а затем вычислить угол направления  $\alpha$  по формулам, согласно (1.11):

$$\sin \alpha = \frac{y_B - y_A}{s}; \quad \cos \alpha = \frac{x_B - x_A}{s}.$$

## § 1.10. Ориентирование линий

*Ориентировать линию местности* — значит определить ее направление относительно другого направления, принимаемого за исходное, т. е. определить угол между исходным и данным направлениями. В качестве исходных направлений приняты: *географический меридиан*, *осевой* (меридиан, принятый за ось какой-либо системы плоских прямоугольных координат) и *магнитный* (совпадающий с направлением свободно подвешенной магнитной стрелки) *меридианы*.

Направление линии может быть *прямым* (если рассматривать заданное направление от какой-либо начальной точки к конечной) и *обратным* (от конечной точки к начальной). В связи с этим различают *прямые* и *обратные углы ориентирования*. Ориентирными углами направления являются: азимут, дирекционный угол, румб.

*Азимут* называют двугранный угол между плоскостью меридиана данной точки и вертикальной плоскостью, проходящей в данном направлении, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки (на рис. 1.11 азимут является угол  $PMD$ ). Азимуты могут иметь значения от 0 до  $360^\circ$ .

Азимут называется *географическим*  $A$ , если он отсчитывается от географического меридиана, и *магнитным*  $A_m$ , если отсчитывается от магнитного меридиана (рис. 1.16, а, б). Так же как и географические координаты, географический азимут — обобщенное понятие *азимута астрономического* и *азимута геодезического*.

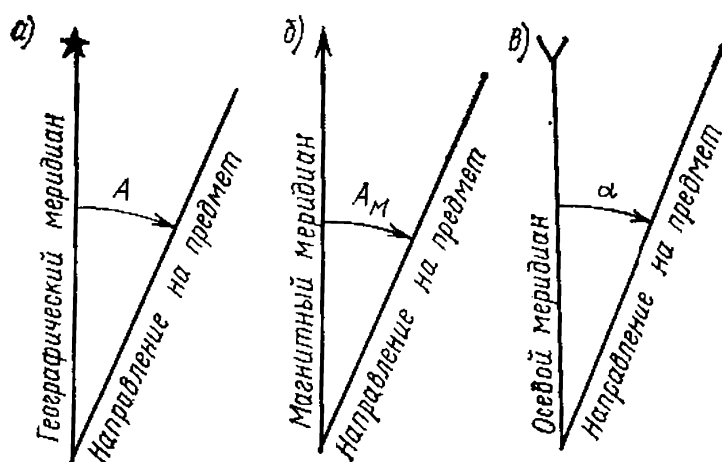


Рис. 1.16. Углы ориентирования



Горизонтальные углы  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  (рис. I.17) являются азимутами линий  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$ .

Если линия  $CЮ$  является географическим меридианом, то и азимуты этих линий будут географическими, если  $CЮ$  — магнитный меридиан, то углы — магнитные азимуты. Так как географические меридианы в общем случае не параллельны между собой, то азимут одной и той же линии в разных ее точках различен.

Так, для линии  $M_1M_2$  (рис. I.18) азимут в точке  $M_1$  равен  $A_1$ , в точке  $M_2$  равен  $A_2$ . Последний отличается от  $A_1$  на величину сближения меридианов  $\gamma$ .

Прямой и обратный азимуты одной и той же линии в разных ее точках ( $A_1$  и  $A'_2$  на рис. I.18) отличаются между собой на  $180^\circ + \gamma$ ; они же в одной и той же точке ( $A_2$  и  $A'_2$ ) различаются на  $180^\circ$ , т. е.  $A'_2 = A_2 + 180^\circ$ ;  $A'_1 = A_1 + 180^\circ$ .

Магнитный меридиан какой-либо точки земной поверхности в общем случае не совпадает с географическим меридианом этой точки. Угол, образованный маг-

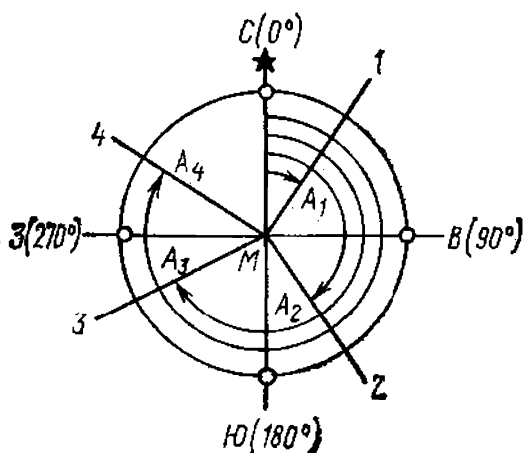


Рис. I.17. Направление отсчетов азимутов

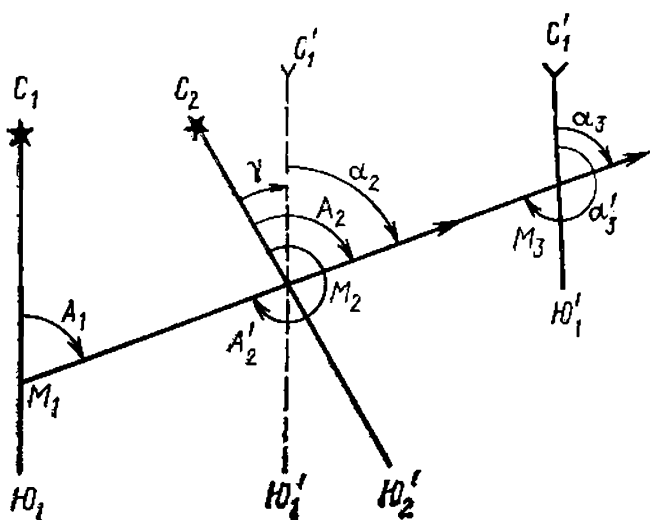


Рис. I.18. Дирекционные углы. Связь дирекционного угла и азимута

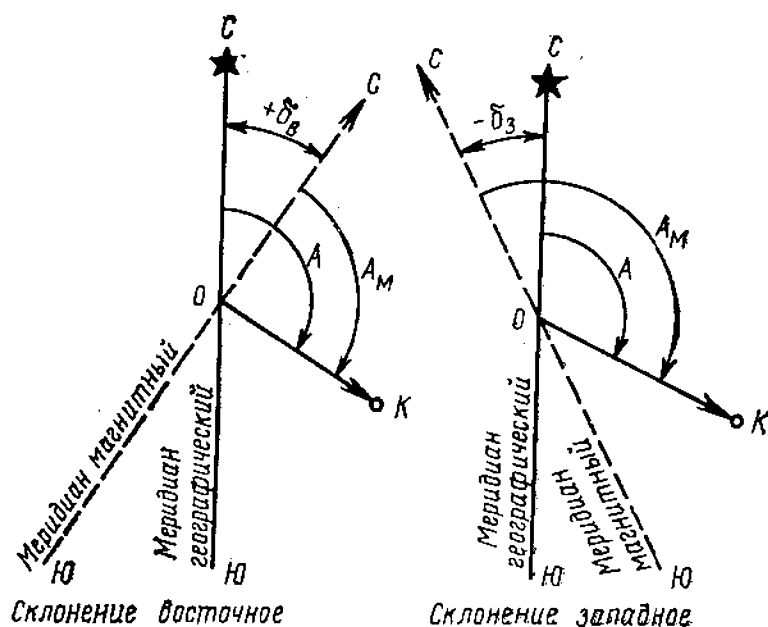


Рис. I.19. Склонение магнитной стрелки

нитным меридианом точки с ее географическим меридианом, называется *склонением магнитной стрелки*. Склонение  $\delta$  (рис. I.19) может быть *восточным* (положительным) или *западным* (отрицательным). Связь между географическим  $A$  и магнитным  $A_m$  азимутами выражается формулой

$$A = A_m + \delta. \quad (I.12)$$

Склонение  $\delta$  изменяется с изменением места и времени (для территории СССР оно колеблется от  $+30$  до  $-14^\circ$ ). Различают *суточные*, *годовые* и *вековые изменения склонения*. В средних широтах СССР суточные изменения не превышают  $15'$ , а вековые — достигают значительных величин, например за 500 лет —  $22,5^\circ$ .

Склонения изменяются также под влиянием магнитных бурь, связанных с полярным сиянием, солнечными пятнами. Правильность показаний магнитной стрелки нарушается в районах залегания магнитных руд или районах магнитных аномалий.

В топографии и геодезии применяется также ориентирование линий относительно осевого меридиана. Угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана (или линии, параллельной ему) до данного на-

правления по ходу часовой стрелки (см. рис. I.16,в), называется *дирекционным углом*  $\alpha$ . Дирекционный угол изменяется от 0 до  $360^\circ$ .

Из данных рис. I.18 видно, что в точке  $M_2$   $A_2 - \alpha = \gamma$ , т. е. разность между географическим азимутом и дирекционным углом какой-либо линии в данной точке равна сближению географического меридиана в этой точке с осевым меридианом. Для точек, расположенных восточнее осевого меридиана, сближение принято считать положительным (в этих точках линии, параллельные осевому меридиану, отклоняются к востоку от географических меридианов, проведенных через те же точки). Для точек, находящихся к западу от осевого меридиана, сближение отрицательное. Зависимость между географическим азимутом и дирекционным углом имеет вид

$$A = \alpha + \gamma. \quad (I.13)$$

Дирекционные углы, измеренные в любой точке данного направления, сохраняют (в отличие от азимутов) свое значение (на рис. I.18  $\alpha_2 = \alpha_3$ ).

Обратный дирекционный угол отличается от прямого на  $180^\circ$  (на рис. I.18  $\alpha_3' = \alpha_3 + 180^\circ$  и  $\alpha_3' = \alpha_2 + 180^\circ$ ).

На основании формул (I.12) и (I.13) можно вывести зависимость между магнитным азимутом  $A_m$  и дирекционным углом  $\alpha$ . Имеем  $\alpha + \gamma = A_m + \delta$ , отсюда

$$\alpha = A_m + (\delta - \gamma), \quad A_m = \alpha - (\delta - \gamma). \quad (I.14)$$

Иногда ориентирование линий удобнее выражать острыми углами — румбами. *Румбом* называют острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до данной линии. Румбы имеют значения от 0 до  $90^\circ$  и сопровождаются названием четверти, в которой проходит линия. На рис. I.20 линии  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$  и  $M4$  соответственно имеют румбы:

$r_1, r_2, r_3, r_4$ .

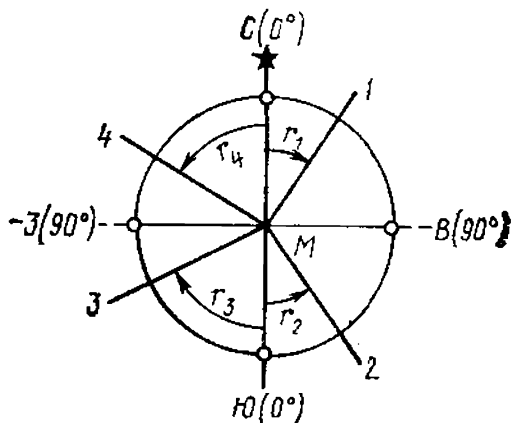


Рис. I.20. Румбы

Таблица 1.3

Четверть	Связь между азимутами и румбами	
I СВ	$A_1=r_1$	$r_1=A_1$
II ЮВ	$A_2=180^\circ-r_2$	$r_2=180^\circ-A_2$
III ЮЗ	$A_3=180^\circ+r_3$	$r_3=A_3-180^\circ$
IV СВ	$A_4=360^\circ-r_4$	$r_4=360^\circ-A_4$

Румбы  $r$  переводятся в азимуты  $A$  и, наоборот, по соотношениям, представленным в табл. 1.3. Такая же зависимость существует между румбами и дирекционными углами.

### § 1.11. Единицы мер, применяемые в топографии и геодезии

При проведении измерительных работ на местности, топографической карте, других материалах применяются меры длины, площади, углов, массы, температуры, времени, давления и др. Измерение любой физической величины заключается в определении отношения этой величины к величине того же рода, принятой за единицу. Число, показывающее, сколько раз единица измерения содержится в измеряемой физической величине, называется *мерой* этой величины. Совокупность единиц физических величин, принятых в государстве для измерения главнейших величин, называется *системой мер*.

*За единицу линейных измерений в геодезии и топографии принят метр (м).*

Первое определение метра как одной десятиллионной части четверти Парижского меридиана было дано в 1791 г. при установлении метрической системы мер. На основании этих измерений в 1799 г. был изготовлен первый эталон метра, переданный на хранение в Национальный архив Франции, в связи с чем он получил название «архивного метра» или «метра Архива».

В соответствии с Метрической конвенцией, принятой в 1875 г. Международной дипломатической конференцией по метру, был изготовлен 31 метр-прототип в виде платино-иридиевых жезлов. Метр № 6 вместе с двумя контрольными копиями хранится в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция). Остальные копии метра распределены по жребию между государ-

ствами. Россия получила два метра-прототипа — № 11, хранящийся в АН СССР, и № 28, хранящийся во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии.

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) приняла решение о введении единой универсальной системы — Международной системы единиц (СИ). В этой системе в качестве основной единицы длины также принят метр. Рост требований к повышению точности измерений привел к тому, что XI ГКМВ отменила определение метра, действующего с 1889 г. и основанного на международном платино-иридиевом эталоне, и ввела определение «светового» метра, выраженного в длинах световых волн.

На XVII ГКМВ в октябре 1983 г. принято новое определение метра. Установлено, что метр (м) равен расстоянию, проходимому в вакууме плоской электромагнитной волной за  $1/299\,792\,458$  долей секунды. Кратными и дольными единицами метра являются: 1000 метров, составляющих 1 километр (км), 0,1 метра — дециметр (дм), 0,01 метра — сантиметр (см), 0,001 метра — миллиметр (мм).

Система СИ в качестве единицы измерения плоского угла рекомендует радиан (рад), равный углу, заключенному между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Наравне с радианом допускается применять градусные единицы угловых измерений: градус ( $1^\circ$ ), величину которого получают в результате деления прямого угла на 90 равных частей, минута ( $1'$ ) и секунда ( $1''$ );  $1^\circ = 60' = 3600''$ ,  $1' = 60''$ . Зависимость между радианами и угловыми единицами следующая:  $1 \text{ рад} = 57,3^\circ = 3438' = 206\,265''$ .

Единицей измерения площади является квадратный метр ( $\text{м}^2$ ); кратные и дольные единицы: квадратный километр ( $\text{км}^2$ ), квадратный дециметр ( $\text{дм}^2$ ), квадратный сантиметр ( $\text{см}^2$ ), квадратный миллиметр ( $\text{мм}^2$ ). Для измерения площади земельных участков допускается применять единицу измерения гектар (га).

Единица измерения времени — секунда (с), массы — килограмм (кг), силы — ньютон (Н), давления — паскаль (Па), температуры — кельвин (К) и др.

Наряду с температурной шкалой ( $T$ ) для определения температуры в кельвинах применяется и шкала Цельсия ( $t$ ). Соотношение между значениями темпера-

туры, выраженной в кельвинах и градусах Цельсия, следующее:  $t = T - 273,15$ .

Международная система единиц не допускает измерения давления в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.), как это было принято ранее. Однако в связи с тем, что еще достаточно широко применяются на практике приборы со шкалой в мм рт. ст., следует помнить, что  $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па} = 0,133 \text{ кПа}$ .

За единицу измерения частоты периодических (модулированных) электромагнитных (световых) колебаний принят герц (Гц);  $1 \text{ МГц} = 10^6 \text{ Гц}$ . За период звуковых колебаний принята секунда (с).

## ГЛАВА II

### ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

#### § II.1. Измерения и их классификация

Все физические величины, используемые в топографо-геодезической практике, можно разделить на *измеренные* и *вычисленные*, т. е. полученные как функции измеренных величин.

Для измерения необходимы объект измерения (измеряемая величина), измерительный прибор и исполнитель. Кроме того, все измерения производят в той или иной среде и определенным методом. Названные факторы образуют условия измерений. Принято объект измерения в процессе работы считать неизменным.

Измерительные приборы, используемые в топографо-геодезическом производстве, можно разделить на три основных класса: 1) *высокоточные* (прецизионные), 2) *точные* и 3) *технические*. Класс применяемых для измерений приборов в основном определяет точность результатов измерений. Она зависит и от количества выполненных приемов в процессе измерений. По точности результаты измерений делят на *равноточные* и *неравноточные*.

*Равноточными* называют однородные результаты, полученные при измерениях одним и тем же прибором (или разными приборами, но одного и того же класса точности), одним и тем же (или равноценными) методом и в одинаковых условиях. При нарушении перечис-

ленных условий результаты измерений называют *неравноточными*. В более сложных случаях о равноточности или неравноточности результатов измерений судят по полученным из опыта числовым критериям точности.

При математической обработке результатов топографо-геодезических измерений важное значение имеют понятия о необходимом и избыточном числе измерений. Так, для определения всех шести элементов плоского треугольника достаточно измерить не менее трех его элементов, в числе которых должна быть хотя бы одна сторона. В общем случае для решения любой топографо-геодезической задачи необходимо измерить некоторое минимальное число величин, обеспечивающее решение поставленной задачи. Их называют *числом необходимых величин* или *измерений*. Разность  $k$ , получаемую при вычитании числа  $t$  необходимых величин из числа  $n$  всех измеренных величин, называют *числом избыточных величин*, т. е.  $k = n - t$ .

В топографо-геодезической практике избыточные измеренные величины обязательны. Они позволяют обнаруживать ошибки (погрешности) в измерениях и вычислениях и повышают точность определяемых величин.

При измерении одной величины необходимо одно измерение, остальные измерения — избыточные.

## § II.2. Погрешности измерений

Существование действительного, или истинного, значения  $X$  измеряемой величины считается неотъемлемым условием любого измерения. Результаты измерений, как правило, отличаются от истинного значения измеряемой величины. Разность между результатом измерения  $x$  и истинным значением  $X$  измеряемой величины называется *истинной погрешностью*  $\Delta$ , т. е.

$$\Delta = x - X.$$

По происхождению погрешности измерений делят на инструментальные, личные, внешние и методические.

*Инструментальные погрешности* обусловлены влиянием конструкции измерительных мер и приборов, погрешностями градуировки их шкал, износом и т. д.

*Личные погрешности* (их часто называют субъективными) вызываются особенностями наблюдателя, несо-

вершенством органов чувств, особенностями организма и т. д.

*Внешние погрешности* связаны с непостоянством свойств среды, в которой осуществляется процесс измерений (изменения температуры, влажности, давления воздуха и т. д.).

*Методические погрешности* возникают из-за недоучета условий измерений и закономерностей их изменений, приближенности некоторых формул и др.

Измерения считаются пригодными или выполненными правильно, если погрешности их результатов не превышают некоторой допустимой величины. В противном случае измерения относятся к неправильным. Результаты таких измерений сопровождаются *грубыми ошибками* или *промахами*. Для исключения ошибок и повышения точности измерений производят контрольные измерения. Грубые ошибки могут быть и в вычислениях.

При отсутствии в результатах измерений грубых ошибок истинная погрешность  $\Delta$  состоит из двух частей: систематической (или функциональной) погрешности  $\Delta'$  и случайной (или стохастической) погрешности  $\Delta''$ , т. е.  $\Delta = \Delta' + \Delta''$ .

*Систематические погрешности* входят в каждый результат измерений по строго определенному закону и делятся на *постоянные* (неизменные по знаку и величине) и *переменные* (изменяющие свою величину от одного измерения к другому по определенному закону). Такие погрешности должны быть обнаружены, изучены и исключены из результатов измерений путем введения соответствующих поправок или использования соответствующей методики измерений.

*Случайные погрешности* носят случайный характер и их возникновение не подчиняется определенным математическим законам. Такие погрешности связаны статистической закономерностью (закономерностью массовых явлений).

### **§ II.3. Математическая обработка результатов равноточных измерений одной величины**

Пусть некоторая величина с истинным значением  $X$  измерена равноточно  $n$  раз и получены результаты  $x_i$  ( $i=1, n$ ), которые часто называют *рядом измерений*. Требуется найти наиболее надежное значение измерен-



ной величины, которое называют *вероятнейшим*, и оценить точность результата.

В теории погрешностей наиболее вероятным значением для ряда равноточных результатов измерений принимают *среднее арифметическое*, т. е.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (\text{II.1})$$

При отсутствии систематических погрешностей арифметическое среднее по мере неограниченного возрастания числа измерений стремится к истинному значению измеряемой величины. Чтобы избежать действий с большими числами, на практике очень часто арифметическую среднюю вычисляют способом условного нуля по формуле

$$\bar{x} = x_0 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i,$$

где  $x_0$  — величина, близкая к  $x$ , выраженная обычно круглым числом, а  $\delta_i = x_i - x_0$ .

Если арифметическая средняя вычислена правильно и ее значение взято без округлений, то

$$\sum_{i=1}^n \delta_i = 0, \quad (\text{II.2})$$

где величины

$$\delta_i = x_i - \bar{x} \quad (\text{II.3})$$

называются *уклонениями, вероятнейшими погрешностями или флюктуациями*.

Если величина  $\bar{x}$  получена с округлением, то в правой части равенства (II.2) получим не нуль, а величину, равную  $n\omega$ , где  $\omega$  — *погрешность округления*.

В топографо-геодезических измерениях в качестве критериев точности применяют в основном *среднюю квадратическую погрешность* и *относительную погрешность*. Последняя представляет собой отношение соответствующей *абсолютной погрешности* (истинной, средней квадратической) к полученному значению измеренной величины. Относительную погрешность представляют в виде дроби с числителем, равным единице.

Наиболее часто применяют среднюю квадратическую погрешность. Если известно истинное значение измеряемой величины, а систематическая погрешность пренебрежимо мала, то средняя квадратическая погрешность  $m$  отдельного результата равноточных измерений определяется по формуле Гаусса:

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2},$$

где  $\Delta_i$  — истинная погрешность.

Однако в топографо-геодезической практике истинное значение измеряемой величины в подавляющем большинстве случаев заранее неизвестно. Тогда для определения средней квадратической погрешности отдельного результата измерений используют формулу Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (\text{II.4})$$

где вероятнейшие погрешности  $\delta_i$  определяются по формуле (II.3).

Для определения средней квадратической погрешности арифметической средней пользуются формулой

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (\text{II.5})$$

Следовательно, средняя квадратическая погрешность средней арифметической в  $\sqrt{n}$  раз меньше средней квадратической погрешности отдельного результата измерений.

Относительные погрешности для одного результата измерений

$$f_{\text{отн}} = \frac{m}{x} = \frac{1}{x:m}, \quad (\text{II.6})$$

для средней арифметической

$$\bar{f}_{\text{отн}} = \frac{M}{x} = \frac{1}{x:M}. \quad (\text{II.7})$$

Применительно к конкретным условиям измерений указывают критерий отбраковки их результатов. В качест-

ве такого критерия часто принимают *предельную погрешность*, определяемую формулой

$$\bar{f}_{\text{пр}} = 3m. \quad (\text{II.8})$$

Иногда при более ответственных измерениях принимают

$$\bar{f}_{\text{пр}} = 2m.$$

**Пример.** В результате шести измерений длины линии на местности получены значения, приведенные в табл. II.1. Требуется найти среднее арифметическое этих результатов и оценить точность отдельного результата измерений и среднего арифметического.

Таблица II.1

№ измерений	Измеренное значение линии $\bar{s}_i$ , м	$\delta = s_i - \bar{s}$ , см	$\delta^2$ , см <sup>2</sup>
1	56,26	+2	4
2	56,23	-1	1
3	56,24	0	0
4	56,26	+2	4
5	56,22	-2	4
6	56,23	-1	1
$\Sigma$	337,44	0	14

По формулам (II.1), (II.4), (II.5) и данным табл. II.1 получаем:

среднее арифметическое  $\bar{s} = 337,44/6 = 56,24$  м;

средняя квадратическая погрешность одного измерения  $m = \sqrt{14/(6-1)} = 1,67$  см

средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения измеряемой величины  $M = 2,8/\sqrt{6} = 0,69$  см.

При линейных измерениях окончательная точность их результатов характеризуется относительной погрешностью. Поэтому по формулам (II.6) и (II.7) получаем:

$$f_{\text{отн}} = 1,67/5624 = 1/3367 \approx 1/3400,$$

$$f_{\text{отн}} = 0,69/5624 = 1/8150 \approx 1/8000.$$

Предельная погрешность одного измерения по формуле (II.8) будет  $\bar{f}_{\text{пр}} = 3 \cdot 1,67 = 5,01$  см.

В нашем примере наибольшее уклонение  $\delta=2$  см. Следовательно, измерения выполнены правильно, т. е. без грубых ошибок.

Если какие-либо однородные величины измерены только 2 раза (что достаточно часто встречается в практике топографо-геодезических работ), то точность таких измерений может быть оценена вычислением относительной погрешности и сравнением ее с допустимым значением, т. е.

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x} \cdot f_{\text{абс}}}, \quad (\text{II.9})$$

$$\text{где} \quad f_{\text{абс}} = |x_1 - x_2|, \quad \bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2}; \quad (\text{II.10})$$

$$f_{\text{отн}} \leq f_{\text{отн.доп.}} \quad (\text{II.11})$$

**Пример.** Для некоторой линии местности в результате измерений получены два значения ее длины:  $s_1 = 172,68$  м и  $s_2 = 172,62$  м; известно также, что  $f_{\text{отн.доп.}} = 1/2000$ . В этом случае

$$f_{\text{абс}} = 172,68 \text{ м} - 172,62 \text{ м} = 0,06 \text{ м},$$

$$\bar{s} = (172,68 \text{ м} + 172,62 \text{ м})/2 = 172,65 \text{ м},$$

$$f_{\text{отн}} = 1/(172,65 \text{ м} : 0,06 \text{ м}) = 1/2880 < 1/2000.$$

Вычисленная относительная погрешность меньше допустимой величины, следовательно, измерения длины линии проведены правильно.

## § II.4. Математическая обработка результатов неравноточных измерений одной величины

Для обработки результатов неравноточных измерений вводят понятие о *весе измерения*. Вес определяет степень надежности результатов измерений. Чем надежнее результат, тем больше его вес. За вес результата измерения  $p$  принимают величину, обратно пропорциональную квадрату средней квадратической погрешности, т. е.  $p = c/m^2$ , где  $c$  — некоторая постоянная величина для данного ряда измерений.

Если обозначить через  $P$  вес арифметического среднего, полученного из  $n$  измерений, то можно написать

$$P/p = m^2/M = \frac{m^2}{(\bar{m}/\sqrt{n})^2} = n,$$

т. е. вес арифметического среднего в  $n$  раз больше веса одного результата измерения.

Часто принимают вес результата, полученного из одного измерения, равным единице, а результат, найденный из  $n$  таких приемов, равным  $n$ .

Пусть некоторая величина  $X$  измерена  $n$  раз в различных условиях. При этом получены значения  $x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) с весами  $p_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) соответственно. Тогда наиболее вероятным значением будет весовое среднее или общее арифметическое среднее, вычисленное по формуле

$$\bar{x}_0 = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}. \quad (\text{II.12})$$

Средняя квадратическая погрешность  $\mu$ , соответствующая результату измерения, вес которого принят равным единице, или так называемая *средняя квадратическая погрешность единицы веса*, определяется формулой

$$\mu = \sqrt{\frac{p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + \dots + p_n v_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i v_i^2}, \quad (\text{II.13})$$

где  $v_i = x_i - \bar{x}_0$ .

Средняя квадратическая погрешность весового среднего или общей арифметической средней будет

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{P}}, \quad (\text{II.14})$$

где 
$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (\text{II.15})$$

**Пример.** Требуется определить весовое среднее, среднюю квадратическую погрешность единицы веса и среднюю квадратическую погрешность весового среднего по данным табл. II.2.

Таблица II.2

№ измерения	Значение измеренного угла	Число измерений $n$	$p = \frac{n}{3}$	$v$	$v^2$	$p v^2$
1	73°08'10''	3	1	+6	36	36
2	73°08'06''	9	3	+2	4	12
3	73°08'08''	6	2	+4	16	32
4	73°08'00''	15	5	-4	16	80
5	73°08'04''	12	4	0	0	0
	$\bar{\beta}$ 73°08'04''		$\Sigma 15$			160

По формулам (II.12), (II.13) и (II.14) получаем

$$\bar{\beta} = 73^{\circ}08' + \frac{10'' \cdot 1 + 6'' \cdot 3 + 8'' \cdot 2 + 0'' \cdot 5 + 4'' \cdot 4}{1 + 3 + 2 + 5 + 4} = 73^{\circ}08'04'';$$

$$\mu = \sqrt{\frac{160}{5-1}} = 6,3''; \quad M_0 = \frac{6,3''}{\sqrt{15}} = 1,6''.$$

Примечание. При вычислении  $\bar{\beta}$  по формуле (II.12) использован способ условного нуля, в приведенном примере  $\beta_0 = 73^{\circ}08'$ .

## § II.5. Основы геодезических вычислений

Вычисления — составная часть геодезических работ. В результате геодезических измерений и последующих вычислений получают координаты точек, горизонтальные проложения линий местности, отметки высоты и другие данные.

При вычислениях важно установить порядок (алгоритм) математических действий и выбрать необходимое техническое средство (вычислительное устройство).

К техническим средствам относятся электронные вычислительные машины (ЭВМ), настольные вычислительные машины, микрокалькуляторы, счетные линейки, счеты, математические таблицы, графики (номограммы).

Выбор технических средств вычислений зависит от сложности, объема работ и заданной точности конечного результата. Ряд задач можно решать с помощью простейших вычислительных средств, таких, как счеты, таблицы, логарифмические линейки, арифмометры, электронные клавишные машины.

На логарифмической линейке можно решать задачи с точностью до трех значащих цифр. С этой же целью можно использовать номограммы. По таблицам можно находить значения тригонометрических функций, преращения координат, превышения и др.

Самым мощным средством вычислений являются ЭВМ, которые можно подразделить на аналоговые, цифровые и смешанные. Для геодезических вычислений используют цифровые ЭВМ, в частности ЭВМ единой системы (серии ЕС ЭВМ) и мини-ЭВМ (СМ-4, СМ-1420).

При использовании ЭВМ необходимо иметь программу вычислений, составленную на одном из языков программирования высокого уровня или на языке ассембле-

ра. Программа хранится на внешних носителях (перфоленды, перфокарты, магнитные ленты, магнитные диски) и перед выполнением вычислений вводится вместе с исходными данными в оперативную память ЭВМ. Результаты вычислений выводятся на внешние носители (бумагу, магнитные ленты и т. п.).

На магнитную ленту результаты выводятся для последующего хранения, а также в случае, если полученные результаты требуют дальнейшей обработки. Например, если результаты вычислений координат и отметок точек при топографической съемке ввести вместе с соответствующей программой в устройство ввода ЭВМ, связанной с графопостроителем, то графопостроитель автоматически составит топографический план в заданном масштабе и с заданным сечением горизонталей. Следует отметить, что экономически целесообразно применять ЭВМ только в тех случаях, когда предстоит значительный объем вычислений по одной программе, поскольку составление программы может потребовать значительного времени (иногда нескольких недель и даже месяцев); для составления и отладки программы следует составить алгоритмы и решить поставленную задачу другими, более простыми способами.

*Алгоритм* — это порядок логической последовательности операций при решении всех задач данного типа, где задается также количество значащих цифр измеренных величин, точность вычислений, нужные параметры для вывода на печать и др. Алгоритм составляется геодезистом совместно с программистом.

При геодезических измерениях и вычислениях обычно оперируют с приближенными числами, поэтому важно при различных операциях устанавливать соответствующее количество значащих цифр. Например, измерены горизонтальное расстояние  $s=104,5$  м и угол наклона  $v=+5^{\circ}30'$  на определяемую точку. Требуется найти превышение по формуле

$$h = s \operatorname{tg} v. \quad (\text{II.16})$$

Необходимо решить, какими таблицами тригонометрических функций можно пользоваться, если превышение достаточно вычислить с точностью до 0,1 м? Общее правило таково: в ответе число значащих цифр не должно быть больше, чем у приближенного числа с самым малым числом значащих цифр, а из таблиц целесооб-



Рис. II.1. Микрокалькулятор:

Индикация: 1 — кода введенной команды, 2 — кода предыдущей команды, 3 — кода команды с адресом меньше на два, 4 — адреса введенной команды

при геодезических вычислениях имеют программируемые микрокалькуляторы, имеющие запоминающее устройство. Это позволяет составить для них программы и выполнять решения соответствующих геодезических задач. К таким микрокалькуляторам относятся БЗ-21, БЗ-24, МК-54 (рис. II.1).

Например, необходимо вычислить на микрокальку-

разно выбрать значение  $v$  на одну значащую цифру больше, чтобы в процессе вычислений не возникла погрешность за счет округления табличного значения. Переведем  $5^{\circ}30'$  в минуты: получим  $330'$  — три значащих цифры. Следовательно, достаточно из таблиц брать значение угла  $v$  с четырьмя значащими цифрами, т. е.  $\text{tg } 5^{\circ}30' = 0,09629$ . В результате вычислений на микрокалькуляторе получим  $h = \text{stg } v = 104,5 \times 0,09629 = 10,06$  м. По правилам вычислений с приближенными числами в результате округления получим  $h = +10,1$  м.

В последнее время получили широкое распространение различные микрокалькуляторы. Простейшие из них выполняют только четыре арифметических действия, более сложные дают значения тригонометрических функций, логарифмов и т. д. Наибольшее значение



ляторе МК-54<sup>1</sup> приращения координат для теодолитного хода. Исходными данными являются дирекционные углы и горизонтальные проложения измеренных расстояний. При вычислении приращений по приведенной программе предусмотрено вычисление приращений  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , сумм приращений и проложений, необходимых для последующего уравнивания. Порядок организации программного вычисления представлен в виде табл. II.3.

Таблица II.3

№ п/п	Содержание управляющих команд	Клавиши на микрокалькуляторе
1	Выход в режим программирования	В/О F, ВП
2	Набор текста программы	Табл. II.4
3	Выход на режим работы	F, АВТ

Клавиши В/О, F, ВП нажимаются для выхода микрокалькулятора в режим программирования. После этого набирается программа (табл. II.4).

Контролем правильности ввода программы является соответствие адресов и кодов команд программы, высветившихся на дисплее микрокалькулятора. Например, после ввода команды 5 на дисплее микрокалькулятора будут индцированы команды, соответствующие данному адресу (рис. II.1), где 42 — код данной команды, 41,00 — код предыдущей команды.

Затем нажатием F, АВТ микрокалькулятор настраивается на режим ввода исходных данных (выход на режим работы).

Текст программы, представленной в табл. II.4, рассчитан на введение дирекционных углов в градусах и минутах, а секунды переводятся оператором в доли минут. Например, угол  $130^{\circ}12'30''$  вводится в виде числа 130, 125. При таком вводе переключатель ГрГР должен стоять в положении Г (градусы). Горизонтальные проложения задаются в метрах и их долях. В регистр 6 предварительно заносится число —1,5, с этой целью набирается число —1,5, а затем нажимаются клавиши  $x \rightarrow П, 6$ .

**Пример.** Найти приращения, длину хода и суммы приращений координат и проложений для исходных данных:

<sup>1</sup> Калькулятор БЗ-34 имеет одинаковую систему команд, но некоторые клавиши имеют другие обозначения.

Адрес	Нажимаемые клавиши	Код	Адрес	Нажимаемые клавиши	Код
00	$x \rightarrow P, 8$	48	27	$F, \sin$	1C
01	$\longleftrightarrow$	14	28	$P \rightarrow x, 4$	64
02	$x \rightarrow P, 9$	49	29	$\times$	12
03	$O$	00	30	$x \rightarrow P, 9$	49
04	$x \rightarrow P, 1$	41	31	$P \rightarrow x, 3$	63
05	$x \rightarrow P, 2$	42	32	$+$	10
06	$x \rightarrow P, 3$	43	33	$x \rightarrow P, 3$	43
07	6	06	34	$P \rightarrow x, 9$	69
08	$x \rightarrow P, d$	4Г	35	$P \rightarrow x, 8$	68
09	$P \rightarrow x, 9$	69	36	$C/P$	50
10	$P \rightarrow x, 8$	68	37	$БП$	51
11	$x \rightarrow P, 4$	44	38	11	11
12	$P \rightarrow x, 1$	61	39	$x \rightarrow P, c$	4C
13	$+$	10	40	$ПП$	53
14	$x \rightarrow P, 1$	41	41	49	49
15	$\longleftrightarrow$	14	42	$P \rightarrow x, c$	6C
16	$ПП$	53	43	$-$	11
17	39	39	44	$K, P \rightarrow x, d$	ГГ
18	$x \rightarrow P, 7$	47	45	$\div$	13
19	$F, \cos$	1Г	46	$P \rightarrow x, c$	6C
20	$P \rightarrow x, 4$	64	47	$+$	10
21	$\times$	12	48	$B/O$	52
22	$x \rightarrow P, 8$	48	49	$x \rightarrow P, 7$	47
23	$P \rightarrow x, 2$	62	50	$K, P \rightarrow x, 7$	Г7
24	$+$	10	51	$P \rightarrow x, 7$	67
25	$x \rightarrow P, 2$	42	52	$B/O$	52
26	$P \rightarrow x, 7$	67			

$$\alpha_{1,2}=10,102;$$

$$s_{1,2}=120,57 \text{ м}$$

$$\alpha_{2,3}=30,305;$$

$$s_{2,3}=151,65 \text{ м}$$

Нажимаемые клавиши представлены в табл. II.5.

После нажатия клавишей (табл. II.5)  $B/O$ ,  $C/P$  на дисплее индицируется приращение  $\Delta x_1$  (118,67...), при нажатии клавиши  $\longleftrightarrow$  индицируется приращение  $\Delta y_1$  (21,28...). При нажатии клавиши  $C/P$  индицируется  $\Delta x_2$  (130,65...), при нажатии  $\longleftrightarrow$  индицируется  $\Delta y_2$  (76,987).

Последующими нажатиями клавишей  $P \rightarrow x, 1$ ;  $P \rightarrow x, 2$ ;  $P \rightarrow x, 3$  соответственно индицируются сумма сторон  $\Sigma s$  (272,22...), суммы приращений  $\Sigma \Delta s$  (249,330...),  $\Sigma \Delta y$  (98,276...).

При использовании микрокалькуляторов других типов следует ознакомиться с их системой команд и в соответствии с инструкцией данного калькулятора составить заданную программу, которую следует отладить на известном примере.

Наименование вводимых данных	Нажимаемые клавиши	Индикация
Управляющий коэффициент	$-1,5$	$-1,5$
Ввод в регистр $b$	$x \rightarrow P, 6$	$-1,5$
Ввод дирекционного угла $\alpha_{1,2}$	$10,102$	$10,102$
Ввод в регистр $y$	$B \uparrow$	$10,102$
Ввод длины линий $s_{1,2}$	$120,57$	$120,57$
Программный счет	$B/O, C/P$	
Приращение $\Delta x$		$118,67563$
Приращение $\Delta y$	$\longleftrightarrow$	$21,28897$
Ввод дирекционного угла $\alpha_{2,3}$	$30,305$	$30,305$
Ввод в регистр $y$	$B \uparrow$	$30,305$
Ввод длины $s_{2,3}$	$151,65$	$151,65$
Программный счет	$C/P$	
Приращение $\Delta x$		$130,65487$
Приращение $\Delta y$	$\longleftrightarrow$	$76,98720$
Сумма длины линий $\Sigma s$	$P \rightarrow x, 1$	$272,22000$
Сумма приращений $\Sigma \Delta x$	$P \rightarrow x, 2$	$249,33049$
Сумма приращений $\Sigma \Delta y$	$P \rightarrow x, 3$	$98,27612$

## ГЛАВА III

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ СССР

### § III.1. Основные свойства картографического изображения земной поверхности.

#### Предъявляемые к нему требования

Картографическое изображение, одним из видов которого (наряду с глобусами, рельефными картами и др.) является карта, обладает рядом свойств. Среди них следует прежде всего назвать такие, как наглядность и измеримость карты. *Наглядность карты* обеспечивает зрительное восприятие образа земной поверхности или отдельных ее участков, их характерных черт и особенностей. *Измеримость* следует понимать как возможность получать по карте количественные характеристики изображенных на ней объектов на основе определенных измерительных действий.

Наглядность и измеримость карты обуславливаются: 1) наличием математически определенной связи между многомерными объектами окружающего нас мира и их плоским картографическим изображением; она осуществляется с помощью *картографических проекций*; 2) известной степенью уменьшения линейных размеров изображенных объектов, которая зависит от *масштаба*;

3) выделением типических черт местности, определяющих ее отличительные особенности, путем *картографической генерализации*; 4) применением для изображения земной поверхности особой знаковой системы — *картографических условных знаков*.

Одно из основных требований, предъявляемых к карте, — сохранение *географического соответствия* между картографическим изображением и реальной действительностью, отображение ее главных, типических черт, пространственных взаимосвязей объектов, географической специфики конкретной территории.

Чтобы обеспечить высокую степень измеримости, карта должна обладать достаточной для конкретных целей *геометрической точностью*, под которой понимается соответствие местоположения, очертаний и размеров объектов на карте и в действительности. Чем меньше изображаемый участок земной поверхности при сохранении размеров карты, тем выше ее геометрическая точность.

Карта должна быть *достоверной*, т. е. сведения, составляющие ее содержание на определенную дату, должны быть правильными, должна быть также *современной*, соответствовать современному состоянию изображенных на ней объектов. Современность наряду с достоверностью можно рассматривать и как свойство конкретной карты. Важная характеристика карты — *полнота содержания*, которая включает объем содержащихся в ней сведений, их разносторонность.

Карты классифицируют по содержанию, масштабу, назначению, территориальному охвату. Среди их многообразия выделяют *группу общегеографических карт*, отображающих совокупность основных *элементов местности* (участков земной поверхности): природных (рельеф, гидрография, растительный покров и грунты) и социально-экономических (населенные пункты, промышленные, сельскохозяйственные, социально-культурные и другие объекты, дорожная сеть и др.).

*Элементами карты*, ее составными частями, являются: *математическая основа*, включающая масштаб, геодезическую основу и картографическую проекцию; *содержание*, под которым понимается совокупность показанных объектов и сообщаемых сведений; *вспомогательное оснащение* (название, легенда — свод условных знаков и пояснений, раскрывающих их содержание, различные графики, справочные данные и др.).

### § III.2. Отличительные особенности топографических карт

*Топографические карты и планы* по содержанию относятся к общегеографическим картам, по назначению они многоцелевые, так как используются при решении самых разных народнохозяйственных и научных задач, задач обороны страны и др.; по территориальному охвату это, в основном, карты отдельных государств.

Топографические карты *многолистные*, состоят из некоторого количества листов, размеры которых удобны для практического пользования, а также издания. В соответствии с предъявляемыми требованиями топографические карты отличаются высокой геометрической точностью и географическим соответствием. Это обеспечивается их масштабом, геодезической основой, картографическими проекциями и системой условных знаков: изображение местности на них дается с возможной полнотой, подробностью и достоверностью.

### § III.3. Математическая основа

Государственные топографические карты СССР издаются в масштабах 1:1 000 000 и крупнее. Они составляют единый стандартный набор — *масштабный ряд* — 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000. Для нужд картографического производства издается также карта масштаба 1:300 000. Планы создаются в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Принятый масштабный ряд имеет коэффициент перехода от масштаба к масштабу (2,0—2,5). Коэффициент перехода обеспечивает соразмерность разномасштабных карт и планов, упрощает их сопоставление и сведение в единую систему.

Чаще всего карты масштаба 1:200 000 и крупнее относят к *крупномасштабным*, 1:1 000 000—1:300 000 к *среднемасштабным*. Однако существуют и другие классификации. Например, в военной топографии карты масштаба 1:1 000 000—1:500 000 отнесены к *мелкомасштабным*.

*Геодезическая основа* топографических карт и планов (в дальнейшем называемым, в основном, просто картами) включает такие элементы, как размеры земного эллипсоида, начало координат и высот, опорная геодезическая сеть (рассматривается в § VII.3). Как

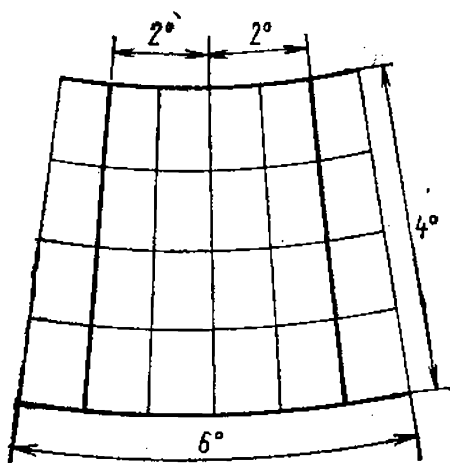


Рис. III.1. Схематическое изображение листа карты масштаба

1:1 000 000. Утолщенными линиями даны меридианы и параллели, по которым сохраняется масштаб длин

указывалось ранее (см. § I.1), в СССР для топографо-геодезических работ принят эллипсоид Красовского. Началом координат является центр круглого зала главного здания Пулковской обсерватории. Счет высот ведется от нуля Кронштадтского футштока.

Выбор картографической проекции определяется задачами — свести искажения за счет проектирования земной поверхности на плоскость к такому минимуму, при котором искажения практически не ощутимы, т. е. не влияют на точность измерений по картам.

Топографическая карта в масштабе 1:1 000 000 создается в *поликонической видоизмененной проекции, применяемой как многогранная*. При использовании этой проекции вся поверхность земного эллипсоида разбивается меридианами и параллелями на сферические трапеции размером  $6^\circ$  по долготе и  $4^\circ$  по широте. Каждая из трапеций затем проектируется на плоскость. При этом крайние меридианы изображаются прямыми, а трапеции принимают вид граней многогранника. Масштаб листа карты сохраняется постоянным по меридианам, отстоящим от среднего на  $2^\circ$ , а также по крайним параллелям (рис. III.1). Средний меридиан на листах для территории СССР короче его действительной длины в масштабе карты на величину, не превышающую 0,19 мм, максимальное искажение длин не более 0,10%, площадей 0,14%, углов  $5'$ , что практически не ощущается и позволяет считать масштаб постоянным во всех частях листа карты.

Выбор поликонической видоизмененной проекции обусловлен активной поддержкой Советским Союзом идеи создания Международной карты мира. Идея создания такой карты была выдвинута еще в конце прошлого века. Масштаб карты (1:1 000 000), проекция, размеры отдельных листов, система их обозначений, содержание и другие элементы были утверждены Меж-

дународным географическим конгрессом, проходившим в 1909 г. в Лондоне. Советская карта масштаба 1:1 000 000 создается с учетом рекомендаций, принятых лондонским конгрессом, и последующих международных соглашений.

Карты масштаба 1:500 000 и крупнее создаются в *равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса*. К. Ф. Гаусс (1777—1855) — немецкий ученый, разработавший общую теорию равноугольных проекций. Эту проекцию называют также проекцией Гаусса — Крюгера. Л. Крюгер (1857—1923) — немецкий ученый, рассчитавший рабочие формулы равноугольной поперечно-цилиндрической проекции. Применение этой проекции позволяет получить практически без ощутимых искажений изображение довольно больших участков земной поверхности, обеспечивает возможность построения на такой территории системы плоских прямоугольных координат. Система плоских прямоугольных координат является наиболее простой и удобной при проведении топографо-геодезических работ.

Изображение земного эллипсоида в проекции Гаусса можно получить следующим образом. Эллипсоид вписывается в цилиндр так, чтобы один из меридианов оказался касательной к его боковой поверхности, а плоскость экватора совместилась с осью цилиндра. Проектирование осуществляется с соблюдением условия: каждая бесконечно малая фигура на эллипсоиде сохраняет свою форму на проекции. Этим достигается равенство углов на местности и карте. После проектирования поверхность цилиндра легко развернуть на плоскость, разрезав цилиндр по образующим, касательным земных полюсов. На полученном изображении земного полушария (полушария Земли) (рис. III.2) меридиан касания и экватор изображаются прямыми, остальные меридианы и параллели — криволинейны. Масштаб изображения сохраняется по касательному меридиану, в прилегающих к нему участках искажения минимальны, но быстро нарастают с удалением от него (это видно по увеличению расстояния между меридианами, проведенными на рисунке через одинаковые десятиградусные интервалы).

Расчеты позволяют определить размеры участков земного эллипсоида, которые в рассматриваемой проекции будут практически свободны от искажений. В Советском Союзе при создании карт масштаба 1:10 000 и мель-

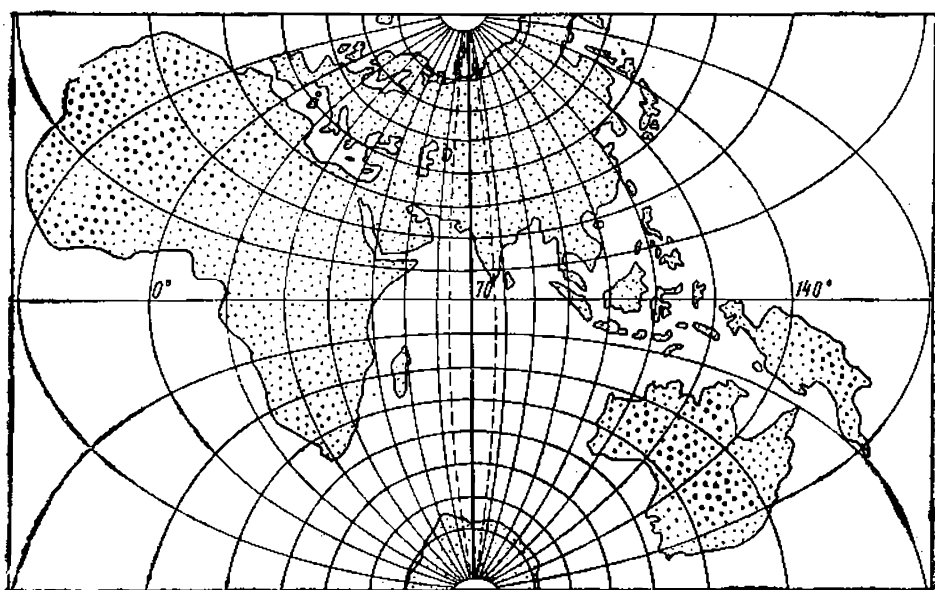


Рис. III.2. Изображение половины земного эллипсоида в проекции Гаусса (штриховой линией ограничен участок с практически неощутимыми искажениями)

че проектирование поверхности земного эллипсоида осуществляется по участкам (зонам), которые ограничены

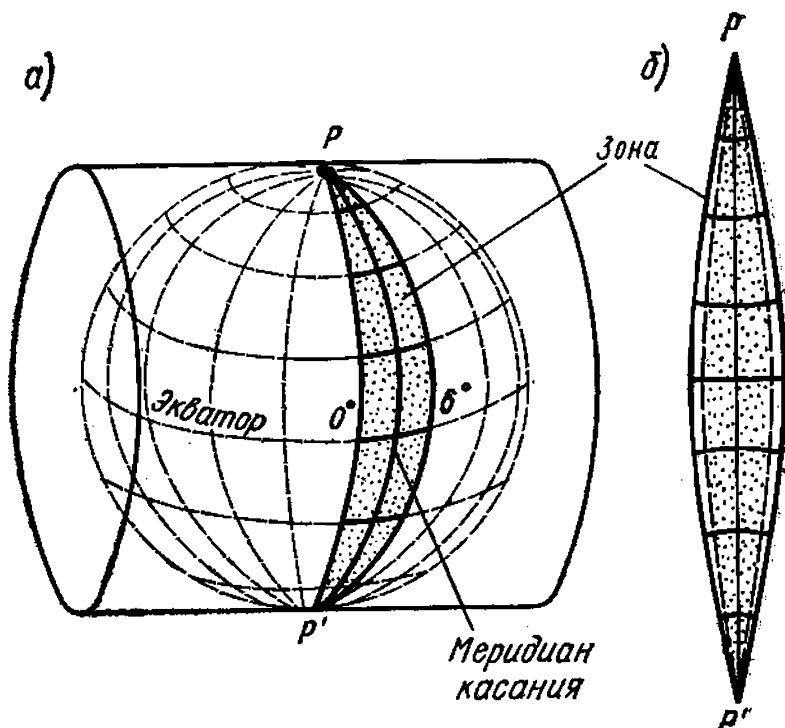


Рис. III.3. Проекция Гаусса:

а — геометрическое представление получения изображения зоны; б — развернутое на плоскости изображение зоны (штриховой линией схематично показаны действительные размеры зоны, сплошной — ее размеры в проекции)



меридианами, отстоящими друг от друга на  $6^\circ$  (рис. III.3,а). Несмотря на то что площадь зоны в проекции несколько преувеличивается (рис. III.3,б), относительное искажение длин в наиболее удаленных от среднего меридиана точках экватора (на границах зоны) составляет  $1/800$ . На территории СССР, расположенного севернее параллели  $35^\circ$ , наибольшее линейное искажение не превышает  $1/1100$ . Предельное искажение площади по линии экватора составляет 0,0027 истинного значения и уменьшается в северном и южном направлениях. Такие искажения не выходят за пределы точности графических построений в указанных выше масштабах. Шестиградусные зоны хорошо согласуются с размерами листов карты масштаба  $1:1\,000\,000$ .

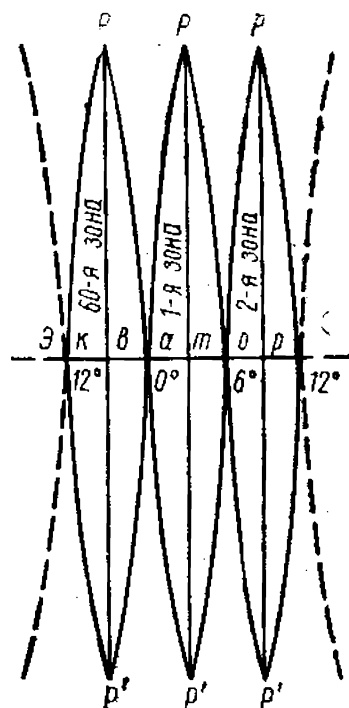


Рис. III.4. Счет зон

Границы зон на поверхности эллипсоида проводятся в системе географических координат. Нулевой (Гринвичский) меридиан является западной границей первой зоны, а меридиан с долготой  $6^\circ$  — восточной. Следующая зона ограничивается меридианами  $6$  и  $12^\circ$  и т. д. (рис. III.4). Всего зон 60, и нумеруются они арабскими цифрами с запада на восток против хода часовой стрелки. Территория Советского Союза располагается в 29 зонах — от 4-й до 32-й.

Для определения долготы меридианов, ограничивающих зону, и среднего меридиана зоны можно воспользоваться формулами:

1) для восточного полушария

$$L_z = 6^\circ(n-1), \quad L_c = 6^\circ n - 3^\circ, \quad L_v = 6^\circ n;$$

2) для западного полушария

$$L_z = 180^\circ - 6^\circ(n-30-1), \quad L_c = 180^\circ - 6^\circ(n-30) + 3^\circ;$$

$$L_v = 180^\circ - 6^\circ(n-30),$$

где  $L_z$  — долгота западной границы зоны;  $L_c$  — долгота среднего меридиана,  $L_v$  — долгота восточной границы зоны,  $n$  — номер зоны.

Искажения, имеющие место в шестиградусных зонах, превышают допустимые пределы при создании карт и планов наиболее крупных масштабов. Для проведения работ в масштабе 1:5000 и крупнее используют трехградусные зоны. Средние меридианы трехградусных зон совпадают со средними меридианами шестиградусных зон или с их крайними (граничными) меридианами. Первая трехградусная и первая шестиградусная зоны имеют один и тот же средний меридиан с долготой  $3^\circ$ , поэтому долготу средних меридианов трехградусных зон можно рассчитать по формуле

$$L_c = 3^\circ n.$$

Линейные искажения в трехградусных зонах на территории СССР не превышают 1/3500.

*Зональная система плоских прямоугольных координат* создается для каждой зоны. Средний меридиан зоны является *осевым*, так как совпадает с направлением оси абсцисс  $XX$ , а линия экватора заменяет ось ординат  $УУ$ . Северное направление оси абсцисс и восточное оси ординат принято считать *положительным*, южное направление абсцисс и западное ординат — *отрицательным*.

Координатная сетка в зоне образуется равноотстоящими взаимно перпендикулярными линиями, проводимыми параллельно осям  $XX$  и  $УУ$ .

Положение какой-либо точки определяется абсциссой  $x$ , равной расстоянию от экватора, и ординатой  $y$ , равной расстоянию от осевого меридиана (рис. III.5,а).

Для территории СССР, расположенной в северном полушарии, абсциссы в такой системе положительные, а ординаты изменяют знак. Это создает затруднения при вычислительных работах. Выход найден в смещении начала отсчета ординат на 500 км к западу от осевого меридиана (рис. III.5,б). Результат: на осевом меридиане все точки имеют ординаты 500 км; точки западнее осевого меридиана имеют положительные значения меньше 500 км; точки в восточной половине зоны определяются положительными ординатами больше 500 км. Координаты, полученные при таком смещении начала отсчета, называются **преобразованными** (условными, приведенными). Ординаты содержат также номер зоны, в которой располагается определяемая точка, чтобы указать ее положение на поверхности эллипсоида. Например,  $y = 5\,364\,704$  означает, что точка находится в пятой зоне, при  $y = 10\,364\,704$  — в десятой.

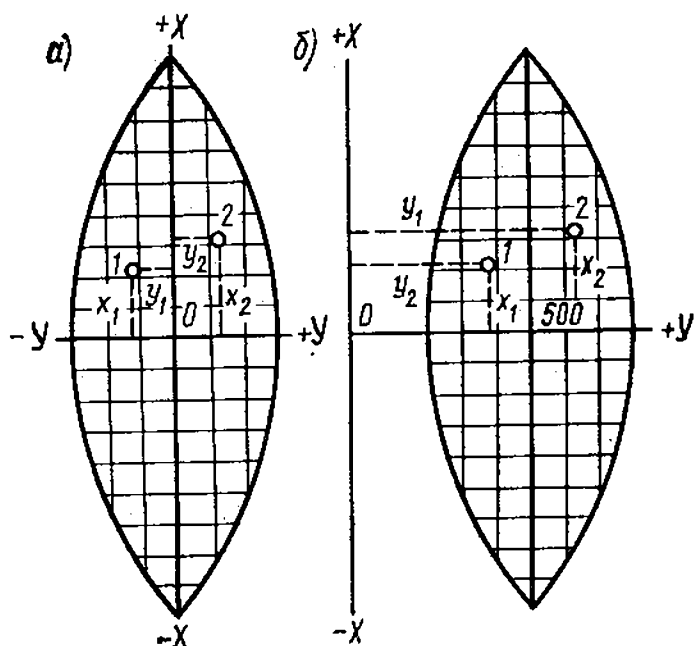


Рис. III.5. Зональная система координат

Затруднения при использовании зональной системы координат возникают в тех случаях, когда топографо-геодезические работы проводятся на приграничных участках, расположенных в двух соседних (смежных) зонах. Координатные линии таких зон располагаются под углом друг к другу (рис. III.6). Для ликвидации возникающих осложнений введена *полоса перекрытия*

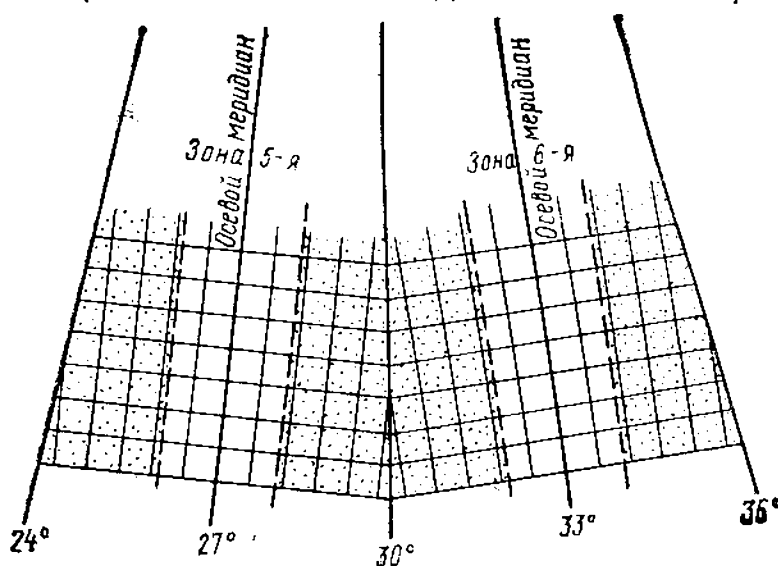


Рис. III.6. Взаимное расположение километровых линий на стыке зон (пунктиром отмечены полосы перекрытия)

зон, в которой координаты точек могут быть вычислены в двух смежных системах. Ширина полосы перекрытия  $4^\circ$ , по  $2^\circ$  в каждой зоне.

Принятая система координат обеспечивает применение на практике относительно небольшого числа зон и единообразие связи между ними. Впервые эта система в СССР была применена в 1928 г., а в 1932 г. утверждена как общегосударственная. С принятием для геодезической основы эллипсоида Красовского она названа системой координат 1942 г.

В пределах зоны проходящие через одну и ту же точку линия координатной сетки, параллельная осевому меридиану (вертикальная линия сетки), и направление географического меридиана не совпадают. Они образуют некоторый угол  $\gamma_r$ , который называется *гауссовым сближением меридианов*. Его значение можно выразить, преобразовав формулу (I.7):

$$\gamma_r = (L_0 - L_T) \sin B,$$

где  $L_0$  и  $L_T$  — долгота осевого меридиана и меридиана, проходящего через некоторую точку.

Наибольшее значение  $L_0 - L_T = 3^\circ$  имеет на границе зоны, а значение  $\sin B$  меняется в пределах от 0 на экваторе, где  $B = 0^\circ$ , до 1 на полюсе, где  $B = 90^\circ$ . Поэтому у экватора  $\gamma_r$  близко к  $0^\circ$  в пределах всей зоны, а у полюса на краю зоны приближается к  $3^\circ$ .

Гауссово сближение, как и сближение, рассмотренное в § I.8, считается восточным (и положительным) при отклонении линии сетки к востоку от географического меридиана, проходящего через ту же точку, что и линия сетки. При противоположном отклонении линии сетки сближение западное и сопровождается знаком минус (рис. III.7).

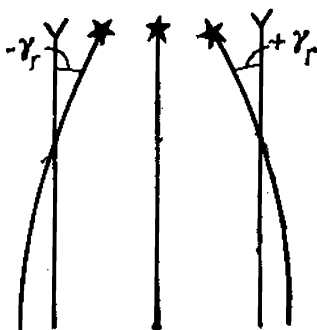


Рис. III.7. Гауссово сближение меридианов

### § III.4. Разграфка и номенклатура

*Разграфкой* называется разделение многолистной карты на отдельные листы. Обозначение отдельных листов такой карты по определенной системе называется *номенклатурой*.

К основным принципам составления номенклатуры топографических карт относятся: 1) связь с географическим положением изображенной на листе территории, которая обеспечивает быстрый подбор листов карты на любой участок земной поверхности; 2) зависимость от масштаба изображения, позволяющая легко переходить от карт одного масштаба к другому. Разграфка и номенклатура листов советских топографических карт и планов всего масштабного ряда основаны на разграфке и номенклатуре Международной карты масштаба 1:1 000 000 (рис. III.8).

Границы листа миллионной карты, образуемые меридианами, совпадают с границами координатной зоны в проекции Гаусса. Для изображения всей зоны требуется несколько десятков листов миллионной карты. Совокупность этих листов называется *колонной карт* (просто колонной). Колонны обозначаются арабскими цифрами (аналогично зонам), их счет ведется так же, как и зон, но от меридиана с долготой  $180^\circ$ , поэтому номер колонны отличается от номера зоны на 30. Например, 1-я зона — 31-я колонна, 30-я зона — 60-я колонна.

В горизонтальном направлении листы карты масштаба 1:1 000 000 образуют *широтные ряды* (пояса), ограниченные параллелями через  $4^\circ$ . Ряды обозначаются прописными буквами латинского алфавита к северу и югу от экватора. Номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000, определяющая его положение в общей системе листов, состоит из буквенного обозначения широтного ряда и номера колонны (на рис. III.9 отмечен лист с номенклатурой *E-33*). На листах карты для южного полушария справа от номенклатуры помещается обозначение *ЮП*.

Листы карты с размерами  $4 \times 6^\circ$  издаются на территорию, ограниченную параллелями с широтой от  $0^\circ$  до  $60^\circ$ . Для территории между параллелями  $60^\circ$  и  $76^\circ$  листы сдвигаются по долготе, т. е. имеют размеры соответственно  $4^\circ$  и  $12^\circ$ ; между параллелями  $76^\circ$  и  $88^\circ$  в один объединяются четыре листа, площадь которых в широтном направлении равна предыдущим листам, но

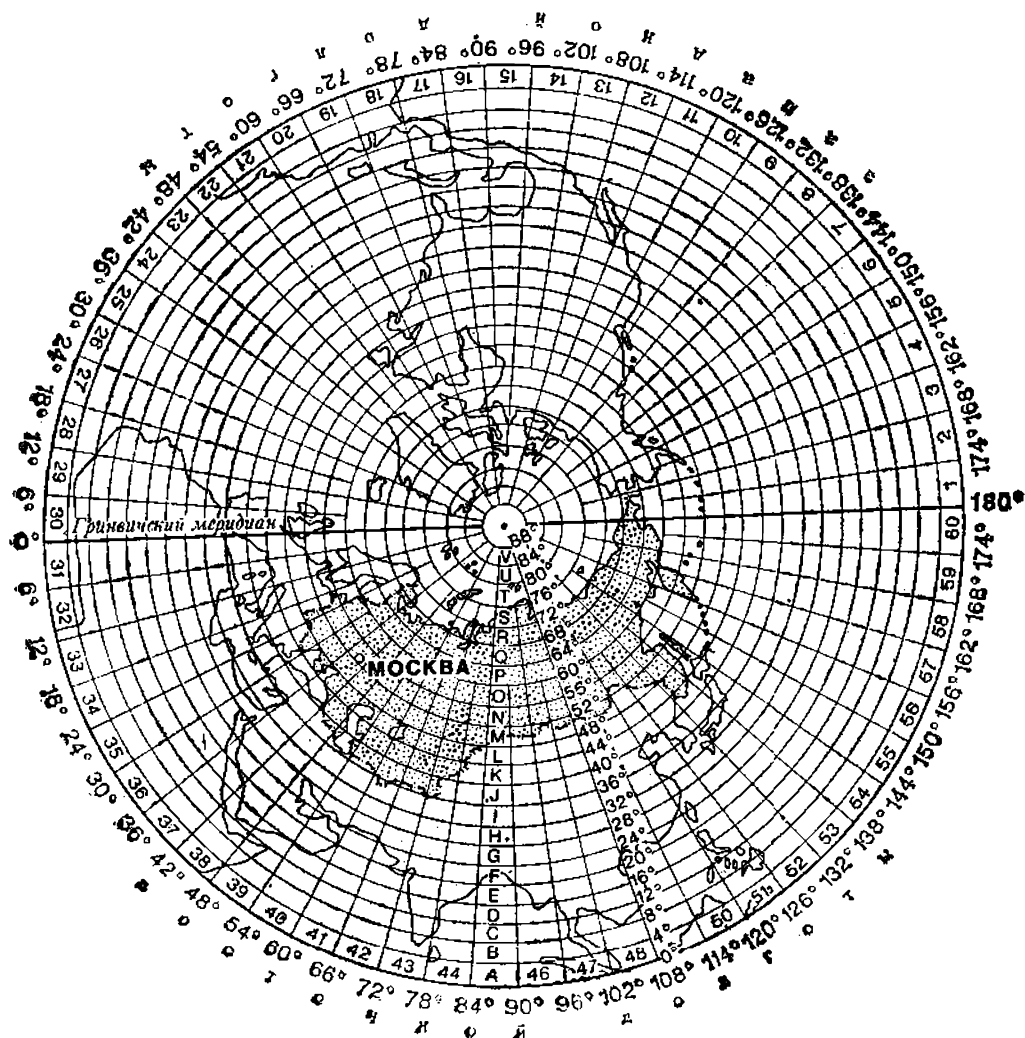


Рис. III.8. Разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000 для северного полушария

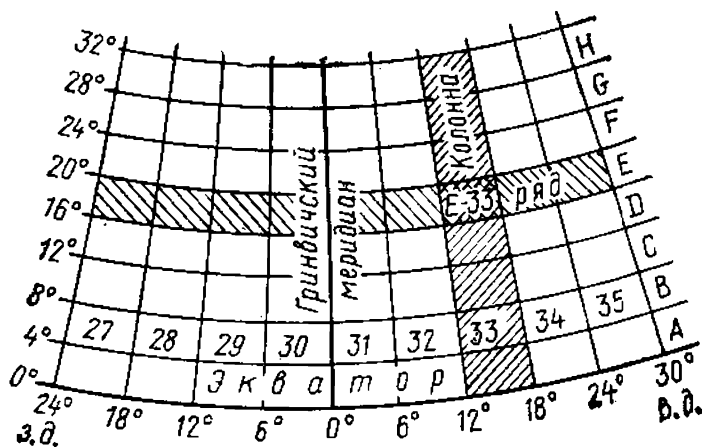


Рис. III.9. Пример номенклатуры листа карты масштаба 1:1 000 000

ограничивается меридианами с интервалом по долготе в  $24^\circ$ . Номенклатура объединенных листов складывается из буквенного обозначения ряда и соответственно двух или четырех чисел, обозначающих номера колонн, например Р-39, 40; Т-37, 38, 39, 40.

Разграфка листов карты масштаба 1:500 000 и крупнее производится путем деления миллионного листа меридианами и параллелями с установленными интервалами между ними для каждого масштаба. При этом выполняется условие: полученные листы карт всего масштабного ряда должны быть примерно равных размеров, а ограничивающие их меридианы и параллели иметь долготу или широту, выраженную целым числом минут и секунд (табл. III.1).

Таблица III.Г

Масштаб	Размер листа, град		Количество листов		Примерная площадь листа на широте $54^\circ$ , км <sup>2</sup>
	по долготе	по широте	в листе карты исходного масштаба	в листе миллионной карты	
1:1 000 000	$6^\circ$	$4^\circ$	1	1	175 000
1:500 000	$3^\circ$	$2^\circ$	4	4	44 000
1:200 000	$1^\circ$	$0^\circ 40'$	36	36	5 000
1:100 000	$0^\circ 30'$	$0^\circ 20'$	144	144	1 200
1:50 000	$0^\circ 15'$	$0^\circ 10'$	4	576	300
1:25 000	$0^\circ 07' 30''$	$0^\circ 05'$	4	2 304	75
1:10 000	$0^\circ 03' 45''$	$0^\circ 02' 30''$	4	9 216	19
1:5 000	$0^\circ 01' 52,5''$	$0^\circ 01' 15''$	256*	36 864	4*
1:2 000	$0^\circ 00' 37,5''$	$0^\circ 00' 25''$	9	331 776	1*

\* В прямоугольной разграфке.

Листы 1:500 000 карты получают в результате деления миллионного листа средним меридианом и средней параллелью на четыре части (нетрудно подсчитать, что изображение территории в масштабе 1:500 000 по площади в 4 раза больше листа миллионной карты, так как длины линейных отрезков увеличиваются вдвое при переходе от миллионного масштаба к пятисоттысячному; для получения листов, равных по площади листам исходного масштаба, увеличенный лист следует разрезать на четыре части). Границами листов пятисоттысячной карты будут меридианы, проведенные через  $3^\circ$ , и параллели с интервалом  $2^\circ$ .

Одному листу миллионной карты соответствуют также 36 листов карты масштаба 1:200 000 и 144 листа кар-

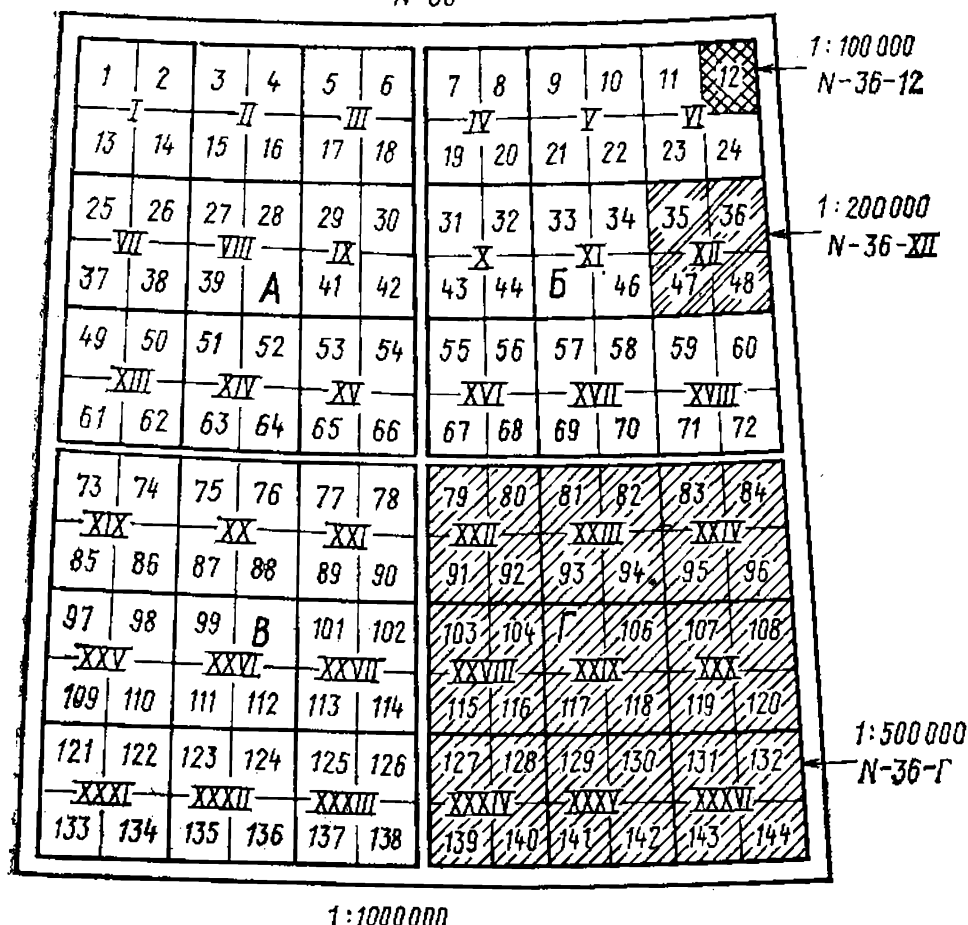


Рис. III.10. Разграфка листа карты масштаба 1:1 000 000 на листы масштабов 1:100 000, 1:200 000 и 1:500 000 и их обозначения

ты в масштабе 1:100 000 (рис. III.10), размеры которых указаны в табл. III.1.

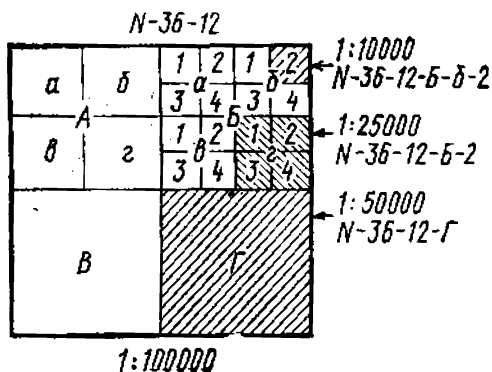


Рис. III.11. Разграфка листа карты масштаба 1:100 000 на листы масштабов 1:10 000, 1:25 000; 1:50 000 и их обозначения

Разграфка листов масштабов 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000 производится путем деления на четыре части листа карты предыдущего масштаба, т. е. сначала делится стотысячный лист на четыре пятидесятитысячных, затем пятидесятитысячный лист на четыре двадцатипятидесяти тысячных, наконец, двадцатипятидесяти тысячный лист на четыре десяти тысячных листа (рис. III.11). Чтобы опре-



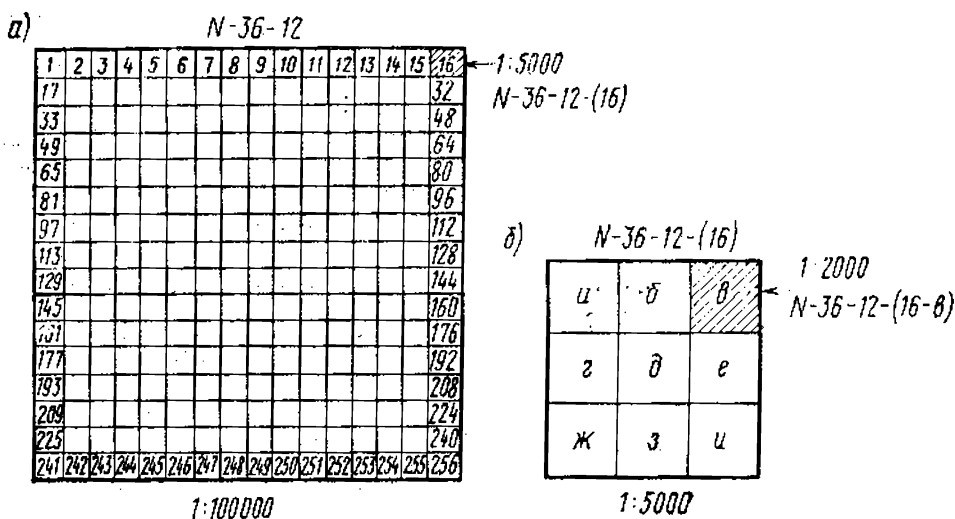


Рис. III.12. Разграфка листа карты масштаба 1:100 000 на листы масштабов 1:5000 и 1:2000

делить границы листов масштаба 1:5000, площадь листа в масштабе 1:100 000 делят на 256 частей (рис. III.12, а); разделив каждую часть еще на 9 частей, получают листы масштаба 1:2000 (рис. III.12, б).

Листы каждого масштаба обозначаются установленным образом в пределах исходного для разграфки листа. Пятисоттысячные листы обозначаются прописными буквами русского алфавита (А, Б, В, Г), двухсоттысячные — римскими цифрами (I, II, III ... XXXVI), стотысячные — арабскими цифрами (1, 2, 3 ... 144), пятидесятитысячные — вновь прописными буквами русского алфавита (А, Б, В, Г), двадцатипяти тысячные — строчными буквами русского алфавита (а, б, в, г), десяти- и пяти тысячные — арабскими цифрами, которые для второго масштаба заключаются в скобки [соответственно 1, 2, 3, 4 и (1), (2) ... (256)], двухтысячные — строчными буквами русского алфавита, заключенными в скобки [(а), (б) ... (и)]. Примеры номенклатур даны на рис. III.10—III.12.

Составление номенклатуры листов проводится двумя путями.

1. Исходный лист — основа для разграфки листов нескольких масштабов: к номенклатуре исходного листа (масштаба 1:1 000 000 или 1:100 000) прибавляется обозначение листа конкретного масштаба. Таким образом составляются номенклатуры листов карт масштаба 1:500 000, 1:200 000 и 1:100 000 на основе листа масштаба 1:1 000 000, листы карт масштаба 1:50 000 и 1:5 000 на основе листа карты масштаба 1:100 000.

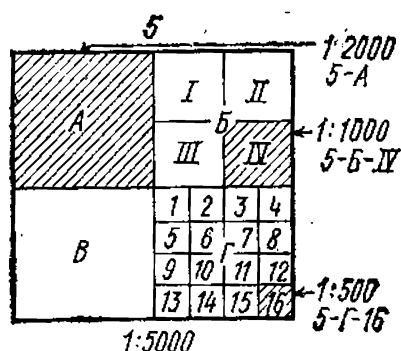


Рис. III.13. Прямоугольная разграфка планов масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500

2. Исходный лист — основа для разграфки листов одного масштаба: обозначение листа конкретного масштаба прибавляется к номенклатуре предыдущего (исходного) масштаба. Этот путь используется при составлении номенклатур листов масштаба 1:25 000, 1:10 000 и 1:2000. Общим для обоих способов является то, что номенклатура листа какого-либо масштаба складывается из номенклатуры исходного для разграфки листа и обозначения листа данного масштаба.

При создании планов на участки площадью менее 20 км<sup>2</sup> применяется *прямоугольная* или *квадратная разграфка* на основе листа пятитысячного масштаба. Исходный лист делится на четыре листа масштаба 1:2000, двухтысячный — на четыре листа масштаба 1:1000 или 16 листов масштаба 1:500 (рис. III.13). Обозначения листов каждого из названных масштабов, а также их размеры указаны в табл. III.2, а примеры номенклатур даны на рис. III.13.

Таблица III.2

Масштаб	Обозначения листов	Размер рамок листа, см	Площадь листа	
			га	км <sup>2</sup>
1:5000	1, 2, 3...	40×40	400	4
1:2000	A, B, B, Г	50×50	100	1
1:1000	I, II, III, IV	50×50	25	0,25
1:500	1, 2, 3...	50×50	6,25	0,0625

Нетрудно заметить, что номенклатура листов конкретного масштаба имеет определенное количество, последовательность и вид составляющих ее компонентов (сравните номенклатуры, приведенные на рис. III.10—III.13). Поэтому по номенклатуре можно установить масштаб листа карты или плана.

### § III.5. Картографические условные знаки для изображения элементов ситуации и рельефа земной поверхности

*Картографические условные знаки* (или кратко *условные знаки*) — это применяемые на картах обозначения

различных объектов и их качественных и количественных характеристик. Знание условных знаков и их свойств — необходимое условие понимания изображенного на карте, основа умения «читать» карту, получать с ее помощью нужные сведения, правильно проводить измерительные работы.

Условные знаки для карт представляют *систему графических, цветовых и буквенно-цифровых обозначений*, особенности которой определяются назначением и содержанием конкретной карты или группы карт.

*Графические знаки* — разнообразные графические построения в виде фигур (значков) и линий, отличающихся по форме, размерам, количеству составляющих элементов, ориентировке и др. (рис. III.14).

*Цвет* как условный знак применяется для отображения качественных различий объектов местности по видовым признакам (например, традиционно для объектов гидрографии используется синий цвет, для растительности — зеленый и т. д.), а также внутривидовым (например, естественные формы рельефа показываются коричневым цветом, а искусственные — черным).

*Буквенные обозначения* используются, прежде всего, в виде географических названий объектов, показанных на карте. При этом смысловую нагрузку несет начертание букв (шрифт), их размер. Например, разным шрифтом выделяют тип населенных пунктов (город, сельское поселение), его административное значение (столица, областной центр и др.), размер букв при этом соответствует количеству жителей в населенном пункте. С помощью буквенных обозначений дается также дополнительная характеристика объектов, переданных на карте графическими и цветовыми обозначениями. Так, возле значка завода и фабрики указывается отрасль промышленного производства (кирп. — кирпичный завод, цем. — цементный завод и т. д.). Изображение общественных зданий,

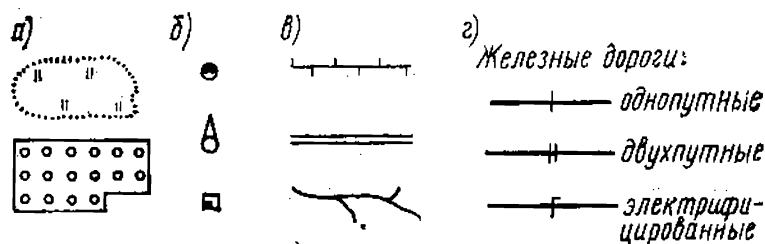


Рис. III.14. Примеры условных знаков:

а — площадных, б — внемасштабных, в — линейных, г — однородных знаков

одинаковое по рисунку с прочими строениями, сопровождается соответствующим пояснением (шк. — школа, больн. — больница и т. п.).

*Цифровые обозначения* используются для передачи разнообразных количественных характеристик. Например, ширины дороги, отметки высоты какой-либо точки земной поверхности, размеров туннеля и др.

Основные требования, которые учитываются при разработке условных знаков, — простота рисунка, наглядность и запоминаемость, позволяющие быстро и однозначно воспринимать смысл графических, цветовых, буквенных и цифровых обозначений. Условные знаки должны обеспечивать необходимую точность картографического изображения.

Применение условных знаков позволяет: отобразить на карте особенности местности с сохранением объектов, которые важны для ее характеристики, но не могут быть показаны из-за малых размеров, не позволяющих дать их в масштабе карты (например, отдельная постройка в малообжитой местности); выделить объекты и их группы по внешним признакам (например, дороги, населенные пункты) или качественным различиям (дороги грунтовые, шоссе, автострасы и др.); показать количественные характеристики объектов, отсутствующие непосредственно на местности и получаемые в результате целенаправленного изучения (отметки высоты, ширина дорог и др.); отобразить на двухмерной поверхности (плоскости), какой является карта, рельеф местности, обладающий трехмерностью, и др.

Элементы местности, изображаемые на общегеографических картах, по пространственной протяженности можно разбить на две группы: к первой относятся объекты, имеющие относительно ограниченные (конечные) размеры, например, населенные пункты, промышленные объекты, реки, озера, лесные массивы, искусственные неровности земной поверхности и др. (это объекты, которые в топографии называются *местными предметами* или *ситуацией*); вторую группу составляют различные формы поверхности Земли, совокупность которых образует *рельеф местности*, имеющий неограниченную пространственную протяженность. Каждая из названных групп изображается на картах различными условными знаками.

Для местных предметов условные знаки представляют собой разнообразные геометрические построения в

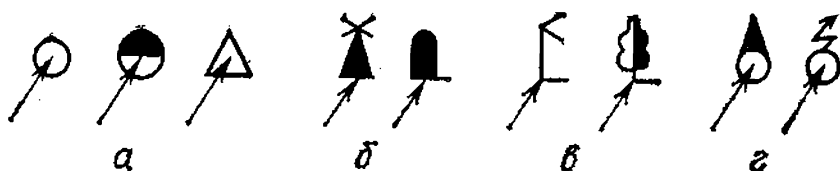


Рис. III.15. Примеры определения местоположения объекта на местности при изображении их на карте немасштабными условными знаками:

*а* — по центру геометрической фигуры, *б* — по середине широкого основания, *в* — по вершине прямого угла у основания знака, *г* — по центру нижней фигуры сложного знака

виде фигур, линий и их сочетаний, дополненные буквенно-цифровыми и цветовыми обозначениями. Все их многообразие делят на группы: 1) *площадные условные знаки*, которые применяются для заполнения контуров, очерчивающих площадь объектов, выражающихся в масштабе карты (рис. III. 14, *а*); 2) *немасштабные условные знаки*, применяемые для показа объектов, площадь которых не выражается в масштабе карты (рис. III.14, *б*); положению объекта на местности соответствует определенная точка знака (рис. III.15); 3) *линейные условные знаки*, с помощью которых изображаются линейно вытянутые объекты, при этом их длина выражается в масштабе карты, а ширина может быть преувеличенной (см. рис. III.14, *в*); положение таких объектов на местности определяется направлением оси знака.

Общее свойство условных знаков — однородные группы объектов показываются однотипными условными знаками, а внутригрупповые различия передаются с помощью некоторых дополнений к основному условному знаку (см. рис. III.14, *г*).

Рельеф на картах может быть изображен разными способами. Так, широко используется *способ изолиний*. *Изолинии* — кривые, соединяющие на карте точки с одинаковыми количественными значениями. На местности такие линии, как правило, не существуют. На карте характер и особенности изображаемого объекта передаются не отдельной линией, а их совокупностью. На топографических картах изолинии называют *горизонталями* (линии, соединяющие точки с одинаковыми высотами). Дополнительно применяются условные знаки для тех форм рельефа, которые не могут быть показаны горизонталями, а также цифровые характеристики отдельных элементов рельефа: отметки точек, глубина и ширина оврагов и др. (рис. III.16).

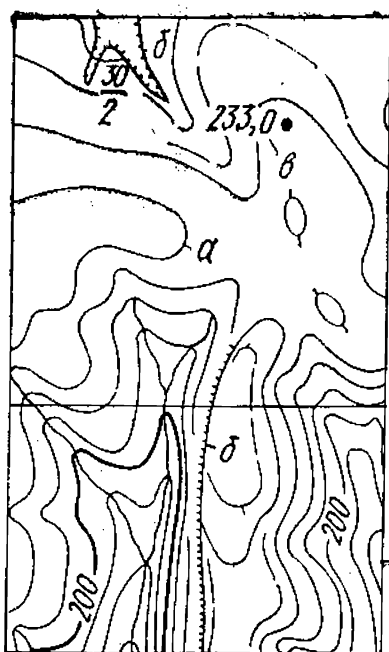


Рис. III.16. Изображение рельефа:

а — горизонталями, б — дополнительными условными знаками, в — с помощью отметок высоты

Условные знаки для топографических карт всего масштабного ряда стандартны. Это обеспечивает единообразие их оформления и облегчает работу с ними. Количество условных знаков велико (например, для карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000 применяется около 350 графических условных знаков и более 400 сокращенных пояснительных подписей). Обилие знаков обусловлено необходимостью показать на картах самые различные ландшафтные зоны нашей страны от заполярных до субтропических районов. Однако при работе с картами конкретной территории достаточно знать несколько десятков знаков. Знание условных знаков для карт одного масштаба обеспечивает понимание условных знаков карт всего масштабного ряда.

Условные знаки для топографических карт и планов издаются Главным управлением геодезии и картографии в виде сводных таблиц, сброшюрованных в книгу. Таблицы содержат знаки и пояснения к ним, раскрывающие их значения. В таблицах помещены также указания по применению знаков, перечень условных сокращений. Для удобства все знаки в таблицах распределены на группы по родственным признакам.

### § III.6. Понятие о картографической генерализации

*Картографическая генерализация* — это процесс отбора и обобщения изображаемых на карте объектов соответственно назначению и масштабу карты, а также особенностям картографируемой территории. Отбор и обобщение картографируемых объектов — два взаимосвязанных и дополняющих друг друга процесса. Карта обладает ограниченными графическими возможностями в показе минимальных размеров отдельных объектов, количества их на определенной площади. Чтобы не превра-

тить карту в изображение, изобилующее второстепенными деталями, затрудняющими восприятие ее содержания, необходимо выявить то общее, что позволит объединить отдельные объекты в группы по видовым, родовым и другим признакам, найти в них наиболее существенные особенности. Этот процесс осуществляется путем обобщения качественных и количественных характеристик показываемых на карте объектов, упрощения их плановых очертаний, отбрасывания мелких несущественных деталей и сохранения отличительных особенностей объектов и другими приемами.

К факторам картографической генерализации, согласно приведенному выше определению, относятся: назначение карты, ее масштаб, особенности картографируемой территории.

*Назначение* — ведущий фактор генерализации, так как он обуславливает содержание карты, масштаб, особенности оформления. От назначения зависит, что будет показано на карте, с какой степенью подробности. Это положение наглядно иллюстрирует рис. III.17, на котором даны фрагменты карт одного масштаба. Одна из карт (рис. III.17, а) предназначена для справочных целей, другая (рис. III.17, б) — для изучения географии в школе. На справочной подробно показаны населенные пункты, дорожная сеть, административные границы; на школьной количество населенных пунктов предельно сокращено (дано в соответствии со школьной программой), реки и дороги схематизированы, их рисунок укрупнен, так как карта рассматривается на уроках на расстоянии.

Карты, предназначенные для точных измерительных работ, создаются в крупном масштабе, для визуального изучения значительных территорий — в мелком масштабе и т. д.

*Масштаб* наряду с назначением карты определяет подробность картографического изображения. Например, изображение площади в  $1 \text{ км}^2$  на карте масштаба 1:25 000 займет  $1600 \text{ мм}^2$ , а в масштабе 1:1 000 000 — всего  $1 \text{ мм}^2$ . Отсюда очевидна невозможность сохранения при изменении масштаба всех элементов изображения (рис. III.18). Масштаб влияет также на геометрическую точность картографического изображения. От него во многом зависит степень обобщения количественных и качественных характеристик изображенных на карте объектов. Он делает необходимым переход от по-

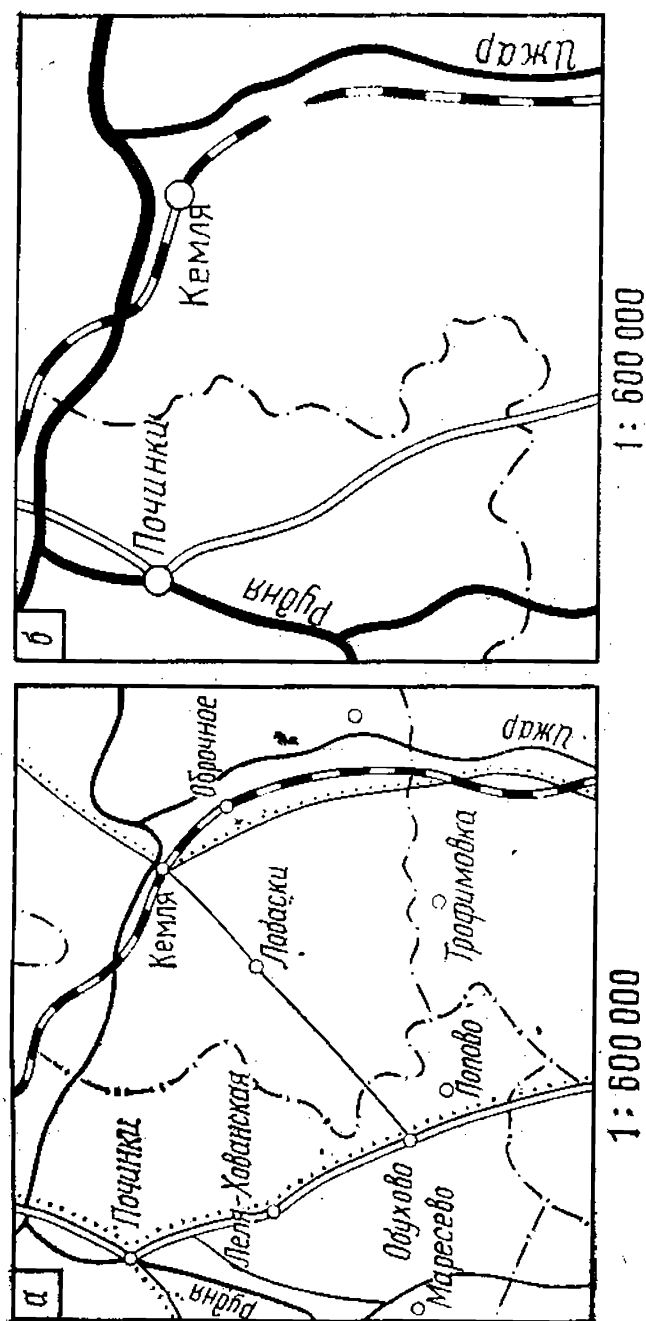


Рис. III.17. Генерализация картографического изображения в зависимости от назначения карты



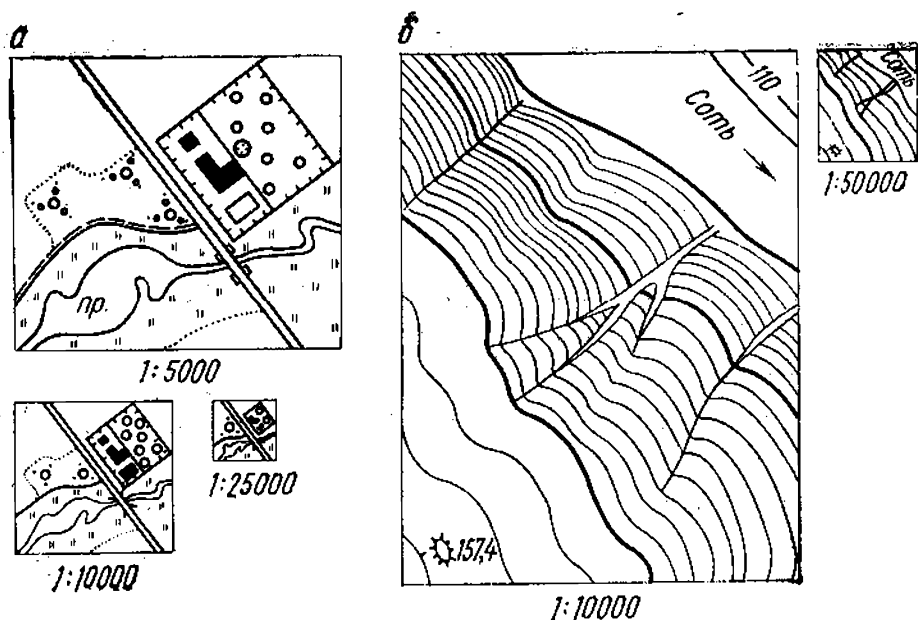


Рис. III.18. Генерализация картографического изображения в зависимости от масштаба карты:  
а — местных предметов, б — рельефа

каза индивидуальных признаков объектов к показу их видовой (родовой) принадлежности. Изменение масштаба приводит к изменению вида условных знаков изображения. Это можно проследить по фрагментам карт, приведенным на рис. III.18, а: в масштабе 1:5000 территория, заросшая кустарником, показана площадным условным знаком, в масштабе 1:25 000 эта же территория отмечена внесмасштабным условным знаком. Упрощение плановых очертаний, связанное с изменением масштаба, выявляется при сравнении фрагментов карт с изображением рельефа горизонталями на рис. III.18, б: на фрагменте карты масштаба 1:50 000 по сравнению с фрагментом в масштабе 1:10 000 меньше горизонталей, их изгибов и пр.

На картографическую генерализацию влияют *особенности картографируемой территории*. Так, один и тот же объект имеет различные значения в разных географических условиях. В связи с этим в одних случаях он отображается на карте, в других нет. Например, грунтовая дорога, тропа, отдельная постройка в обжитой местности играют сравнительно небольшую роль и могут не показываться на карте. В малообжитых или труднодоступных районах они превращаются в существенные объекты, облегчающие ориентирование и передвижение на местности, поэтому показ их на карте необходим.

С учетом требований картографической генерализации разрабатываются условные знаки карт. Они предусматривают возможность показа объектов и в плановых очертаниях, и вне масштаба, их классификацию по существенным признакам, значению для местности и другим особенностям.

### § III.7. Особенности оформления топографических карт и планов

Каждый лист карты или плана имеет законченное оформление (рис. III.19). Основными элементами листа

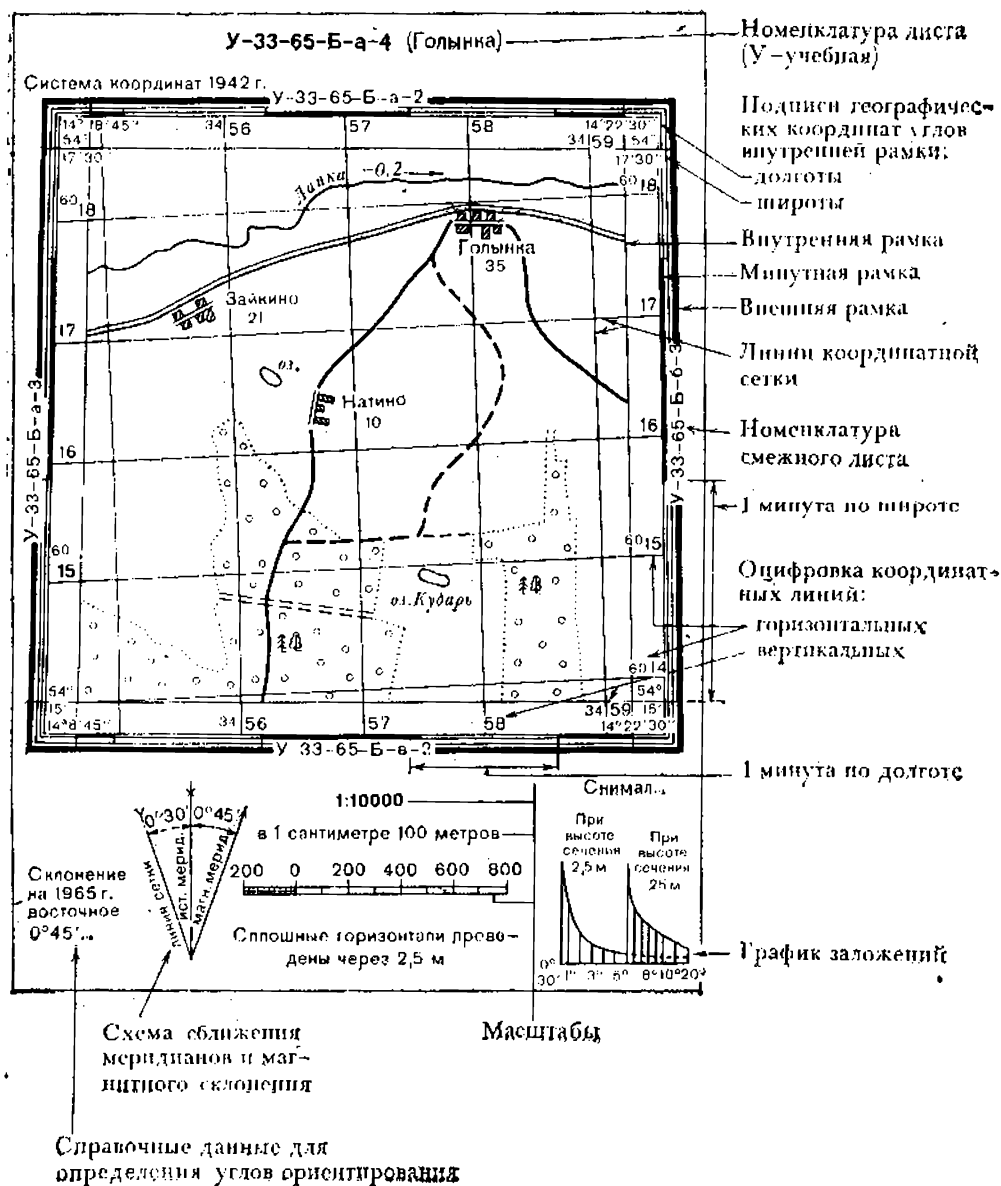


Рис. III.19. Схематическое изображение листа топографической карты

являются: 1) картографическое изображение участка земной поверхности в принятой системе условных знаков, составляющее *содержание* листа карты, координатная сетка; 2) *рамка* листа, элементы которой определены математической основой; 3) *зарамочное оформление* (вспомогательное оснащение), которое включает данные, облегчающие пользование картой. Легенда в обычном виде на листах карты отсутствует, а разъяснение условных знаков дается в таблицах (см. III.5).

Содержание карты раскрыто в § III.8—III.15. Рамка выполняет двойную функцию: ограничивает изображение участка местности и играет частично роль вспомогательного оснащения, позволяющего определять плановые координаты объектов.

Картографическое изображение листа ограничивается *внутренней рамкой* в виде тонкой линии. Северная и южная стороны рамки — отрезки параллелей, восточная и западная — отрезки меридианов, значение которых определяется общей системой разграфки топографических карт. Значения долготы меридианов и широты параллелей, ограничивающих лист карты, подписываются возле углов рамки: долгота на продолжении меридианов, широта на продолжении параллелей.

На некотором расстоянии от внутренней рамки вычерчивается так называемая *минутная рамка*, на которой показаны выходы меридианов и параллелей. Рамка представляет собой двойную линию, расчерченную на отрезки, соответствующие линейной протяженности 1' меридиана или параллели. Количество минутных отрезков на северной и южной сторонах рамки равно разности значений долготы западной и восточной сторон. На западной и восточной сторонах рамки количество отрезков определяется разностью значений широты северной и южной сторон.

Размеры листов карты масштаба 1:50 000 и мельче выражены целым числом минут, поэтому все минутные отрезки на противоположных сторонах рамки равны между собой. Размеры листов карт масштаба 1:25 000 и крупнее определяются минутами и секундами. В связи с этим не все отрезки на соответствующих сторонах рамки равны: величина крайних отрезков зависит от значений координат углов рамки. Для левых крайних отрезков на южной и северной сторонах рамки — это разница между секундами в значении долготы западной стороны и целой минутой. На рис. III.18 западная долгота

14°18'45'', поэтому крайний левый отрезок соответствует линейной протяженности 15''. Правые крайние отрезки на тех же сторонах рамки имеют протяженность, равную секундам долготы восточной стороны. На том же рисунке их длина — 30''. Такая же зависимость длин минутных отрезков на боковых (западной и восточной) сторонах рамки от значений широты южной и северной сторон.

Завершающим элементом является *внешняя рамка* в виде утолщенной линии. На картах последних лет издания она составляет одно целое с минутной рамкой. В промежутках между ними дается разметка минутных отрезков на десятисекундные, границы которых отмечены точками. Это упрощает работу с картой.

На картах масштаба 1:500 000 и 1:1 000 000 дается картографическая сетка параллелей и меридианов (см. рис. III.1), а на картах масштаба 1:10 000 — 1:200 000 — координатная сетка, или *километровая*, так как линии ее проводятся через целое количество километров (1 км в масштабе 1:10 000 — 1:50 000, 2 км в масштабе 1:100 000, 10 км в масштабе 1:200 000).

Значения километровых линий подписываются в промежутках между внутренней и минутной рамками: абсциссы на концах горизонтальных линий, ординаты (преобразованные) на концах вертикальных линий. У крайних линий указываются полные значения координат, у

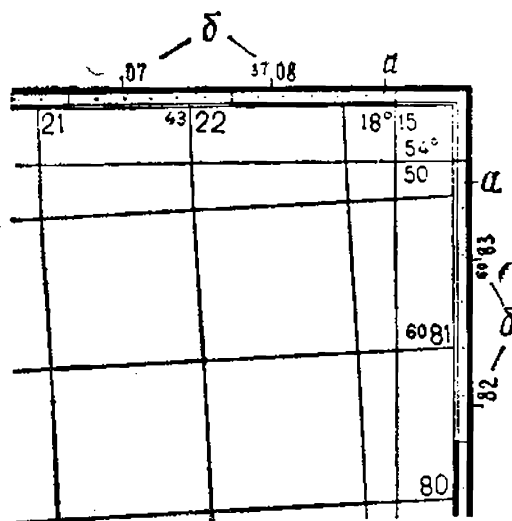


Рис. III.20. Фрагмент оформления рамки листа топографической карты:

а — 10-секундный отрезок на минутной рамке, б — оцифровка километровой сетки смежной зоны

промежуточных — сокращенные (только десятки и единицы километров). Кроме обозначений на концах часть километровых линий имеет подписи координат внутри листа. У внешней рамки листов, находящихся в полосе перекрытия, дается положение и значение координатных линий соседней зоны (рис. III.20).

В зарамочное оформление входит указание номенклатуры листа (над северной стороной рамки) и смежных с данным листом, имеющих с ним об-

щие границы (в разрывах средней части каждой стороны внешней рамки). Рядом с номенклатурой указываются название главного населенного пункта, расположенного на этом листе, другие сведения.

На нижнем поле размещаются данные о магнитном склонении для изображенной территории, среднем сближении меридианов (для середины листа), поправка в дирекционный угол при переходе к магнитному азимуту, схема взаимного расположения географического (его также называют истинным), магнитного меридианов и вертикальной линии сетки (параллельной осевому меридиану зоны). Здесь даются численный, именованный и линейный масштабы, количество метров, через которое проведены сплошные горизонталы, вычерчен график заложений (подробнее см. в § IV.6), а также сведения о времени создания карты и ее издании, другие справочные данные.

### § III.8. Изображение населенных пунктов<sup>1</sup>

Населенные пункты являются показателем степени освоения человеком территории и ее экономического развития, определяют военное значение района. Города, поселки городского, сельского и дачного типа, поселки при промышленных предприятиях, железнодорожных станциях, пристанях и другие — важнейшие элементы топографической карты. Изображаются населенные пункты площадными, внемасштабными и линейными условными знаками, дополненными собственными названиями, пояснительными подписями и цифровыми характеристиками.

С разной полнотой, определяемой масштабом, на картах показывают *планировку* населенных пунктов (плановые очертания зданий, застроенной территории, улиц, переулков, проездов, пустырей, участков зеленых насаждений) и их *структуру* (характер сочетания названных выше составных частей поселения). Такие характеристики, как *тип поселения*, их *населенность* (число жителей), *политико-административное значение*, передаются изменением шрифта подписей и размеров букв. Например, города подписываются прямым шрифтом прописными буквами, поселки сельского типа — прямым шрифтом, но строчными буквами, поселки городского типа — наклон-

<sup>1</sup> При изучении материала § III.8—III.15 необходимо использовать таблицы условных знаков и учебные топографические карты.

ным шрифтом. Размер букв уменьшается с уменьшением числа жителей в поселении и изменением политико-административного значения (исключения: центры районных и сельских Советов отмечаются подписями под названием населенного пункта: «РС» и «СС» — районный или сельский Совет, а населенность поселков сельского типа дается указанием количества дворов под собственным названием).

Особыми приемами среди массовой застройки поселений выделяются отдельные здания, промышленные объекты, учреждения культуры, школы, больницы, вокзалы, пункты связи, прочие объекты, наличие которых свидетельствует в определенной мере об экономическом, транспортном и культурном значении населенного пункта. Наиболее важные из них сохраняются на картах мелкого масштаба.

### **§ III.9. Изображение промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов**

На топографических картах изображаются такие *промышленные объекты*: фабрики, заводы, электростанции, шахты, штольни, открытые разработки полезных ископаемых, рудники и прииски, нефтяные и газовые скважины, газопроводы, нефтепроводы, склады горючего, водонапорные башни, ветряные двигатели, мельницы, линии электропередачи и др. С ними тесно связаны *объекты связи*: радиостанции, радиомачты, телевизионные мачты и станции, линии связи и др. Перечисленные объекты изображаются графическими условными знаками: площадными (на картах крупного масштаба), немасштабными и линейными. Площадные и немасштабные знаки дополняются пояснительными подписями, которые характеризуют вид промышленного производства (например, *древ.* — деревообрабатывающий завод, *мясн.* — мясокомбинат), разрабатываемого полезного ископаемого (например, *глин.* — карьер, где добывается глина) и др.

К *сельскохозяйственным объектам*, отображаемым на картах, относятся пасеки, загоны для скота, межевые знаки и др. Как и промышленные объекты, они показываются площадными или немасштабными знаками, в зависимости от размеров объекта и масштаба карты. Из сельскохозяйственных угодий выделяются пашни, выгоны, сенокосы и другие виды (их условные знаки дают-

ся в таблицах условных знаков в разделе растительности).

Из группы *социально-культурных объектов* показываются вузы, школы, детские сады, научно-исследовательские учреждения, обсерватории, метеорологические станции, больницы, санатории, дома и дворцы культуры, дома отдыха, спортивные сооружения, монументы и памятники, братские могилы и др. Часть объектов изображается специальными условными знаками (например, метеостанции, памятники), остальные отмечаются пояснительными подписями у знака строения (например, шк. — школа, Д. К. — дом культуры и т. д.). Социально-культурные объекты — хорошие ориентиры на местности.

### § III.10. Изображение дорожной сети

Дорожную сеть составляют железные, шоссейные, грунтовые дороги, тропы и др. На картах отображаются *расположение, густота, класс, устройство проезжей части дорог*. Эти сведения позволяют судить о пропускной способности дорог, грузоподъемности, возможности сезонных изменений условий передвижения и других особенностях дорог. Изображение дороги сопровождается показом придорожных сооружений.

Дорожная сеть дается линейными условными знаками в виде одной или нескольких линий, дополняемых цветовой окраской, цифровыми и буквенными пояснительными обозначениями. Ширина условных знаков дорог, как правило, больше их действительной ширины, поэтому точное местоположение дорог определяется по осевой линии знака. Придорожные сооружения показываются плановыми очертаниями или внесмасштабными условными знаками с пояснительными подписями.

*Железные дороги* на картах характеризуются по числу путей, или колеи, ширине колеи, виду тяги, состоянию (возможности эксплуатации). Особым знаком показываются трамвайные линии, фуникулеры, подвесные дороги. Вдоль железных дорог даются изображения станций, разъездов, платформ и остановочных пунктов, прочих сооружений, а также насыпей и выемок с указанием их относительной высоты или глубины, мостов, туннелей и др.

*Шоссейные дороги* классифицируют в зависимости от их технического совершенства. На картах указывается

вид искусственного покрытия (буквенными обозначениями), ширина покрытой части дороги и всего дорожного полотна (цифрами).

*Грунтовые дороги и тропы* характеризуются по степени проходимости. Дополнительно на дорогах отмечаются труднопроезжие участки, участки с крутизной подъема более 5°, фашинные участки, перевалы и др. Вдоль дорог показываются автобусные станции, гостиницы, бензоколонки и заправочные станции, километровые знаки и указатели дорог. Обязательно изображаются мосты с указанием их технических данных.

### § III.11. Изображение гидрографических объектов

На картах показываются следующие водные объекты и их элементы: побережье и прибрежная полоса морей; озера, пруды и другие водоемы; реки, ручьи, каналы и канавы; ключи, родники, минеральные и горячие источники, колодцы. Эти объекты в зависимости от размеров и масштаба карты изображаются площадными или линейными условными знаками, дополняемыми буквенными и цифровыми обозначениями. Незначительная часть объектов дается внемасштабными знаками (колодцы, родники). Изучение гидрографических объектов на картах облегчается тем, что они выделены цветом: синим — береговая линия, реки, ширина которых не выражается в масштабе карты, и др.; голубым — водные пространства. Граница *побережья* на картах проводится по отметкам наивысшего уровня воды во время прилива или прибоя. В *прибрежной полосе* морей указываются отметки глубин, изолинии равных глубин (изобаты), объекты, определяющие доступность территории и возможность ее освоения (камни, отмели и др.).

На картах показываются, как правило, все *озера, пруды* и прочие водоемы, выражающиеся в масштабе карты, с характеристикой качества их воды. Береговая линия соответствует наименьшему уровню воды в межень, т. е. в период, когда питание этих объектов происходит почти исключительно за счет подземных источников. В засушливых и пустынных районах изображаются все пресные озера независимо от их размеров.

*Реки, ручьи, элементы речной сети* показываются с указанием постоянства водотока, выделением подземных и пропадающих участков и др. Даются водопады, пороги, броды и другие элементы, характеризующие условия



судоходства. *Ключи, родники, минеральные и горячие источники* характеризуются по составу воды. Изображение рек и каналов сопровождается указанием их ширины, глубины, скорости и направления течения, отметок урезов (уровня) воды. Отметки урезов подписываются у береговой линии крупных водоемов.

С объектами гидрографии тесно связаны различные гидротехнические сооружения и объекты водного транспорта: мосты и переправы, плотины, пристани, молы, причалы и др. Показываются также водопроводы и прочие объекты водоснабжения.

*Колодцы*, как правило, указываются только за пределами населенных пунктов. Графический знак колодца дополняется сокращенным указанием качества воды, глубины и других особенностей. Особо выделяются артезианские колодцы.

Моря, озера, реки, каналы имеют подписи — географические названия. Шрифтовые особенности подписей подчеркивают вид объекта, его размер, транспортное значение (например, судоходные реки и каналы подписываются без выделения заглавной буквы в названии, несудоходные — с заглавной буквой).

### § III.12. Изображение рельефа

Способы изображения рельефа, применяемые на топографических картах, позволяют показать как естественные, так и искусственные его формы. К первым относят холм, гору, хребет, увал — *положительные формы рельефа*, которые возвышаются над окружающей местностью, а также котловину, долину, ложину, балку, овраг, ущелье, седловину — *отрицательные формы*, находящиеся ниже плоскости горизонта. К формам рельефа, образующимся в результате хозяйственной деятельности человека, относят курган, яму, насыпь и выемку вдоль дорог, укрепленные уступы полей на склонах и другие искусственные формы рельефа.

Основные элементы отдельных форм рельефа — *подошва, склон (скат), вершина* холма или горы; *дно* котловины, *бровка и склон (скат)* котловины или долины (лощины, пр.); *русло, пойма и терраса* речной долины и др. К *характерным линиям* рельефа, которые можно мысленно или графически провести по отдельным формам рельефа или их совокупности, относят: *водораздел* (линия, разделяющая сток атмосферных осадков по

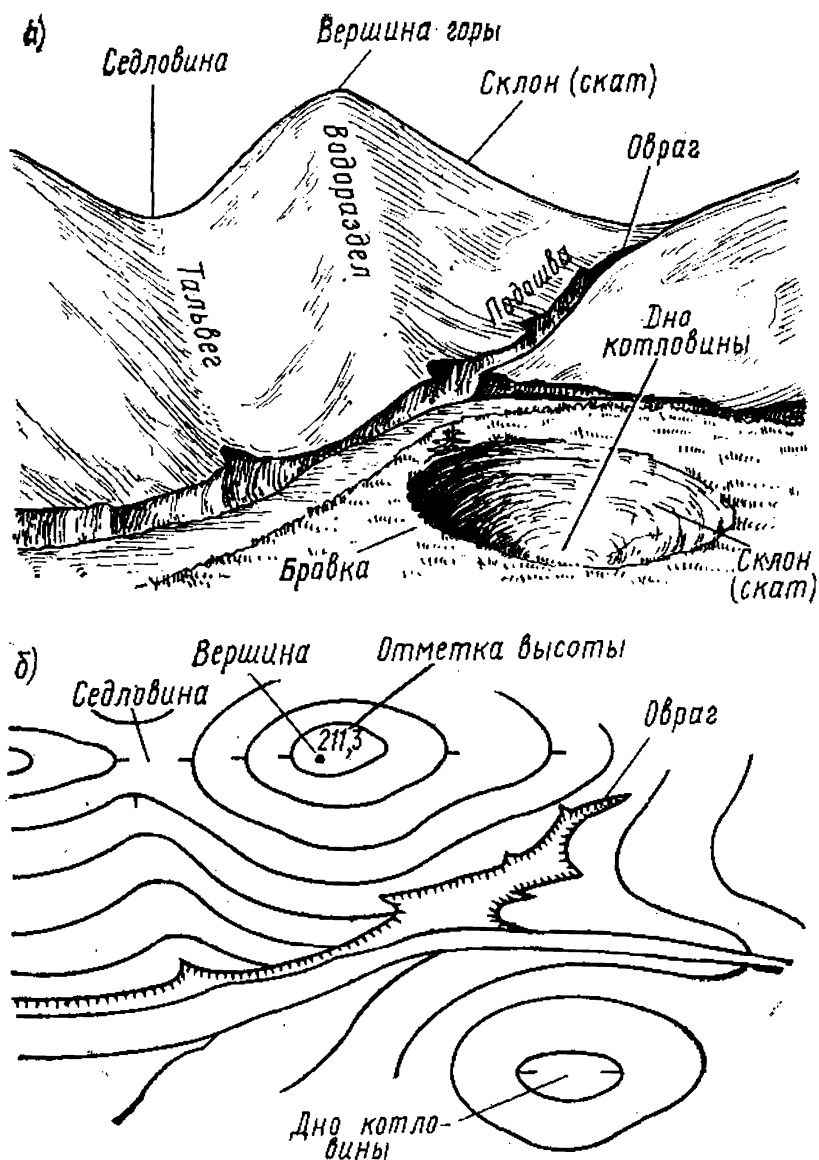


Рис. III.21. Элементы рельефа (а) и их изображение на карте (б)

двум склонам, направленным в разные стороны), тальвег (линия, соединяющая наиболее низкие точки дна речной долины, лощины, балки, оврага). Тальвег определяет направление возможного или существующего водного потока, отсюда его второе название — линия водотока (рис. III.21).

Совокупность водоразделов и тальвегов, проведенных на карте, дает изображение рельефа, освобожденное от мелких деталей (как бы скелет рельефа). Это делает более наглядным особенности взаимного расположения форм рельефа, их пространственную протяженность, сте-

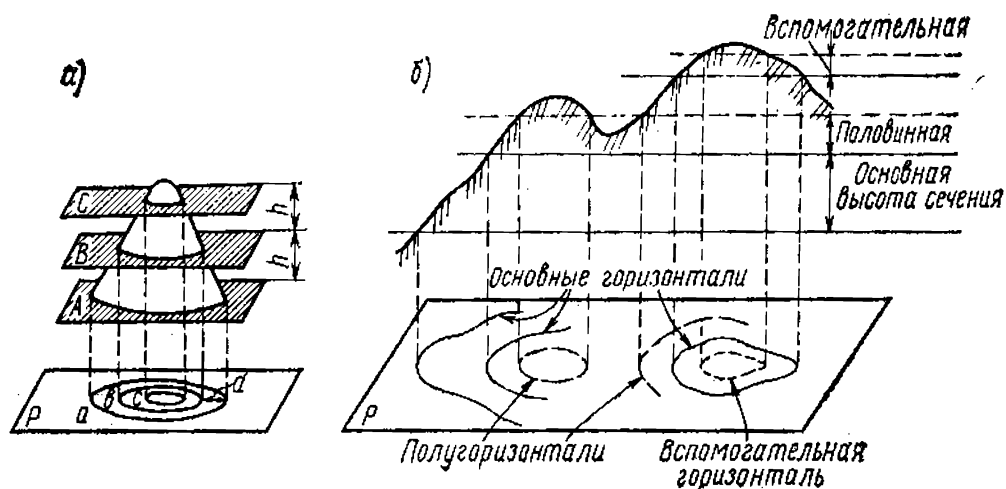


Рис. III.22. Принцип изображения рельефа горизонталями (а) и виды горизонталей на топографических картах (б)

пень расчлененности, поэтому указанные линии называют также *скелетными* или *орографическими*.

Основной способ изображения рельефа — способ *горизонталей* (см. § III.5). Горизонталь можно представить как след сечения рельефа уровнями поверхностями, параллельными между собой (поверхности А, В, С на рис. III.22, а). Заданное расстояние между соседними секущими поверхностями  $h$  называется *высотой сечения рельефа*. Чтобы передать закономерности изменения форм рельефа, значение  $h$  устанавливается постоянным для карт одного масштаба и типа рельефа. Расстояние на карте между соседними горизонталями по заданному направлению называется *заложением*. Заложение, направление которого перпендикулярно горизонталям, носит название *заложения ската*  $d$  (рис. III.22, а).

На советских картах равнинные участки с углами наклона до  $6^\circ$  передаются горизонталями с высотой сечения: 2,5 м (на картах масштаба 1:10 000), 5 м (1:25 000), 10 м (1:50 000), 20 м (1:100 000). При изображении горных и предгорных участков на картах десяти тысячного масштаба, а также высокогорных участков на картах прочих масштабов высота сечения удваивается.

Горизонтالي, проводимые согласно установленной высоте сечения рельефа, называются *основными* или *сплошными*, так как вычерчиваются непрерывной линией. Отметки их высоты всегда кратны высоте сечения. Например, при  $h=2,5$  м отметки горизонталей принимают значения 2,5; 5; 7,5 и т. д., при  $h=5$  м — соответствен-

но 5; 10; 15 м и т. д. В тех случаях, когда важные подробности рельефа не выражаются основными горизонталями, проводят так называемые *половинные* или *полугоризонтالي* на расстоянии, равном половине основной высоты сечения, а также *вспомогательные горизонтали* на высоте сечения, необходимой для лучшего изображения характерных особенностей рельефа местности, часто равной четверти основного сечения (рис. III.22,б). Дополнительные к основным горизонтали вычерчивают прерывистыми линиями с разной длиной штриха. Для упрощения счета горизонталей при решении практических задач утолщается каждая пятая горизонталь, начиная с нулевой отметки, если высота сечения равна 5, 10, 20 и 40 м, и каждая десятая, когда высота сечения равна 2,5 м.

Горизонталями хорошо передаются ненарушенные задернованные склоны, крутизна которых не превышает  $40^\circ$  (крутизна — угол между поверхностью склона и горизонтальной плоскостью в данной точке). В местах с большой крутизной горизонтали сливаются, они могут быть вычерчены пунктиром с сокращением их числа между утолщенными горизонталями. Для большей наглядности изображения рисунок горизонталей сопровождается *скатауказателями* (бергштрихами) в виде коротких, перпендикулярных к ним черточек, обращенных свободным концом в сторону понижения склона (сравните изображение горы и котловины на рис. III.21).

Нарушенные обнаженные склоны и некоторые формы рельефа (например, овраги) плохо передаются горизонталями, поэтому для их изображения применяют особые условные знаки (см. рис. III.22).

Для повышения наглядности карты горизонтали и другие условные знаки естественных форм рельефа печатаются коричневым цветом. Исключение составляют отдельные камни-ориентиры, гряды и скопления камней, резко выделяющиеся на общем фоне местности. Они, а также искусственные формы рельефа изображаются черным цветом.

На картах масштаба 1:500 000 и 1:1 000 000 изображению рельефа горизонталями недостает наглядности, поэтому их рисунок дополняется так называемой *отмывкой* — оттенением серо-коричневым цветом неровностей склонов. Окрашиваются участки, которые находились бы в тени при определенном направлении освещения местности. Для топографических карт основным направлением

ем такого освещения считается северо-западное, при котором затеняются южные и восточные склоны. Изображение горного рельефа дополняется также окраской высотных слоев (послойной окраской), в результате чего каждый последующий слой (промежуток между соседними горизонталями) окрашивается более насыщенным по сравнению с предыдущим оранжевым цветом. Такой способ изображения рельефа называется *гипсометрическим*.

Наряду с описанными способами используются также *цифровые обозначения*: абсолютные высоты характерных точек местности (вершин, седловин, перегибов склонов и др.), относительные высоты обрывов, склонов оврагов, курганов, котловин, выемок, насыпей и т. п. Подписываются значения горизонталей. Отметки их высоты размещаются таким образом, чтобы верх цифр был направлен в сторону повышения склона, поэтому они могут служить также указателями направления изменения высоты рельефа.

### § III.13. Изображение растительности и грунтов

Растительность и грунты — элементы местности, во многом определяющие такие отличительные ее черты, как возможность свободного передвижения и хозяйственного использования, условия видимости (обзор местности).

*Растительность*, показываемая на картах, делится прежде всего на естественную (древесная, кустарниковая, травяная и др.) и культурную (парки, сады, ягодники, виноградники и др.).

*Древесная растительность* подразделяется в зависимости от породы деревьев, высоты древостоя. На участках, занятых лесом, указываются преобладающие породы, средняя высота и толщина деревьев, расстояние между ними. На крупных массивах показываются просеки.

*Травянистая растительность* дается на отдельных участках, для которых она служит одной из основных характеристик местности, ее ландшафтных особенностей (луговая, степная, моховая в тундровой зоне и др.).

При изображении *грунтов* выделяют участки с резко отличающимися поверхностями: твердые, рыхлые грунты, участки с микроформами, обусловленными особенностями растительности и грунта (кочковатые, бугристые и др.). Отдельные виды грунтов даются с более подробной классификацией.

Несколько обособленную группу представляют *болота* и *солончаки*, что связано с особенностями их образования. Характеристика болот и солончаков отражает степень проходимости местности. Для болот указываются вид растительности и глубина в местах промера.

Существенной особенностью растительности и грунтов является, как правило, значительная пространственная протяженность. Это определяет использование для их изображения на картах площадных условных знаков. В качестве заполняющих элементов применяют различные графические построения (точечные, линейные и др.). Улучшают наглядность карты цветовые различия условных обозначений: участки древесной растительности окрашиваются зеленым цветом, знак болот и солончаков дается синим, грунтов — коричневым и оранжевым (та-кыры).

Для объектов, не выражающихся в масштабе карты, но имеющих существенное значение для характеристики местности, используются внемасштабные знаки (изображение отдельного куста, дерева или группы деревьев и др.) или линейные (например, изображение узкой лесополосы).

### **§ III.14. Изображение границ и ограждений**

На картах показываются государственные границы, граница полярных владений СССР, границы союзных и автономных республик, областей, краев и других единиц административно-территориального деления. На крупномасштабных картах показываются также границы административных районов, городских земель и других землепользований.

Различные ограждения изображаются с характеристикой конструктивных особенностей и материала (например, ограды каменные и металлические, заборы деревянные).

Объекты этой группы даются линейными знаками определенного рисунка, основу которых составляют штриховые и точечные элементы, их сочетания.

### **§ III.15. Изображение опорных пунктов**

К *опорным пунктам* относятся *пункты геодезической сети*, прочно закрепленные на местности (см. § 1.3). Они служат основой для проведения точных измерений, так как наносятся на карту с максимальной точностью.

Классификация опорных пунктов на карте дается в соответствии с их видом (пункты триангуляции, полигонометрии, астрономические, нивелирные), классом точности (государственные, местного значения, съемочные сети), способом закрепления (реперы грунтовые, стенные, временные и др.). Предусмотрено изображение пунктов, расположенных на курганах, буграх, зданиях. Показываются опорные пункты немасштабными условными знаками, возле которых ставятся отметки абсолютной высоты центров пунктов и поверхности Земли, а также собственные названия.

### § III.16. Полнота, достоверность и точность топографических карт. Точность измерений по картам

*Полнота содержания карт* обеспечивается соблюдением инструктивных указаний по их созданию, а *достоверность* — методами создания, которые обеспечивают получение необходимых данных непосредственно на местности или с помощью фотоизображения. Количество сведений, передаваемых картой, их подробность определяются в основном масштабом и действующими условными знаками.

Поясним это на примере изображения населенных пунктов на топографических картах разных масштабов. Форма и размеры отдельных строений, ширина улиц на картах крупнее масштаба 1:10 000 передаются в своих плановых очертаниях. В более мелких масштабах ширина улиц постепенно увеличивается, упрощаются очертания строений. Дальнейшее уменьшение размеров поселений приводит к объединению отдельных строений в кварталы, показу только главных улиц и проездов. На крупномасштабных картах строения классифицируются на жилые и нежилые, огнестойкие и неогнестойкие. Как правило, на картах масштаба 1:100 000 и крупнее показываются все населенные пункты, на картах более мелких масштабов неизбежна генерализация количества изображаемых поселений.

*Точность (геометрическая точность) топографических карт* определяется их масштабом, степенью генерализации изображения. Существенное влияние на точность оказывают возможности зрительного восприятия графических элементов карты. Известно, что 0,1 мм — это наименьшее графическое построение, которое воспринимает глаз человека в виде точки. Чтобы построение восприни-

малось отрезком, его минимальная длина должна быть равной 0,2 мм. Горизонтальное проложение на местности, соответствующее 0,1 мм на карте, называют *точностью* (*предельной точностью*) *масштаба карты*. Эта точность характеризует предельные возможности карты данного масштаба в передаче размеров и формы объектов местности. Например, для карты масштаба 1:10 000 точность масштаба составляет 1 м, а для карты масштаба 1:100 000 — уже 10 м. Таким образом, чем мельче масштаб карты, тем больше проявляется противоречие между требованиями точности карт и их географическим соответствием. Например, полотно железной дороги шириной 6 м изображается на карте масштаба 1:100 000 знаком толщиной 0,6 мм, что соответствует 60 м на местности. В связи с этим изображения объектов, расположенных вдоль железной дороги, практически сдвинуты в сторону от оси условного знака дороги, т. е. сохраняется географическое соответствие, но нарушается геометрическая точность карты. Для сохранения географического соответствия карты при переходе к более мелким масштабам изображения площадные знаки в необходимых случаях заменяются немасштабными.

Точность карт определяется также точностью изображения на них отдельных объектов. С предельной точностью наносятся на карту опорные пункты. Погрешности в нанесении объектов и контуров местности с четкими границами (отдельные здания, заборы и др.) относительно ближайших опорных пунктов не превышают 0,5 мм для равнинной территории и 0,7 мм для горной. Нечеткие контуры (границы растительного покрова или грунтов, элементы рельефа) показываются с меньшей точностью. Точность положения горизонталей на карте зависит от особенностей рельефа местности и принятой высоты сечения. С увеличением высоты сечения уменьшается детальность изображения рельефа, горизонтали передают некоторые обобщенные его характеристики. Средние погрешности в их положении достигают  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  принятой высоты сечения для равнинных районов и увеличиваются в 2—3 раза для горных.

Следует помнить также, что по карте измеряются горизонтальные проложения расстояний на местности, поэтому получаемые данные, как правило, несколько меньше действительных.

Точность карт (планов) определяет, в основном, *точность измерений по картам*. Кроме этого, на точность



измерений влияют возможности применяемых измерительных приборов и приспособлений (их точность), состояние бумажной основы (наличие сгибов, помятости, деформации). Значения точности линейных, площадных и угловых измерений по картам указаны в соответствующих параграфах гл. IV.

### § III.17. Топографические карты шельфа

*Топографические карты шельфа* являются продолжением топографических карт суши. На них подробно изображаются характерные черты ландшафтов и результаты хозяйственного освоения береговой зоны, дна и покрывающих вод мелководной прибрежной части морей и океанов. Исходя из предъявляемых к этим картам требований, можно дать им следующее определение: топографическая карта шельфа — это подробная карта береговой зоны, дна и покрывающих вод шельфа, позволяющая определять как плановое, так и высотное положение точек.

Одно из основных условий, выполняемых при создании карт шельфа, — согласованность по содержанию, оформлению и точности с картами суши. Поэтому они составляются в проекции Гаусса (равноугольной поперечно-цилиндрической), имеют единые системы координат и высот, разграфки и номенклатуры листов.

Масштабный ряд карт и планов шельфа — от 1:2000 до 1:1 000 000.

К топографическим картам шельфа предъявляется еще одно требование — они должны быть согласованы с навигационными морскими картами, создаваемыми для обслуживания транспортного движения в морях и океанах. Это позволяет использовать оба вида карт совместно.

Появление карт шельфа связано с интенсивным развитием поиска, разведки и эксплуатации полезных ископаемых на шельфе, созданием и эксплуатацией подводных промышленных плантаций по разведению морских растений и животных и др. В связи с этим возникает необходимость привлечения карт при проектировании, строительстве и эксплуатации разведанных богатств шельфа, возведении различных гидротехнических сооружений в береговой зоне, с одной стороны, и, с другой, при решении задач защиты берегов от разрушения, вызываемого нарушением природного равновесия вследствие

активной деятельности человека. Подробные карты шельфа необходимы также в научно-исследовательских работах по использованию природных ресурсов акватории и береговой зоны.

Содержание карт составляют: опорные пункты, характеристика береговой зоны и суши в пределах листа, рельефа дна и его грунтов (донных отложений), донных растений и животных (бентоса). Показываются также различные инженерно-технические сооружения, элементы гидрологии (приливно-отливные или местные течения, выходы пресноводных ключей и др.), границы (государственные, рыболовных зон, морских заповедников и др.), места выхода нефти, газа и др.

Для изображения перечисленных объектов применяются условные знаки топографических карт суши (для надводных участков) и навигационных морских карт (для водной поверхности), которые при необходимости дополняются специальными условными знаками. Рельеф дна изображается горизонталями с высотой сечения от 0,5 до 100 м в зависимости от характера расчлененности дна и масштаба изображения. Дополнительными знаками отмечаются бровки, уступы, камни, скалы и другие элементы, не выражающиеся горизонталями. Широко используются буквенные обозначения для указания видовых различий донных растений и животных.

## ГЛАВА IV

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

### ПО ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ

#### § IV.1. Анализ топографических карт

Анализ карт проводится прежде всего с целью изучения территории исследования, ее особенностей, закономерностей размещения, взаимосвязи объектов и явлений, динамики их развития и др. Анализ дает возможность сделать правильный *выбор карт* определенного масштаба, времени издания в зависимости от направления предполагаемого использования: для первоначального ознакомления с местностью или ее детального изучения; для составления плана полевых работ, определения маршрутов исследования, мест остановок; для ориентирования на местности; в качестве основы для прикладных работ,

в том числе составления ландшафтных, почвенных и других карт; для научного анализа природных и социально-экономических явлений и др. Выбор карт сопровождается *оценкой* степени пригодности их для конкретных работ по точности и подробности сведений, которые предполагается получить с помощью карт; трудоемкости получения необходимых данных. При этом учитывается, что с укрупнением масштаба возрастает число листов на одну и ту же территорию, уменьшается обзорность территории, усложняются условия для установления особенностей пространственно протяженных объектов и явлений, закономерностей их развития и т. п., но точность и подробность получаемой информации повышаются. Изучение современного состояния территории и протекающих на ней процессов требует карт, наиболее приближенных по времени издания ко времени запланированных работ. Время издания карт в значительной мере определяет их соответствие современному состоянию изучаемых районов, особенно интенсивно развивающихся экономически. Динамика географических явлений может быть изучена при сопоставлении карт одной территории, но разных лет издания. Решение измерительных задач необходимо проводить по новым или хорошо сохранившимся крупномасштабным картам.

Методы анализа: визуальный, графический, картометрический и математико-статистический.

*Визуальный анализ* основан на зрительном восприятии элементов изображенной местности, их сопоставлении по форме, размерам, структуре, распространенности и др. Он часто сопровождается глазомерной оценкой расстояний, площадей, угловых величин.

*Графический анализ* предполагает построение по карте профилей местности, орографических схем и др.

*Картометрический анализ* заключается в проведении по картам различных измерений линий, высот точек, площадей, углов и др. Результаты картометрического анализа хорошо дополняют визуальный анализ. В то же время они могут служить исходными данными для математико-статистического анализа свойств изучаемого района.

Методы *математико-статистического анализа* многообразны. С их помощью устанавливаются численные показатели распространенности объектов, связи между ними, степени влияния разных факторов; дается математическое описание топографической поверхности, на основании

которого создаются математические модели местности, получающие все большее распространение при решении разнообразных инженерных задач. Внедрение этих методов позволяет переложить значительную часть аналитических и проектных работ, выполняемых с использованием карт, на электронно-вычислительную технику.

## § IV.2. Измерение расстояний

Измерить длину  $l$  отрезка на карте — значит определить длину горизонтального проложения соответствующей ему линии на местности  $s$ . Связь между ними определяется масштабом карты  $M$  и на основании формул (I.3) и (I.4) может быть выражена как

$$s = l:M \text{ или } s = lm. \quad (\text{IV.1})$$

Масштаб имеет следующие формы:

1. *Численный масштаб* (рис. IV.1, а). Он выражается отношением единицы к числу, показывающему степень уменьшения  $m$ .

2. *Именованный масштаб* (рис. IV.1, б). Это именованные числа, обозначающие длины взаимно соответствующих отрезков на карте и на местности.

3. *Графический масштаб*. Он упрощает перевод длин отрезков на карте в расстояния на местности. Графический масштаб может быть линейным и поперечным.

*Линейный масштаб* — это прямая линия, разделенная на равные части с подписанными значениями соответствующих им расстояний на местности (рис. IV.1, в). Отрезок, определяющий величину делений прямой, называют *основанием масштаба*  $q$ . Крайнее левое основание делят на более мелкие части, *наименьшие деления масштаба*  $q'$ , которые могут составлять  $1/5$ ,  $1/10$  или  $1/20q$ .

Длина измеряемого отрезка  $l$  в делениях линейного масштаба выражается как

$$l = n_q + n_{q'}, \quad (\text{IV.2})$$

где  $n_q$  и  $n_{q'}$  — количество оснований  $q$  и наименьших делений  $q'$ .



Рис. IV.1. Виды масштабов

Чтобы выразить  $l$  в масштабе карты, необходимо предварительно установить *цену основания* линейного масштаба  $c_q$  и *цену наименьшего деления*  $c_{q'}$ . Цена основания понимается как число метров (километров) на местности, соответствующее величине одного основания. Аналогично формулируется цена наименьшего деления. Если основанием линейного масштаба является отрезок в 1 см и  $l$  также выражено в сантиметрах, то  $c_q = m$ , а формула (IV.1) принимает вид

$$s = lc_q. \quad (IV.3)$$

Зависимость (IV.3) верна и в том случае, когда основание линейного масштаба имеет величину в 2 сантиметра и более; при этом  $l$  должно быть выражено в делениях масштаба (IV.2). Так как  $q$  и  $q'$  имеют разную цену деления,

$$s = n_q c_q + n_{q'} c_{q'}. \quad (IV.4)$$

Если основанием линейного масштаба является отрезок

$$s = (n_q + n_{1/10, q}) c_q. \quad (IV.5)$$

**Пример.** В процессе измерения расстояния по карте масштаба 1:10 000 установлено, что при  $q = 1$  см,  $n_q = 3$ ,

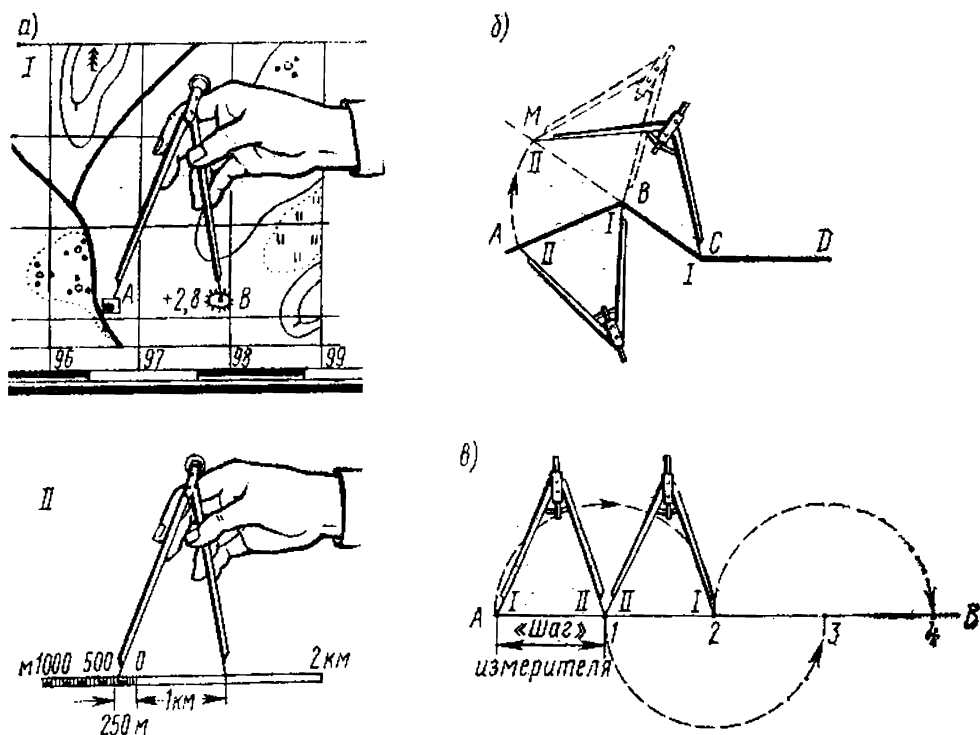


Рис. IV.2. Измерение линий с помощью линейного масштаба:

а — одним раствором измерителя, б — наращиванием раствора, в — «шагом» измерителя

$n_{q'} = 4$ ,  $n_{1/10q} = 0,4$ ,  $c_q = 100$  м,  $c_{q'} = 10$  м. Тогда по формулам (IV.4) и (IV.5)

$$s = 3 \cdot 100 \text{ м} + 4 \cdot 10 \text{ м} = 340 \text{ м}$$

или

$$s = (3 + 0,4) \cdot 100 \text{ м} = 340 \text{ м}.$$

Для упрощения измерения длин линий у делений линейного масштаба подписывают число метров (километров), равное  $1q$ ,  $2q$ ,  $3q$  и т. д. в масштабе карты. За начало отсчета принимается правый конец крайнего левого основания, обозначаемого 0. Вправо от него подписывают целые основания, влево — его доли.

Измерения расстояний по карте проводятся разными способами. Короткие прямолинейные расстояния измеряются *одним раствором измерителя*.

Величина раствора устанавливается по карте совмещением игл измерителя с начальной и конечной точкой измеряемого расстояния (рис. IV.2, а, положение I). После этого измеритель переносится на линейный масштаб, так чтобы его иглы расположились по обе стороны от нулевого штриха, а правая игла совместилась с каким-либо из штрихов, расположенных справа от 0 (рис. IV.2, а, положение II). Тогда  $s$  равно сумме отсчетов по правой и левой иглам измерителя (на рис. IV.2, а  $s = 1$  км 250 м).

Если измеряемое расстояние представляет собой ломаную линию, раствор измерителя, соответствующий его длине, устанавливают *способом наращивания*, суть которого показана на рис. IV.2, б.

При значительной протяженности измеряемых отрезков их длину можно измерить по частям — «шагом» измерителя. «Шаг» измерителя — это установленное расстояние между его иглами, сохраняющееся неизменным в процессе измерения и выполняющее, по сути, роль основания масштаба  $q$ . Целесообразно при этом выбрать такой «шаг», чтобы его цена  $c_{ш}$  была выражена круглым числом. Количество шагов  $n_{ш}$  на измеряемом расстоянии определяется путем перестановок игл измерителя и их подсчета (на рис. IV.2, в направление перестановок показано стрелками). При получении в конце измерения неполного «шага»  $q'$  определяют его величину в долях целого «шага»  $n_{1/10ш}$  и суммируют с основным результатом, т. е.

$$s = (n_{ш} + n_{1/10ш}) c_{ш}.$$

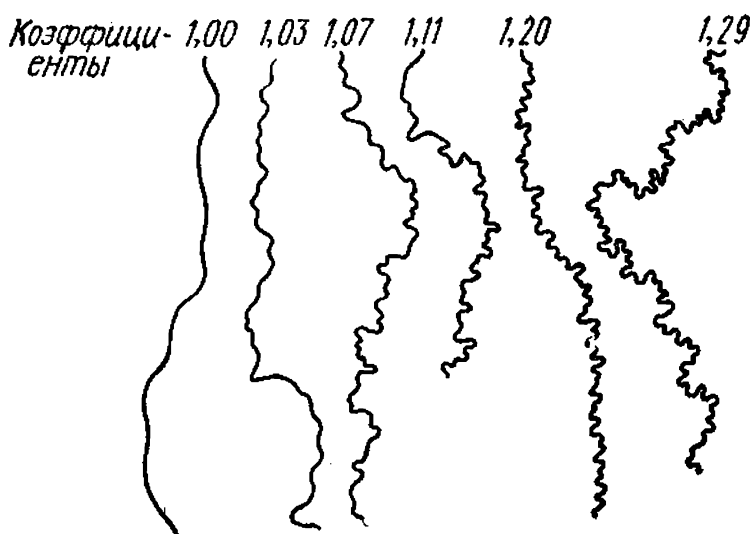


Рис. IV.3. Эталоны коэффициентов извилистости

Точность измерений расстояний с помощью линейного масштаба составляет 0,5—1 мм в масштабе карты.

При измерении очень извилистых линий, например рек, применяют усовершенствованную разновидность способа измерения «шагом» — способ Ю. М. Шокальского. Основу его составляют измерение реки малым раствором («шагом») измерителя в 1 или 2 мм и учет коэффициента извилистости, устанавливаемого по разработанным эталонам (рис. IV.3). Предварительно изображение реки размечается на участки с примерно одинаковой извилистостью, для каждого из них определяется количество «шагов», которое затем умножается на установленную цену «шага», а также на коэффициент извилистости  $k$ . Таким образом,  $s = n_{\text{ш}} c_{\text{ш}} k$ .

Точность метода составляет 2—3 % от измеряемой длины.

Для повышения точности измерения расстояний применяют *поперечный масштаб*, который строится в виде параллельных равноотстоящих прямых, разделенных так же, как и линейный масштаб, на равные отрезки (рис. IV.4, а). Длина основания  $q$  может быть равна 1, 2, 4 или 5 см. Крайняя левая часть масштаба по линиям  $MO$  и  $Nb$  делится обычно на 10 равных частей, а точки деления соединяются наклонными линиями (*трансверсальми*). В результате такого построения отрезки прямых между перпендикуляром  $Ob$  и первой трансверсалью будут различной длины. Самый малый из них  $a_1b_1 = q'$  является наименьшим делением поперечного масштаба (рис. IV.4, б). Его величину можно определить на осно-

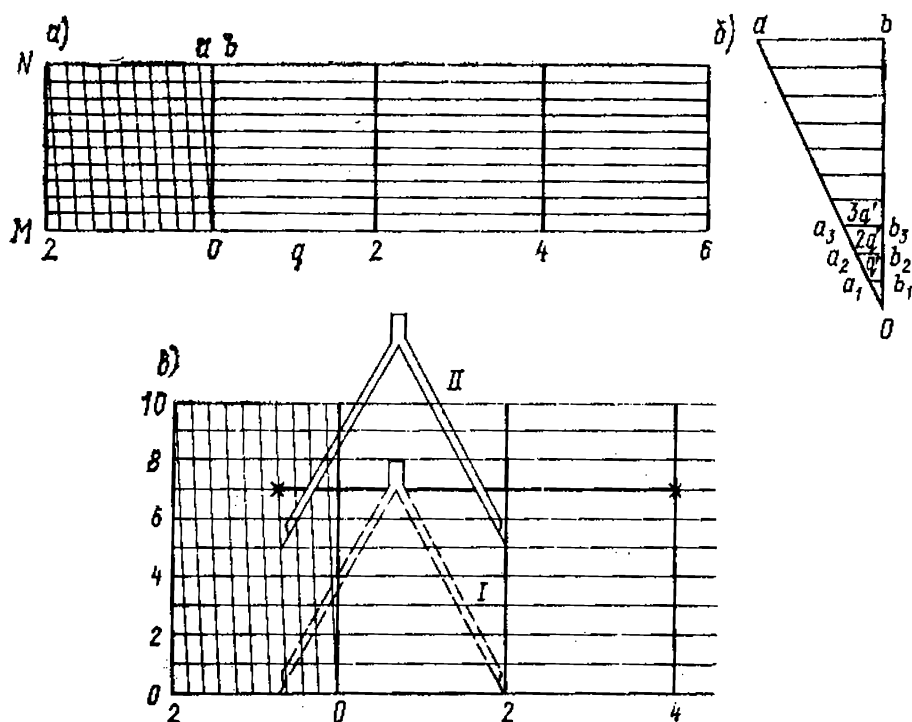


Рис. IV.4. Поперечный масштаб:

$a$  — общий вид,  $b$  — увеличенное изображение его части,  $c$  — измерение с его помощью линейных отрезков

вании свойства подобных треугольников. Количество делений на перпендикуляре  $Ob$  равно 10. Следовательно, отрезок  $Ob_1$  составляет  $1/10$  перпендикуляра  $Ob$ . Так как в подобных треугольниках уменьшение одного катета в  $n$  раз ведет к уменьшению другого катета во столько же раз,  $q' = 1/10 ab$ . Но  $ab = 1/10 q$ , поэтому  $q' = 1/10 \times 1/10 q = 1/100 q$ . Несложно доказать, что  $a_2 b_2 = 2/100 q$ ,  $a_3 b_3 = 3/100 q$  и т. д. Длина измеряемого с помощью поперечного масштаба расстояния составляет

$$s = (n_q + n_{1/10q} + n_{1/100q}) c_q,$$

где  $n_q$ ,  $n_{1/10q}$ ,  $n_{1/100q}$  — количество соответственно целых оснований, десятых и сотых его долей.

Методика измерения линий с помощью поперечного масштаба такова. Измеритель с установленным по карте раствором переносят на нижнюю линию масштаба так, чтобы одна его игла совместилась с одним из перпендикуляров справа от нулевой отметки, а другая оказалась в пределах крайнего левого основания (см. рис. IV.3, в, положение I). Затем измеритель перемещают вверх до тех пор, пока левая игла не совпадет с пересечением одной из наклонных линий с горизон-



тальной прямой (положение II), при этом обе иглы должны быть на одной горизонтальной прямой. Теперь достаточно подсчитать количество оснований, десятых и сотых его долей и умножить на предварительно установленную цену основания: на рисунке раствор измерителя равен 1,35 основания, для карты масштаба 1:50 000 цена основания поперечного масштаба длиной 2 см равна 1000 м, следовательно, длина измеряемого отрезка составит  $1,35 \times 1000 \text{ м} = 1350 \text{ м}$ .

Доказано, что *точность измерения* с помощью поперечного масштаба равна половине наименьшего деления (для масштаба с основанием 2 см наименьшее деление равно 0,2 мм, а его половина 0,1 мм). Практически средняя погрешность измерения достигает 0,3—0,4 мм (на десятисантиметровом отрезке).

Извилистые линии можно измерять также с помощью *курвиметров* — механических портативных приборов (рис. IV.5). Схематически он представляет собой два колеса разного диаметра, соединенных между собой шестеренкой. Малым колесом 1 курвиметр прокатывается по измеряемой линии; пройденный им путь отмечается стрелкой на шкале большого колеса 2 в см и в масштабе карты. *Точность измерений* курвиметром зависит от извилистости линий и колеблется от 2 до 10 %.

Для исключения просчетов, повышения точности и надежности результатов все измерения рекомендуется проводить дважды при любом способе, в прямом и обратном направлениях (за исключением измерения прямых отрезков одним раствором измерителя). При незначительных расхождениях за окончательный результат принимается среднеарифметическое значение измеренных величин.

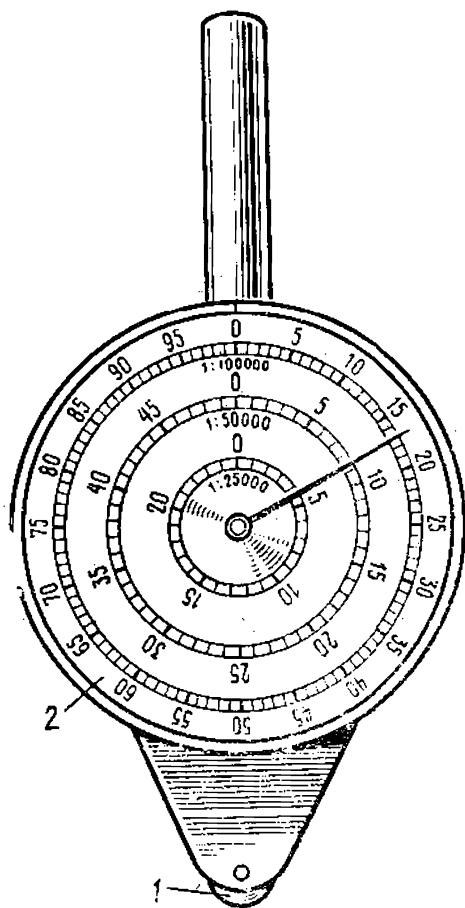


Рис. IV.5. Курвиметр

### § IV.3. Определение географических и прямоугольных координат

Для определения географических (геодезических) координат объектов, имеющих на топографической карте, используются минутная рамка листа и значения долготы и широты углов внутренней рамки.

Работа начинается с прочерчивания на карте ближайших к объекту южной параллели и западного меридиана путем соединения прямыми однозначных меток на противоположных сторонах рамки (под метками понимается обозначение границ минутных и 10-секундных отрезков). Однозначными будут метки, расположенные на равных расстояниях от углов рамки листа с одинаковыми значениями широты или долготы. Затем от объекта (точка  $A$  на рис. IV.6, а) на прочерченные параллель и меридиан опускают перпендикуляры. Широта (долгота) заданной точки складывается из широты (долготы) прочерченной параллели (меридиана) и разности координат  $\Delta B$  ( $\Delta L$ ), т. е. значений, опущенных на соответствующие прямые перпендикуляров в градусном выражении. На рисунке  $L_A = L^3 + \Delta L$ ,  $B_A = B_{Ю} + \Delta B$ ,  $L_3 = 18^\circ 13' 40''$ ,  $B_{Ю} = 54^\circ 49'$ .

Значения  $\Delta B$  и  $\Delta L$  можно вычислить, измерив на карте их длину и длину соответствующего 10- или 60-секундного отрезка в миллиметрах (сантиметрах), а затем решив составленную пропорцию. Например, длина 10-секундного отрезка по широте (на вертикальной стороне рамки) 31 мм, длина  $\Delta B$  — 25 мм, тогда

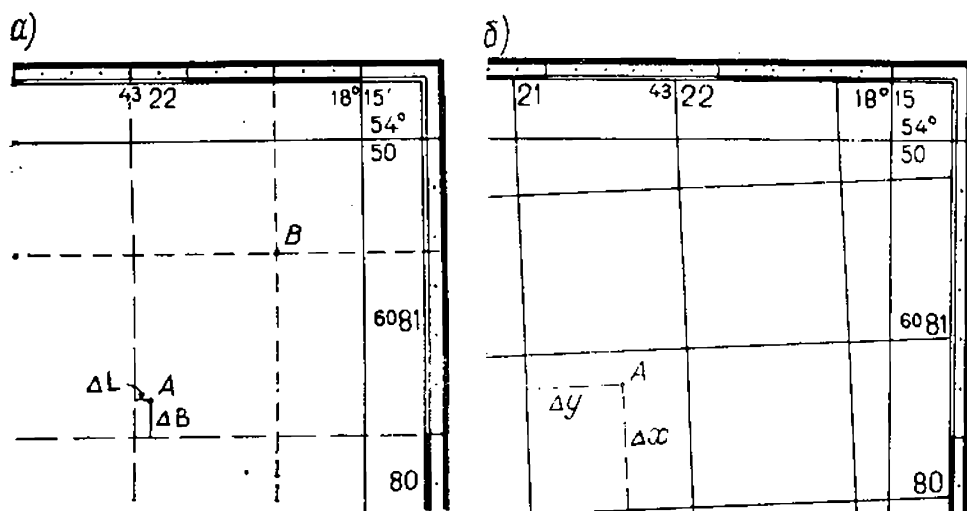


Рис. IV.6. Определение координат:  
а — географических, б — прямоугольных

$\Delta B$  в угловой мере  $x = (10'' \cdot 25 \text{ мм}) : 31 \text{ мм} = 8''$ ,  $B_A = 54^\circ 49' 08''$ , а  $L_A = 18^\circ 13' 45''$ . При умении хорошо определять доли отрезков «на глаз» данную задачу можно решить, сравнив глазомерно длину  $\Delta L$  и  $\Delta B$  с 10-секундными отрезками на сторонах рамки. Для этого целесообразно использовать измеритель. Раствор игл устанавливают равным  $\Delta L$  или  $\Delta B$  и переносят его к сравниваемому отрезку. При определенных навыках можно достаточно точно прочертить параллель и меридиан, отмечающие положение объекта в системе географических координат. В этом случае достаточно определить  $B$  параллели и  $L$  меридиана, проходящих через объект, по меткам минутной рамки (см. точку  $B$  на рис. IV.6:  $B_B = 54^\circ 49' 37''$ ,  $L_B = 18^\circ 14' 30''$ ).

Географические координаты определяются с *точностью* до целых секунд или минут в зависимости от масштаба карты. Точность определения зависит от погрешностей графических построений, от точности карты.

*Положение объекта в системе прямоугольных координат* можно определить приближенно или с точностью, возможной для карты данного масштаба. Основой для этой работы служит километровая сетка листа карты.

*Приближенное указание местоположения объекта* состоит в том, чтобы назвать квадрат километровой сетки, в котором данный объект находится. Для этого достаточно определить значение двух взаимно пересекающихся линий сетки, ограничивающих квадрат с заданным объектом. Принято указывать значения линий сетки, образующих юго-западный угол квадрата, сначала горизонтальной, затем вертикальной. Например, точка  $A$  на рис. IV.6,б находится в квадрате 8021.

Для *точного определения прямоугольных координат объекта* на соответствующие линии километровой сетки от него опускают перпендикуляры и измеряют их длину в масштабе карты. Абсцисса  $x$  точки  $A$  (см. рис. IV.6,б)  $x_A = x_n + \Delta x$ , а ордината  $y_A = y_n + \Delta y$  ( $x_n$  и  $y_n$  — координаты нижней и левой линий сетки по отношению к точ-

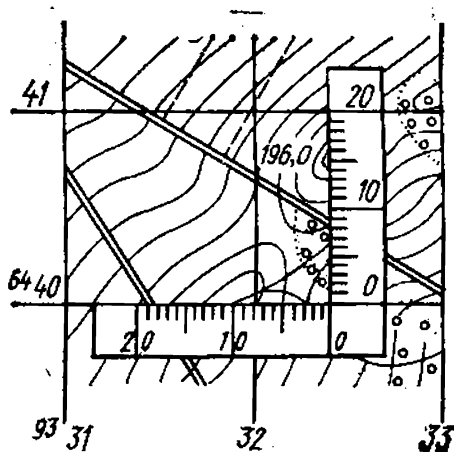


Рис. IV.7. Определение прямоугольных координат координатомером

ке  $A$ ,  $\Delta x$  и  $\Delta y$  — значения опущенных на линии сетки перпендикуляров). В нашем примере  $x_A = 6\,080\,000 + 800 = 6\,080\,800$ ,  $y_A = 4\,321\,000 + 600 = 4\,321\,600$  или сокращенно  $x_A = 80\,800$ ,  $y_A = 21\,600$ . Для определения координат указанным способом используются измеритель и линейный масштаб, вычерченный на листе карты. Работу можно выполнить с помощью линейки с миллиметровыми делениями. Упрощает работу применение *координатомера* (рис. IV.7), который можно изготовить самостоятельно. Оцифровка координатомера и пользование им ясны из рисунка.

*Точность* полученных значений прямоугольных координат определяется точностью линейных измерений в масштабе карты и зависит также от состояния карты и квалификации исполнителя.

#### **§ IV.4. Определение номенклатуры и координат углов рамки листа топографической карты**

Задача определения номенклатуры листа карты заданного масштаба может быть решена с помощью сборных таблиц и путем расчета.

*Сборные таблицы* представляют собой схематические карты мелкого масштаба, на которых даны границы листов топографических карт определенных масштабов и их номенклатура. При отсутствии сборных таблиц для определения номенклатуры листов карты, необходимых для работы, нужно знать географические координаты пунктов  $B_n$  и  $L_n$ , расположенных на интересующей нас территории. Определение номенклатуры листа любого масштаба начинается с установления по координатам пункта номенклатуры листа миллионной карты, состоящей: 1) из буквенного обозначения широтного ряда, которое определяется его порядковым номером  $n_p$ ; 2) из номера колонны  $N$  в общей системе разграфки (см. § III.4). Значения  $n_p$  и  $N$  зависят от размеров миллионного листа ( $4^\circ$  по широте и  $6^\circ$  по долготе). Координаты  $B_n$  и  $L_n$  дают возможность вычислить непосредственно номер зоны  $n$ , который отличается от  $N$  на  $\pm 30$  (см. § III.3). Формулы вычислений таковы:  $n_p = B_n : 4^\circ + 1$ ,  $N = (L_n : 6^\circ + 1) \pm 30$ ; при использовании их следует учитывать, что деление  $B_n$  и  $L_n$  на соответствующие делители проводится до получения целых чисел в частном. Эти числа указывают количество широтных рядов или

зон, расположенных перед теми, в которых находится лист определяемой номенклатуры, следовательно,  $n_p$  и  $N$  этого листа на единицу больше целых чисел в частном. По значению  $n_p$  определяют букву алфавита, обозначающую данный ряд (см. рис. III.8).

**Пример.** Пункт имеет координаты  $B=16^{\circ}15'$  с. ш. и  $L=13^{\circ}20'$  в. д. Отсюда  $n_p=16^{\circ}15':4^{\circ}+1=4+1=5$ ;  $N=(13^{\circ}20':6^{\circ}+1)+30=(2+1)+30=33$ . Пятый широтный ряд обозначается буквой  $E$ , поэтому искомая номенклатура  $E-33$ .

Перед определением номенклатуры листа следующего масштаба необходимо вычислить координаты углов рамки исходного миллионного листа, которые определяются широтой северной  $B_c$  и южной  $B_{ю}$ , долготой восточной  $L_v$  и западной  $L_z$  рамок листа:  $B_c=4^{\circ} \cdot n_p$ ,  $B_{ю}=B_c-4^{\circ}$ ,  $L_v=6^{\circ} \cdot n$ ,  $L_z=L_v-6^{\circ}$ .

**Пример.** Для листа  $E=33$  номер широтного ряда  $n_p=5$ , тогда  $B_c=4^{\circ} \cdot 5=20^{\circ}$ ,  $B_{ю}=20^{\circ}-4^{\circ}=16^{\circ}$ ; номер зоны  $n=3$ , поэтому  $L_v=6^{\circ} \cdot 3=18^{\circ}$ ,  $L_z=18^{\circ}-6^{\circ}=12^{\circ}$ . Правильность вычислений можно проверить по рис. III.9.

На следующем этапе строят схему разграфки миллионного листа на листы карты масштаба 1:500 000, 1:200 000 или 1:100 000 в зависимости от поставленной задачи и вычисляют для их углов координаты. Это дает возможность определить тот лист карты, на котором будет изображен заданный пункт, и номенклатуру.

**Пример.** Чтобы определить номенклатуру листа масштаба 1:500 000 с изображением заданного пункта, исходный миллионный лист делят на четыре части (рис. IV.8) отрезками параллели и меридиана. Широта прочерченной параллели равна  $18^{\circ}$  (среднему значению между широтой северной и южной сторон рамки). Аналогично, долгота прочерченного меридиана  $15^{\circ}$ . Заданный пункт располагается между параллелями с широтой  $16^{\circ}$  и  $18^{\circ}$  и меридианами с долготой  $12^{\circ}$  и  $15^{\circ}$ , следовательно, номенклатура искомого листа масштаба 1:500 000— $E-33-B$ .

Исходным для определения номенклатуры листов масштаба 1:50 000 и крупнее является стотысячный лист с предварительно установленными номенклатурой и координатами углов рамки листа.

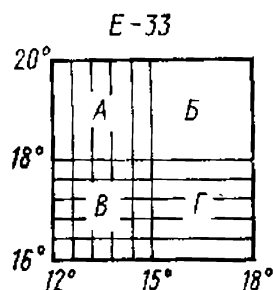


Рис. IV.8. Пример определения номенклатуры листа карты масштаба 1:500 000

## § IV.5. Определение углов ориентирования

Для определения по карте дирекционных углов  $\alpha$  удобно применять способ непосредственного измерения, который состоит в выполнении работы с помощью транспортира. Простота применения этого способа обусловлена наличием вертикальных линий километровой сетки по всему полю карты.

Прежде чем измерять дирекционный угол, полезно представить, как он выразится графически (рис. IV.9,а). Для этого в начальной точке заданного направления нужно провести прямую, параллельную вертикальной линии сетки, и отметить карандашом угол, подлежащий измерению. Если заданное направление пересекает какую-либо линию сетки, дирекционный угол можно измерять в точке их пересечения (на рис. IV.9,а  $\alpha_{AB} = \alpha'_{AB} = \alpha''_{AB}$ ). Если  $\alpha$  больше  $180^\circ$ , то к отсчитанному по транспортиру значению угла прибавляют  $180^\circ$  (на рис. IV.9,б показано рекомендуемое положение транспортира при измерении углов); применение круговых транспортиров упрощает работу.

Точность измерения углов транспортиром диаметром 20 см (геодезический транспортир) составляет примерно  $15'$ .

С большей точностью (до  $3-5'$ ) дирекционный угол определяется графо-аналитическим способом с помощью линий километровой сетки (рис. IV.10). Заданное направление  $AB$  продолжают в обе стороны до пересече-

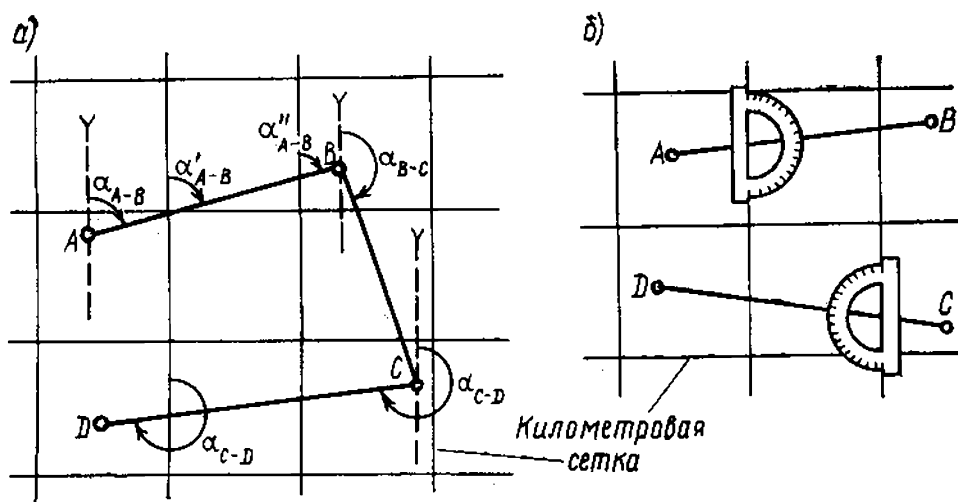


Рис. IV.9. Дирекционные углы:

а — графическое представление, б — положение транспортира при измерении углов

ния с линиями сетки (точки  $A_1$  и  $B_1$ ), измеряют отрезки  $A_1C$  и  $B_1C$  и по формуле тангенса угла, которая в данном случае имеет вид  $\operatorname{tg} r = B_1C : A_1C$ , вычисляют тригонометрическую функцию угла, а затем и сам угол. Следует обратить внимание на то, что при этом получают величину румба, которую легко преобразовать в дирекционный угол (см. § I.10).

Наиболее надежно дирекционный угол определяется решением обратной геодезической задачи по прямоугольным координатам начальной и конечной точек заданного направления.

Азимут географический  $A$  (по карте определяется азимут геодезический) и азимут магнитный  $A_m$  вычисляют при известном значении  $\alpha$  по формулам зависимости между углами ориентирования (см. § I.10). Необходимые для этого значения  $\delta$  и  $\gamma$  даются под южной стороной рамки листа карты (*алгебраический способ*).

**Пример.** На карте  $У-34-37-B$  (рис. IV.11)  $\delta = 6^\circ 15'$ ,  $\gamma = -2^\circ 21'$ , дирекционный угол направления Ивановка--Волково  $\alpha = 178^\circ 30'$ , тогда  $A = 178^\circ 30' - 2^\circ 21' = 176^\circ 09'$ ,  $A_m = 176^\circ 09' - 6^\circ 15' = 169^\circ 54'$  или  $A_m = 178^\circ 30' - (6^\circ 15' - (-2^\circ 21')) = 169^\circ 54'$ .

Вычисление азимутов можно провести *геометрическим (графическим) способом*, используя схему взаимного расположения исходных направлений ориентирования (см. рис. III.19). На рис. IV.11 видно, что графиче-

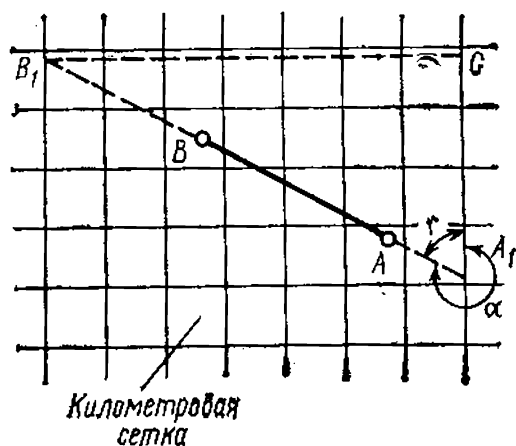


Рис. IV.10. Определение дирекционного угла графо-аналитическим способом

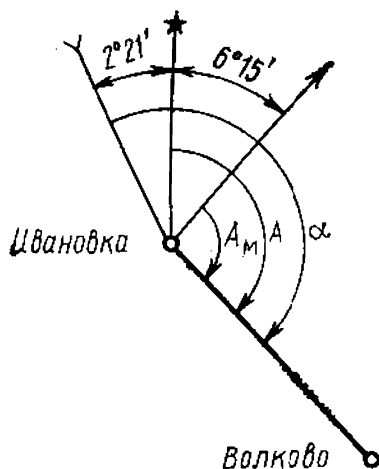


Рис. IV.11. Определение углов ориентирования с помощью схемы взаимного расположения исходных направлений

ская величина  $A$  меньше  $\alpha$  на  $2^{\circ}21'$ , а  $A_m$  — на величину  $(2^{\circ}21' + 6^{\circ}15')$ .

Азимут географический можно *непосредственно измерить по карте*, проведя с помощью меток на минутной рамке меридиан, пересекающий заданное направление.

#### **§ IV.6. Определение количественных характеристик рельефа и другие задачи, решаемые по карте с помощью горизонталей**

Горизонтالي позволяют изучать по топографическим картам *особенности рельефа* изображенной на них местности. По размещению горизонталей можно представить отдельные формы рельефа, а также формы скатов (рис. IV.12). Густота горизонталей на том или ином участке отражает крутизну скатов: чем гуще расположены горизонтали, тем круче изображаемые ими скаты. Линейно вытянутые положительные и отрицательные формы рельефа изображаются на карте системой V-образных горизонталей, но выпуклые формы, как правило, шире вогнутых, поэтому горизонтали, передающие возвышенные участки, имеют более плавные очертания, пониженные участки (лощины, балки и др.) изображаются горизонталями с большей кривизной по линии тальвега и сближенными между собой. Горизонтали, выпуклые в сторону понижения местности, изображают положительные формы рельефа, вогнутые — отрицательные формы рельефа (понижается местность всегда к рекам, озерам и др.). Изменение направления горизонталей отражает изменение экспозиции склонов рельефа местности: чем резче меняется ориентировка скатов, тем большую кривизну в соответствующих местах имеют горизонтали. Ровные плоские участки скатов изображаются прямыми, параллельными друг другу горизонталями.

По карте определяют абсолютную и относительную высоту точек местности, крутизну скатов, площадь затопления в районе строительства плотин, водосборную площадь водотока или водоема, составляют орографическую схему местности, строят профиль и др. Составная часть решения этих задач — умение проводить по карте *линии ската*, т. е. линии наибольшей крутизны, соответствующие кратчайшему расстоянию между горизонталями. Направление ската определяется направлением понижения рельефа (рис. IV.13). Линия ската



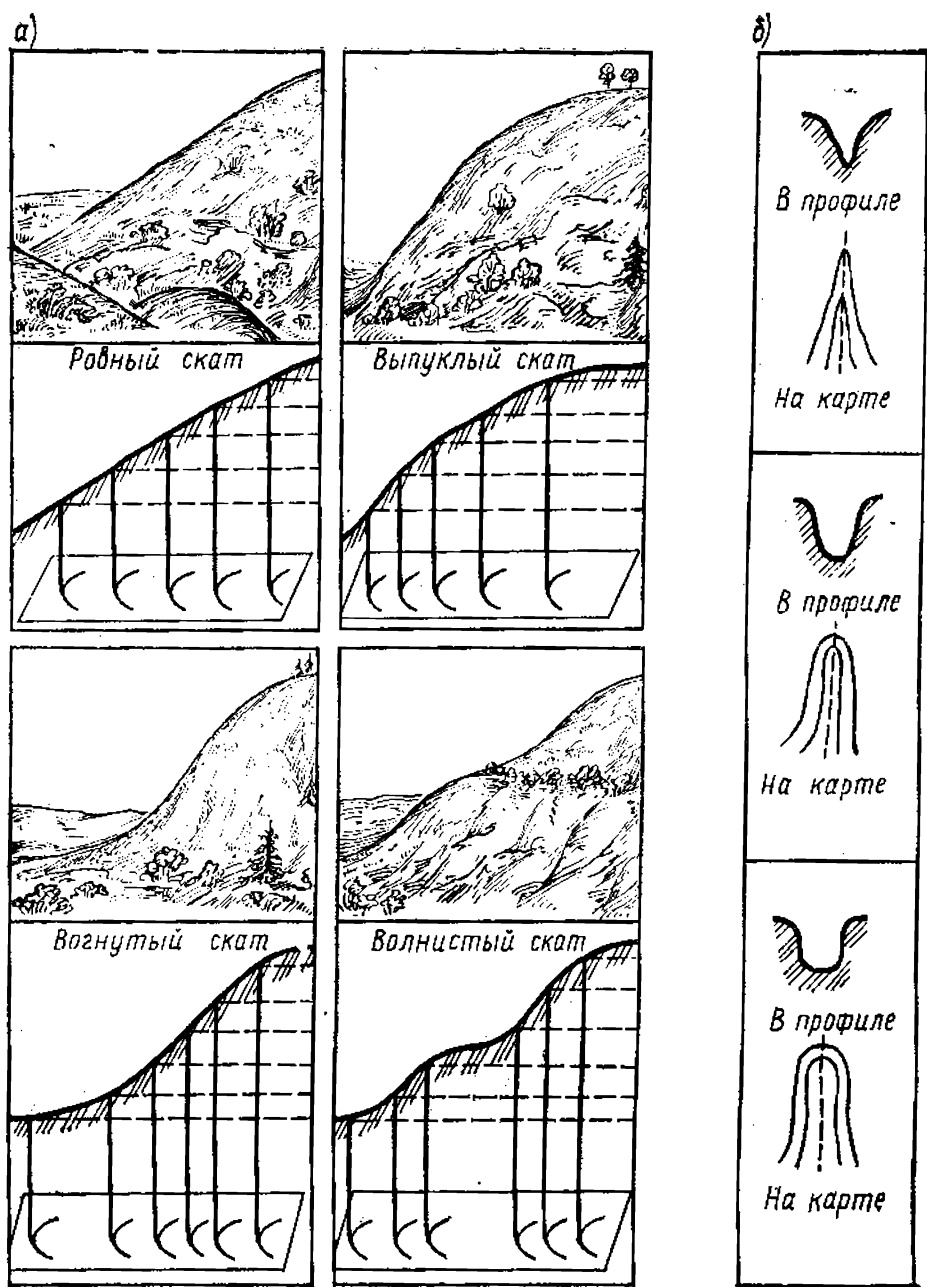


Рис. IV.12. Изображение горизонталями:

а — скатов разной формы, б — ложин, балок и других отрицательных форм рельефа

может быть проведена через любую точку рельефа, расположенную между горизонталями. В отдельных случаях она принимает вид кривой, проходящей через заданную точку. Концы ее сохраняют перпендикулярность к ближайшим горизонталям (линия ската для точки А на рис. IV.13).

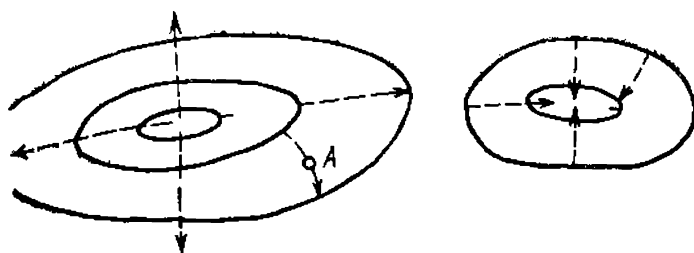


Рис. IV.13. Линии ската

Зависимость между элементами рельефа и их изображением на карте показана на рис. IV.14:  $h$  — высота сечения рельефа,  $d$  — заложение ската,  $v$  — угол наклона ската.

Для определения абсолютных высот точек необходимо установить отметки высоты не подписанных горизонталей. При этом следует помнить, что отметки горизонталей всегда кратны высоте сечения рельефа на карте данного масштаба. Решение задачи рассмотрим на примере. Если вблизи определяемой горизонтали  $a$  имеется горизонталь  $b$  с известной высотой  $H_b$  (рис. IV.15), то следует подсчитать количество промежутков  $n$  между горизонталями  $a$  и  $b$ , выяснить направление ската, умножить  $n$  на высоту сечения рельефа  $h$  (она указывается на листе карты), полученный результат прибавить к исходной высоте, так как в сторону определяемой горизонтали рельеф повышается, т. е.  $H_a = H_b + (h \times n) = 150 \text{ м} + (5 \text{ м} \times 3) = 165 \text{ м}$ . Высоту горизонтали можно определить также по отметке ближайшей к ней точки. Предварительно выяснив направление ската, подбирают число, близкое по значению к отметке точки (большее или меньшее в зависимости от направления ската) и одновременно кратное высоте сечения. На рис. IV.15  $H_a = 167,2 \text{ м}$ ,  $h = 5 \text{ м}$ , горизонталь  $a$  располагается ниже

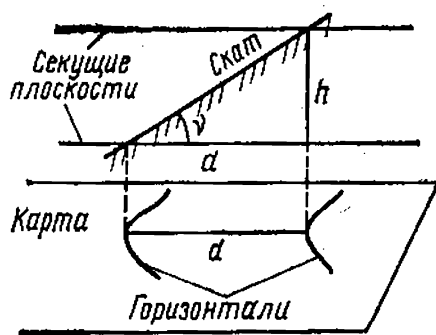


Рис. IV.14. Элементы рельефа и их изображение на карте

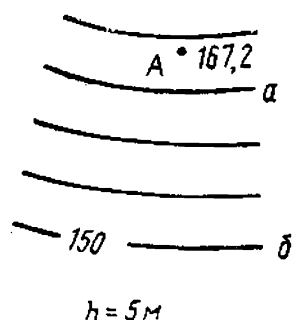


Рис. IV.15. Определение отметки высоты горизонтали

точки  $A$ , поэтому  $H_a = 165$  м, так как данное число удовлетворяет указанным требованиям.

При определении абсолютных отметок точек местности могут встретиться разные варианты решения задачи: 1) отметка точки указана на карте и поэтому не требуются какие-либо вычисления; 2) точка лежит на горизонтали, следовательно, ее высота равна отметке этой го-

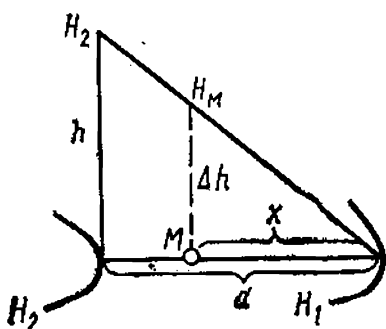


Рис. IV.16. Определение отметки высоты точки

ризонти; 3) точка лежит в промежутке между горизонталями, и отметка ее высоты может быть определена *методом интерполяции*, т. е. нахождения промежуточного значения величины по ее граничным значениям. Последний вариант рассмотрим подробнее. Через заданную точку на карте прочерчивают направление ската, определяют отметку ближайшей к ней горизонтали, расположенной ниже по скату. Высота точки  $H_M$  (рис. IV.16) складывается из высоты горизонтали  $H_1$  и превышения точки над этой горизонталью  $\Delta h$ . Превышение  $\Delta h$  — это разность высоты точки  $M$  ( $H_M$ ) и горизонтали  $H_1$ . Для его вычисления по карте измеряют (в мм) расстояние между двумя горизонталями по линии ската (заложение  $d$ ), проведенной через заданную точку, а также между горизонталью с отметкой  $H_1$  и определяемой точкой (расстояние  $x$ ). Составляют пропорцию  $\Delta h : x = h : d$ , откуда  $\Delta h = (h : d)x$ , где  $h$  — высота сечения рельефа,  $H_M = H_1 + \Delta h$ . При достаточных навыках интерполяции значений высоты между горизонталями можно проводить глазомерно.

Так как *относительная высота* — это разность абсолютных высот точек, их вычисление не требует дополнительных пояснений.

*Точность определения абсолютных и относительных высот точек* зависит от погрешностей в высотах горизонталей, обусловленных точностью съемки, характером рельефа, масштабом карты и т. д. и составляет около  $1/4$  высоты сечения для плоскоравнинных районов, около  $1/2$  высоты сечения для пересеченных и всхолмленных равнинных районов, целое сечение и больше — для горных.

*Угол наклона ската* по карте определяется таким образом. Вначале вычисляется тангенс угла наклона  $\gamma$ ,

характеризующий *уклон местности  $i$* . Это возможно, потому что направление, по которому определяется высота сечения, перпендикулярно направлению заложения ската, а оба эти направления вместе с линией ската образуют прямоугольный треугольник (см. рис. IV.14). Таким образом,

$$i = \operatorname{tg} v = h : d. \quad (\text{IV.6})$$

По тангенсу определяют значение угла наклона с помощью таблиц тригонометрических функций. При небольшой крутизне ската можно принять  $\operatorname{tg} v = v/\rho$ , тогда  $v^\circ = (h : d)\rho^\circ$ . Приняв  $\rho^\circ = 60$  (как результат округления 57), получим простую формулу для вычисления малых углов наклона:

$$v^\circ = (h : d) 60. \quad (\text{IV.7})$$

Упрощает определение углов наклона *график заложений*, показывающий зависимость между величиной заложения ската и углами наклона (рис. IV.17): длины вертикальных отрезков между горизонтальным основанием графика и располагающейся над ним кривой равны заложению при конкретном значении угла наклона, которое указывается под основанием. Методика применения графика ясна из рис. IV.17. На карте график заложений состоит из двух частей (см. рис. III.19). Одна из них построена для основной высоты сечения, которая принята для изображения рельефа на карте и используется при определении углов наклона между двумя соседними горизонталями; другая — с укрупненной высотой сечения между ближайшими утолщенными горизонталями.

На основании зависимости между крутизной скатов и густотой горизонталей легко определить минимальные и максимальные значения углов наклона на заданном направлении (а также уклонов): максимальные значения их будут на участке с наиболее густым расположе-

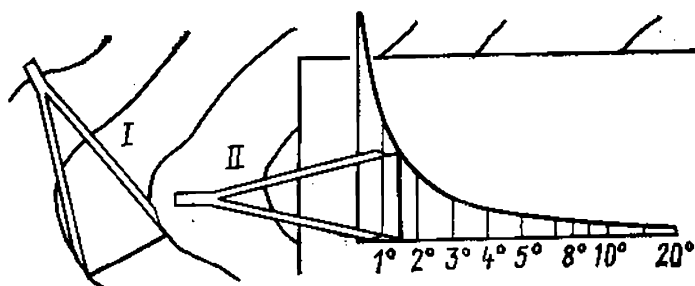


Рис. IV.17. Определение крутизны ската с помощью графика заложений

нием горизонталей, минимальные там, где расстояние между горизонталями наибольшее.

*Точность определения крутизны склонов по карте* зависит главным образом от ее величины: чем круче скат, тем больше погрешность в высотном положении горизонталей. Установлено, что по графику заложений крутизна скатов до  $5^\circ$  определяется с точностью до  $30'$ ,  $5-10^\circ$  — с точностью до  $1^\circ$ . Крутизну более  $20^\circ$  рекомендуется вычислять по тангенсам углов наклона.

*Орографическая схема рельефа местности* получается в результате проведения по карте линий водоразделов и тальвегов. Для овладения навыками этой работы полезно научиться определять точки, через которые могут быть проведены линии водоразделов и тальвегов. Водоразделы проходят по точкам, от которых линии скатов расходятся в разные стороны, тальвеги — по точкам, в которых линии скатов сходятся (рис. IV,18,а). Размещаются такие точки в местах наибольшей кривизны горизонталей. После приобретения некоторого опыта необходимость проведения множества линий скатов отпадает. Пример орографической схемы дан на рис. IV.18,б.

*Профиль местности* — изображение ее вертикального разреза. Он характеризует взаимное положение точек как *на горизонтальной плоскости* в определенном направлении, так и *над ней*. Построение профиля ведется в двух направлениях: горизонтальном и вертикальном. Работа начинается проведением на карте линии профиля, вдоль которой изучают особенности рельефа. При необходимости прочерчивают пересекающие линию профиля водоразделы и тальвеги. Определяют отметки всех горизонталей по этой линии и намеченных дополнительно точек (если горизонтали располагаются по линии профиля густо, можно ограничиться отметками точек пере-

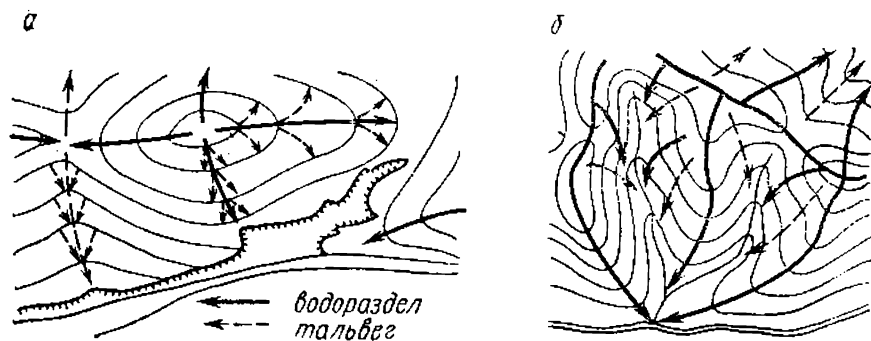


Рис. IV.18. Положение водоразделов и тальвегов, определяемое по горизонталям (а) и образуемая ими орографическая схема (б)

гибов склона). На листе бумаги проводят горизонтальную линию (основание профиля), вдоль которой намечают положение точек, необходимых для построения профиля. Масштаб нанесения точек (горизонтальный масштаб профиля) может быть равен масштабу карты или отличаться от него. При равенстве масштабов для указания положения точек профиля на основании можно воспользоваться листом бумаги, который прикладывают к линии профиля на карте, намечают по краю нужные точки, а затем совмещают этот край с основанием профиля и переносят на него намеченные точки. При разных масштабах расстояния между точками профиля на карте увеличивают или уменьшают согласно соотношению масштабов профиля и карты. Отметки намеченных точек подписывают под основанием. Чтобы показать на профиле различия в положении точек по высоте, строят шкалу высот. Для этого восстанавливают у левого конца основания перпендикуляр, размечают его на равные отрезки и указывают их значения в установленном вертикальном масштабе профиля, который обычно в 5—10 раз крупнее горизонтального. Такое укрупнение обусловлено тем, что относительные высоты точек профиля значительно меньше планового расстояния между ними (за исключением горных районов). Поэтому при сохранении равных масштабов построения различия по высоте мало заметны. Шкала высот начинается с абсолютной отметки, выбранной для основания профиля, так называемой *точки (линии) условного горизонта*. Ее значение должно быть меньше минимальной абсолютной отметки по линии профиля и выражено круглым числом. В зависимости от выбранной точки условного горизонта оцифровывают остальные деления шкалы высот. Работа по построению профиля упрощается, если оцифровка шкалы высот совпадает со значениями отметок горизонталей на карте. С помощью шкалы высот на перпендикулярах, восстановленных из каждой точки на основании профиля, отмечают их высотное положение (как результат пересечения перпендикуляров и горизонтальных линий, проведенных параллельно основанию в соответствии со шкалой высот). Точки профиля соединяют плавной кривой (рис. IV.19). Удобно строить профиль на миллиметровой (масштабно-координатной) бумаге.

По водораздельным линиям определяют границы *водосборной площади (бассейна) водотока* или *водоема*. Водосборной называется площадь, с которой вода сте-

каёт в реку (озеро) или речную систему (рис. IV.20).

По карте определяют также площадь затопления — территорию, которую заливают вода в результате строительства искусственного водоема. Работа начинается с нанесения на карту положения плотины с учетом отметки уровня воды в будущем водоеме. Условие будет выполнено, если на месте возведения плотины соединить на противоположных склонах водотока одноименные горизонтали с заданной высотой. Площадь затопления ограничится горизонталью, замыкаемой плотиной (рис. IV.20).

Если отметки горизонталей не соответствуют уровню будущего водоема, то для определения его контура методом интерполяции находят точки с заданной высотой, которые затем соединяют кривой. Следует обратить внимание на особенности оконтуривания водосборной площади реки и водоема: для реки граница замыкается в ее устье, для водоема — на концах плотины.

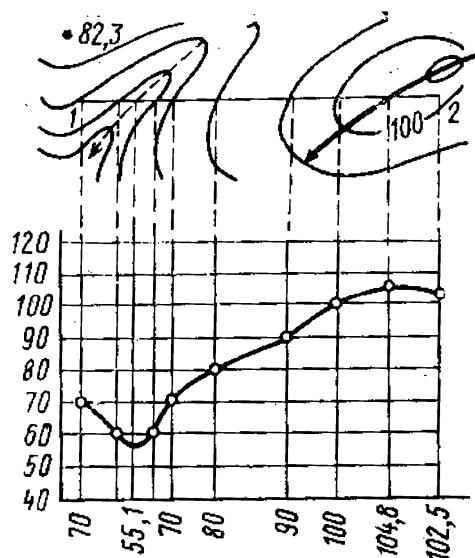


Рис. IV.19. Построение профиля по топографической карте

## § IV.7. Определение площадей

Под определением площади какого-либо участка по топографической карте понимается совокупность измерительных и вычислительных работ, в результате которых вычисляется площадь участка в *земельной мере* (квадратных метрах, гектарах и др.). При этом определяется площадь не физической поверхности участка местности  $P_{\phi}$ , а ее проекции  $P$  на горизонтальную плоскость (рис. IV.21);  $P = P_{\phi} \cos \gamma$ , откуда  $P_{\phi} = P : \cos \gamma$ .

В зависимости от необходимой точности результатов применяют разные способы определения площади: с помощью палетки, графический, механический, взвешиванием, аналитический, фотоэлектронный (способы перечислены в порядке увеличения точности получаемых результатов). Каждый из способов может применяться самостоятельно или в комбинации с другими.

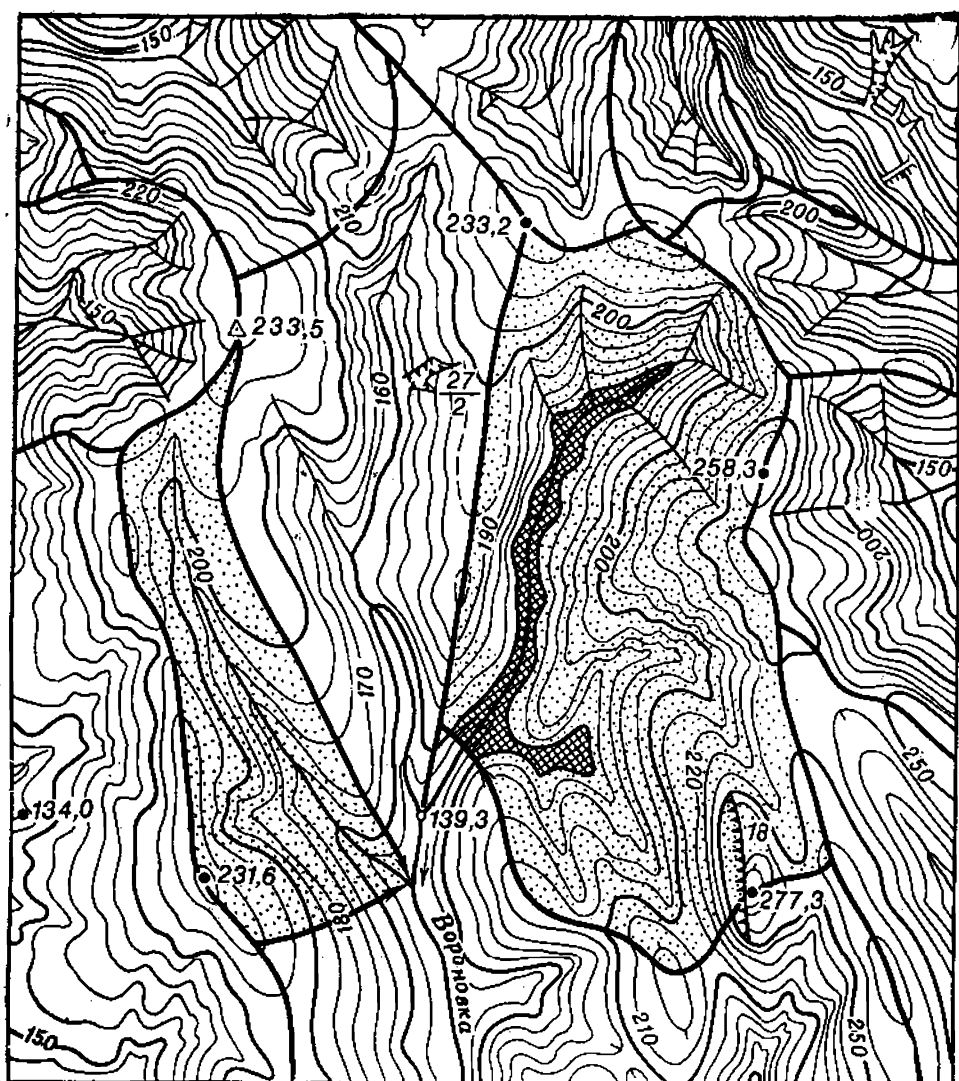


Рис. IV.20. Определение водосборной площади и площади затопления по карте

**Палетки.** Это графические построения в виде сетки квадратов (рис. IV.22, а), параллельных равноотстоящих линий (рис. IV.22, б) и других, выполненных на какой-либо прозрачной основе.

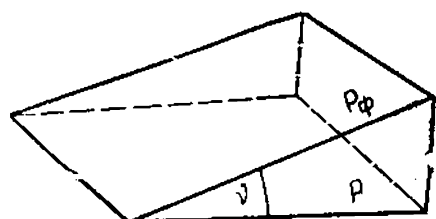


Рис. IV.21. Взаимное положение физической поверхности участка местности и горизонтальной плоскости

Перед началом работы с квадратной (сетчатой) палеткой определяют величину ее деления  $p$  в  $\text{мм}^2$  или  $\text{см}^2$ . Известно, что  $p = a^2$ , где  $a$  — сторона деления палетки в мм или см.

Для определения площади участка (в делениях па-



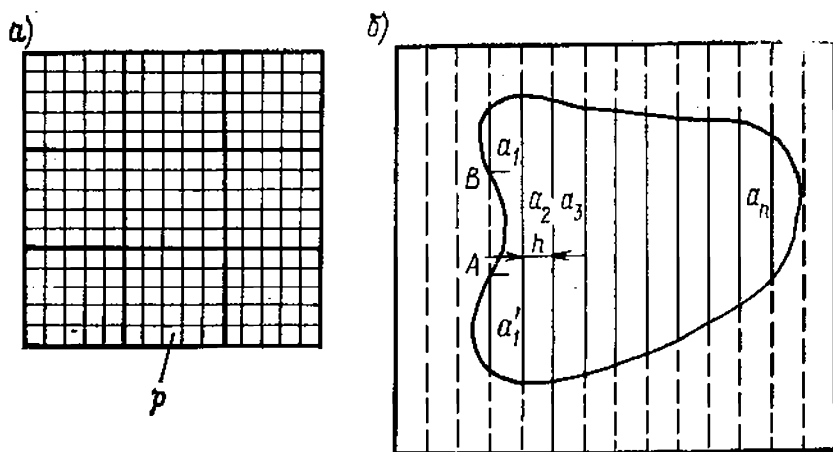


Рис. IV.22. Палетка:  
а — квадратная, б — параллельная

летки) при  $P=n_p$  палетку накладывают на измеряемый участок и подсчитывают количество ее делений  $n_p$ , заключенных внутри контура участка. При этом  $n_p=n+(n':2)$ , где  $n$  — количество полных, а  $n'$  — количество неполных делений (рассекаемых контуром участка).

Чтобы выразить измеряемую площадь участка  $P$  в земельной мере ( $\text{м}^2$ , га,  $\text{км}^2$ ), вычисляют *цену деления палетки*  $c_p$ , т. е. число единиц земельной меры для карты конкретного масштаба, соответствующее одному делению палетки:

$$c_p = (ac)^2,$$

где  $c$  — цена 1 мм (1 см) в масштабе карты в зависимости от единицы измерения величины  $a$ ;

$$P = n_p c_p.$$

Измерение повторяют, изменив положение палетки относительно первоначального, причем следует накладывать палетку каждый раз так, чтобы контур участка пересекал как можно меньше делений палетки. Затем определяют точность измерений по формулам (II.9) — (II.11) и сравнивают ее значение с допустимым. Если условие (II.11) выполняется, то за окончательное значение  $P$  принимают среднее арифметическое из двух результатов измерений. Считается, что допустимая *точность* вычисления площади с помощью палетки составляет  $1/50$  —  $1/100$  измеряемой площади.

Квадратные палетки рекомендуется применять для определения площадей малых участков (до  $3 \text{ см}^2$ ) с криволинейными границами. При приблизительных под-

счетах их используют и для определения площадей значительных по размерам территорий. Основным недостаток таких палеток — возможность грубого просчета в определении количества делений.

Вероятность грубых просчетов уменьшается при использовании *параллельной (линейчатой) палетки*. Контур, измеряемый такой палеткой, оказывается расчлененным на фигуры, близкие по форме к трапециям с основаниями  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , высота которых  $h$  постоянная (рис. IV.22,б). Сумма площадей этих трапеций составит площадь контура, т. е.

$$P = [h(a_1 + a_2 + \dots + a_n)] c_p = c_p \left( h \sum_1^n a_i \right),$$

где  $c_p$  — цена 1 мм<sup>2</sup> (1 см<sup>2</sup>) в зависимости от единицы измерения  $a$  и  $h$ .

При использовании параллельной палетки измеряют отсекаемые контуром участка отрезки линий палетки. Проводить такие измерения целесообразно способом наращивания (см. § IV.2). Результаты вычислений выражают в масштабе карты. Параллельной палеткой не рекомендуется измерять площадь участков больше 10 см<sup>2</sup>.

**Графический способ.** Целесообразно применять для вычисления площадей участков размером до 15 см<sup>2</sup>. Участок, имеющий форму многоугольника, разбивается на простые фигуры, площадь которых может быть вычислена по известным формулам. Доказано, что наиболее точные результаты получаются при разбивке участка на треугольники, особенно если у них равны основание  $a$  и высота  $h$ . Имеющиеся на участке криволинейные отрезки границы заменяют близкими к ним отрезками прямой (рис. IV.23). Результаты вычислений пе-

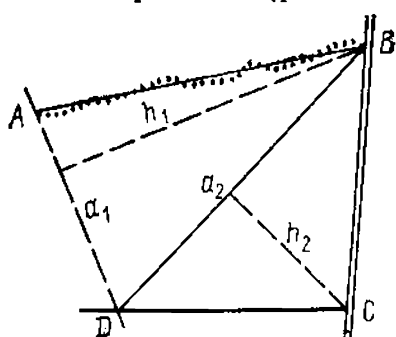


Рис. IV.23. Определение площади участка графическим способом

реводят в масштаб карты. Площадь участка

$$P = c_p \sum_1^n \frac{a_i h_i}{2}.$$

Точность способа колеблется в пределах  $1/100$ — $1/200$ .

**Механический способ.** Основан на применении *планиметра* — прибора, позволяющего сравнительно быстро и до-

статочно точно измерить площадь участка любой конфигурации. При непосредственном измерении планиметром какого-либо участка его площадь получается в делениях планиметра и может быть выражена формулой

$$P = n_{\text{п}},$$

где  $n_{\text{п}}$  — количество делений планиметра. Теоретически одно деление планиметра представляет собой некоторый прямоугольник в несколько квадратных миллиметров или сантиметров (это зависит от подготовки прибора к работе). Чтобы выразить площадь участка в земельной мере, необходимо установить *цену деления планиметра*  $c_{\text{п}}$ . В таком случае площадь участка определяется по формуле

$$P = n_{\text{п}} c_{\text{п}}. \quad (\text{IV.8})$$

Цена деления планиметра — это соответствующая ему в масштабе карты площадь участка местности в земельной мере. Задача определения  $c_{\text{п}}$  решается установлением количества делений планиметра  $n_{\text{п}}'$ , приходящихся на участок, площадь которого  $P'$  заранее известна (обычно это квадраты километровой сетки карты):

$$c_{\text{п}} = P' : n'.$$

Среди приборов разной конструкции наибольшее распространение имеют полярные планиметры (рис. IV.24). Они состоят из двух рычагов 1 и 5, соединяющихся между собой шарниром 8, и счетного механизма 6. Полусный рычаг 1 снабжен цилиндром 2, имеющим иглу, с помощью которой планиметр закрепляется на рабочей поверхности. Игла выполняет роль полюса, вокруг которого перемещаются рычаги планиметра в процессе работы. Обводной рычаг 5 оканчивается обводной иглой 4 (или индексом 4'), которой ведут по контуру измеряемого участка, держась за рукоятку 3. Действие счетного механизма планиметра (рис. IV.25) основано на вращении счетного барабана 2 в процессе измерения при соприкосновении его ободка 3 с поверхностью карты. Одна тысячная окружности ободка барабана является *единицей измерения площади — делением планиметра*. Деления планиметра отсчитываются с помощью шкал счетного механизма: окружность барабана разделена на 100 частей; для снятия отсчета по барабану механизм снабжен верньером 1 с нулевым штрихом и шкалой, позволяющей определять десятые доли деления барабана (это составляет  $1/1000$  его окруж-

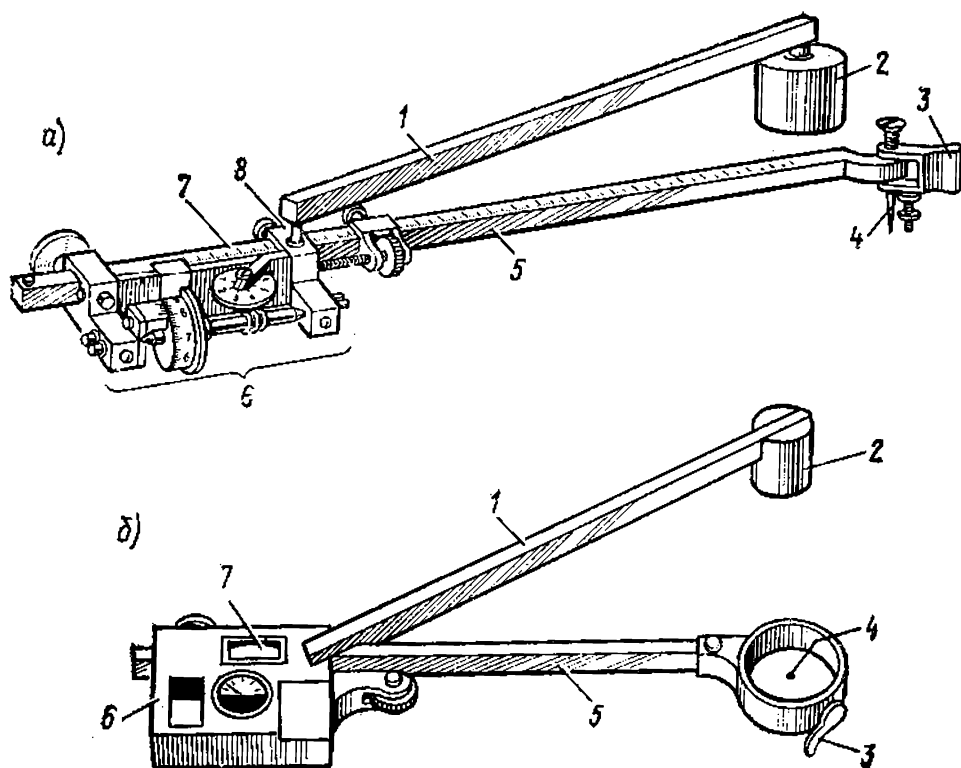


Рис. IV.24. Полярные планиметры:

а — Амслера, б — ПП-М

ности). Количество оборотов барабана отсчитывается по циферблату 4 с указателем 5. Полный оборот циферблата составляет 10 000 делений планиметра.

Отсчет по счетному механизму состоит из четырех цифр. Первая из них отсчитывается по циферблату — это младшая из двух цифр, определяемая по отношению к указателю. Если указатель (частный случай) находится над цифрой циферблата, тогда следует вначале взглянуть на отсчет по барабану. Если он в пределах от 90 до 0 (100), то первой записывается цифра, предшествующая той, над которой стоит указатель; если же отсчет в интервале от 0 до 10, записывается цифра, на которую указывает указатель. Вторая и третья цифры отсчета определяются по счетному барабану относительно нулевого штриха верньера, т. е. вторая — это младшая из двух цифр по отношению к нулю верньера, третья — количество целых делений барабана между

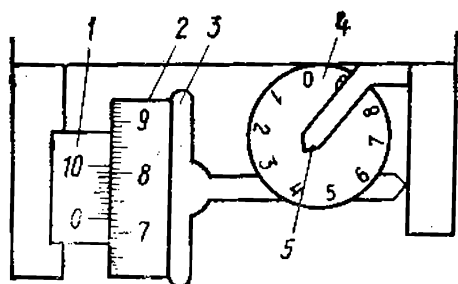


Рис. IV.25. Счетный механизм планиметра

указатель. Вторая и третья цифры отсчета определяются по счетному барабану относительно нулевого штриха верньера, т. е. вторая — это младшая из двух цифр по отношению к нулю верньера, третья — количество целых делений барабана между

считанной младшей цифрой и нулем верньера. Четвертая цифра соответствует порядковому номеру штриха верньера, совпадающего с каким-либо штрихом барабана (образующего с ним общую линию). На рис. IV.25 отсчет равен 3721.

Схема работы с планиметром такова: карта закрепляется на поверхности стола; прибор устанавливается в рабочее положение, при котором обводной индекс совмещен с четко выраженной точкой на границе участка. Рычаги располагаются так, чтобы угол между ними был близок к  $90^\circ$ , а при обводе контура участка он не был меньше  $30^\circ$  и больше  $150^\circ$  (соблюдение этого условия проверяется беглым обводом контура). Игла полюсного цилиндра после установки положения рычагов вдавливается в поверхность стола. Снимается отсчет по счетному механизму  $N_{\text{нач}}$ ; обводится контур участка обводным индексом и вновь снимается отсчет  $N_{\text{кон}}$ ; вычисляется разность отсчетов  $n_{\text{п}}$  по формуле  $n_{\text{п}} = N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}}$ . Полученная разность выражает площадь в делениях планиметра.

Формула (IV.8) используется в том случае, когда площадь измеряемого участка относительно невелика и планиметр в процессе работы располагается за пределами контура. При измерении больших участков планиметр находится внутри контура, и для вычисления его площади используется формула

$$P = (n_{\text{п}} + Q) c_{\text{п}},$$

где  $Q$  — постоянное число планиметра, вычисляемое по формуле

$$Q = P' : c_{\text{п}} - n_{\text{п}}'.$$

В результате определения  $c_{\text{п}}$  нередко не имеет круглого значения, что осложняет дальнейшие вычисления. Величину  $c_{\text{п}}$  можно изменить, привести ее к значению, удобному для вычислений, например 0,1 га. Это достигается изменением длины обводного рычага, т. е. расстояния между обводным индексом и положением счетного механизма, определяемого по шкале 7 обводного рычага (см. рис. IV.24). Требуемую длину рычага  $R$  вычисляют по формуле

$$R = R' c_{\text{п}} : c_{\text{п}}',$$

где  $R'$  — первоначальная длина рычага,  $c_{\text{п}}'$  — первоначальная цена делений,  $c_{\text{п}}$  — желаемая цена деления.



Рис. IV.26. Взаимное положение рычагов планиметра (а) и его изменение при измерении площади участка (б)

После вычисления счетный механизм перемещают по рычагу до полученного значения деления его шкалы.

Рычаги планиметра при обводе контура могут занимать положение, при котором полюс будет расположен справа по отношению к счетному механизму (положение «полюс право») или слева (положение «полюс лево»), как указано на рис. IV.26,а. Обвод контура при двух положениях рычагов снижает влияние конструктивных погрешностей планиметра. Изменение положения рычагов рекомендуется проводить, не изменяя положение полюса (рис. IV.26,б).

Перед началом работы следует внимательно изучить прилагаемую к планиметру инструкцию с подробным описанием прибора и правил обращения с ним. Одно из основных правил: для ослабления конструктивных погрешностей обвод измеряемого участка проводят минимум дважды при разных положениях полюса. Расхождение результатов обводов не должно превышать двух делений при площади участка до 200 делений, трех — если площадь его равна 200—2000 делений планиметра.

Точность определения площади планиметром зависит от многих причин. Установлено, что с его помощью целесообразно измерять участки более 20 см<sup>2</sup>. Малые участки, а также линейно вытянутые объекты (дороги, канавы, реки и др.) лучше измерять палеткой или графическим способом. При благоприятных условиях работы точность результатов близка к  $1/200$ — $1/400$  измеряемой площади. Пример вычисления площади планиметром дан в табл. IV.1.

**Способ взвешивания.** Он основан на применении точных аналитических весов. Измеряемый участок переносят на прозрачный недеформирующийся пластик, вырезают по контуру и взвешивают. Из полученного конту-

Таблица IV.1

№ контура	Отсчеты		Разность отсчетов	Средняя разность	Площадь, га	Цена деления, га
	полюс право	полюс лево				

Определение цены деления. Длина обводного рычага 165,1

	2371 3386 4402		1015 1016	1015,5	100,00	0,09847
		0413 1429 2444	1016 1015			
		Длина обводного рычага 167,6				
	4554 5555 6554		1001 999	1000,0	100,00	0,10
		3811 4811 5812	1000 1001			
I	1032 1395		363	362	36,20	
		0985 1346	361			

ра вырезают эталонную фигуру (квадрат, круг), площадь которой вычисляется по известным формулам, и тоже взвешивают. Тогда

$$P = B_k P_э : B_э,$$

где  $B_k$  — масса целого контура,  $B_э$  — масса эталона,  $P_э$  — площадь эталона.

Точность этого способа не уступает точности механического, но производительность его выше.

**Аналитический способ.** Это способ вычисления площади участка по известным координатам точек контура, которые определяются на основании полевых изме-

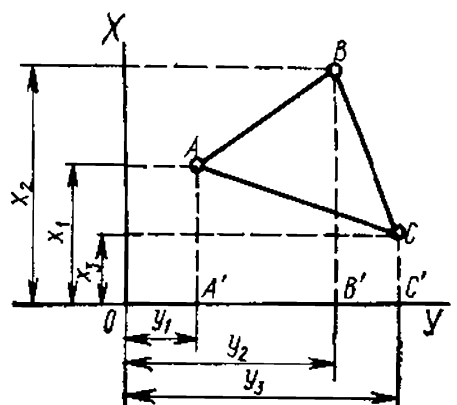


Рис. IV.27. Определение площади участка аналитическим способом

рений (см. § VII.1). Рассмотрим этот способ на простом примере.

Площадь треугольника  $ABC$  с известными координатами вершин (рис. IV.27) можно выразить алгебраической суммой трапеций  $A'ABB'$ ,  $B'BCC'$ ,  $A'ACC'$ , т. е.

$$P_{ABC} = P_{A'ABB'} + P_{B'BCC'} - P_{A'ACC'};$$

$$2P = (x_1 + x_2)(y_2 - y_1) + (x_2 + x_3)(y_3 - y_2) - (x_1 + x_3)(y_3 - y_1).$$

После преобразования

$$2P = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2),$$

$$2P = y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1).$$

В общем случае формулы имеют вид

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

Вычисления проводятся по двум формулам для контроля (пример дан в табл. IV.2).

Таблица IV.2

№ пункта	$x$	$y$	$x_{i-1} - x_{i+1}$	$y_{i+1} - y_{i-1}$	$y_i(x_{i-1} - x_{i+1})$	$x_i(y_{i+1} - y_{i-1})$
1	+735,41	+811,28	+405,71	+221,12	+329 144	+162 614
2	+370,50	+725,16	+394,34	-408,42	+285 960	-151 320
3	+341,07	+402,86	-287,03	-447,90	-115 633	-152 765
4	+657,53	+277,26	-435,14	+101,18	-120 647	+66 529
5	+776,21	+504,04	-77,88	+534,02	-39 255	+414 512
			+800,05	+856,32	+615 104	+643 655
			-800,05	-856,32	-275 535	-304 085
	$2P$		0,00	0,00	339 569	339 570
	$P$				169 785 м <sup>2</sup> ≈ 17 га	

Точность аналитического способа зависит от точности полевых измерений, поэтому ее значение близко к точности измерений линий на местности (см. § V.4).

Развитие техники способствует исследованиям в области автоматизации вычислительных работ в топографии. Применение ЭВМ упрощает и ускоряет процесс аналитического способа определения площадей. Ведутся разработки новых приборов, повышающих производительность труда по вычислению площадей. Хорошие ре-



зультаты дает применение стандартной фототелеграфной аппаратуры, фотоэлектронных планиметров, ускоряющих работу в 8—10 раз.

## § IV.8. Глазомерные измерения

Умение глазомерно определять по карте расстояния, направления, площади, крутизну склонов, превышения и другие характеристики способствует приобретению навыков правильного понимания картографического изображения, особенностей показанной на карте местности. Естественно, что глазомерные определения дают приблизительные по точности результаты. Степень их приближения к результатам, получаемым с помощью измерительных приборов, повышается с приобретением опыта. Глазомерные определения предупреждают грубые просчеты в инструментальных измерениях.

В основе глазомерных действий лежит способность человека хорошо представлять, как правило, величину основных линейных единиц измерения (1 мм, 1 см, 1 дм), а также величину прямого угла ( $90^\circ$ ), его половины ( $45^\circ$ ), трети ( $30^\circ$ ), четверти ( $22^\circ 30'$ ). Оснащение топографической карты содержит элементы, которые можно использовать в качестве эталонов при сравнительной оценке тех или иных размеров объектов: линейный масштаб, сторона квадрата километровой сетки, его площадь, прямой угол, образованный сторонами сетки, шкала заложений, минутные и 10-секундные отрезки на минутной рамке карты.

*Для определения длины дорог, рек, каналов и других линейно вытянутых объектов* следует глазомерно сравнить их с делениями линейного масштаба или отрезками километровой сетки, мысленно проложить отрезки известной длины вдоль измеряемого объекта.

*При определении площадей объектов* в качестве своеобразной палетки используют квадраты километровой сетки карты, площадь которых предварительно следует определить, так как она изменяется с изменением масштаба карты.

**Пример.** На картах масштаба 1 : 10 000—1 : 50 000 площадь квадрата сетки равна 1 км<sup>2</sup>, на карте масштаба 1 : 100 000 — 4 км<sup>2</sup>.

*Ориентировать направления* проще всего с помощью румбов, которые устанавливаются на основании сравнения определяемого угла ориентирования с прямым уг-

лом, образуемым километровыми линиями. Одновременно отмечается положение направления относительно стран света (название четверти: СВ, ЮВ, ЮЗ или СЗ).

*Крутизна склонов* вычисляется на основании следующей закономерности: на картах со стандартной высотой сечения заложению в 1 см соответствует крутизна склона в  $1,2^\circ$  (округленно  $1^\circ$ ), заложению в 1 мм соответствуют  $10^\circ$ , т. е. крутизна склонов обратно пропорциональна величине заложения. Если, например, заложение в 2 раза меньше сантиметрового отрезка (0,5 см), то крутизна увеличится в 2 раза и составит приблизительно  $2^\circ$ , и наоборот, при увеличении заложения в 2 раза по сравнению с сантиметровым отрезком крутизна уменьшится до  $0^\circ 30'$ , и т. д. Контролировать определение крутизны склонов можно путем сравнения заложения на конкретных участках с отрезками графика заложений.

Чтобы *определить превышение* между отдельными точками рельефа, следует подсчитать ориентировочно количество заложений по склону и умножить его на высоту сечения. На длинных и крутых склонах для этой цели следует использовать утолщенные горизонтали, увеличив соответственно высоту сечения.

*Точность количественных определений по карте* при развитом глазомере составляет 10—15% измеряемой величины.

#### § IV.9. Географическое описание местности

Географическое описание местности составляется на основе ее предварительного изучения по карте, которое сопровождается (при необходимости) различными измерениями и вычислениями.

Обычно описание строится по схеме: первая часть — общая характеристика местности, вторая часть — конкретное описание каждого элемента местности, важного для данного направления исследования. Основной принцип описания — от общего к частному. Характеристика местности должна быть конкретной и по возможности краткой. Для указания положения объектов на карте даются их сокращенные координаты. Сходные объекты объединяются в группы и описываются в целом, но с указанием отличительных особенностей.

Описание включает следующие разделы: 1) данные о карте (номенклатура, масштаб, год издания и др.);

2) описание границы изучаемого участка (географические или прямоугольные координаты точек, через которые они проведены), геодезической основы (виды опорных пунктов, их количество); 3) общая характеристика района (тип рельефа, основные населенные пункты, главные пути сообщения, залесенность и др.); 4) рельеф участка (формы рельефа, занимаемая ими площадь, протяженность, отметки абсолютных и относительных высот, главные водоразделы, форма и крутизна склонов, наличие оврагов, обрывов, промоин с указанием их протяженности и глубины, искусственные формы рельефа и др.); 5) гидрография (названия отдельных объектов; протяженность, ширина, глубина, направление и скорость течения рек, уклон, характер берегов, поймы, транспортное значение, наличие гидротехнических сооружений и др.; площадь, характер береговой линии, качество воды и другие характеристики озер; каналы, канавы, родники, колодцы и их характеристика); 6) растительность (тип, состав пород, занимаемая площадь, характер размещения); 7) населенные пункты (название, тип, населенность, административное значение, структура и планировка, объекты промышленности, коммунального хозяйства, связи и др.); 8) дорожная сеть (тип; для автогужевых дорог — название дороги или связываемых ею пунктов, характер покрытия, ширина и др.; для железных дорог — количество путей, вид тяги, название станций, вокзалов и др.; сооружения на дорогах и т. д.); 9) прочие элементы местности: границы, грунты и т. д.

Описание, составленное по топографической карте, может быть дополнено данными о природе (климате, его особенностях) и хозяйственном развитии района (экономике, трудовых ресурсах и др.), полученными из других источников.

## **§ IV.10. Ориентирование карты на местности**

Ориентировать карту — значит придать ей такое горизонтальное положение, при котором линии на карте будут параллельны соответствующим им линиям на местности (их горизонтальным проложениям). Ориентирование проводится глазомерно или с помощью приборов, что повышает точность приведения карты в нужное положение.

*Глазомерное ориентирование* осуществляется по линиям и объектам местности, изображение которых имеется на карте. Для ориентирования по линии (например, дороге, линии связи) необходимо встать в какой-либо точке этой линии на местности и расположить карту так, чтобы изображение на карте и линия местности были параллельны друг другу (рис. IV.28). Правильность работы контролируется по соответствию взаимного расположения других объектов на местности и карте.

Одновременно с ориентированием определяется на карте точка, в которой находится наблюдатель. Задача решается легко, если точка стояния совпадает, например, с пересечением дорог, их поворотом, углом какого-либо контура, изображенных на карте. На местности, богатой ориентирами (хорошо заметными объектами или их элементами), место стояния можно определить способом Болотова (см. § II.5).

Для ориентирования используют компас, буссоль и другие приборы. *Компас* — прибор, основной частью которого является магнитная стрелка 1, свободно вращающаяся на острие иглы 2. Игла укреплена в центре плоской круглой коробки 3 со стеклянной крышкой 4 (рис. IV.29). Для предохранения от повреждений во время хранения и переноски стрелка прижимается к крышке рычажком 5 (арретиром). Коробка компаса снабжена кольцом 6 с градусной шкалой и буквенными обозначениями стран света (С — север, Ю — юг, В — восток, З — запад).

*Буссоль* представляет собой компас бóльших разме-

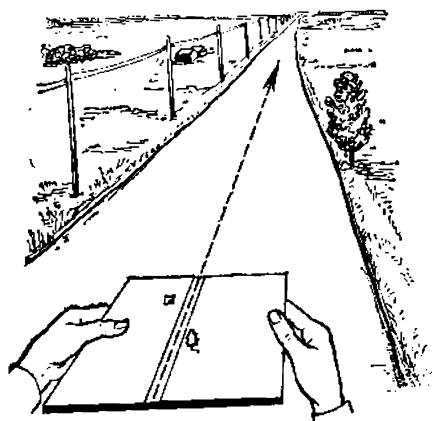


Рис. IV.28. Глазомерное ориентирование карты по направлению дороги

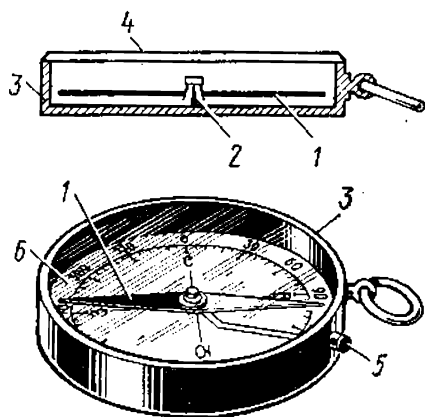


Рис. IV.29. Компас

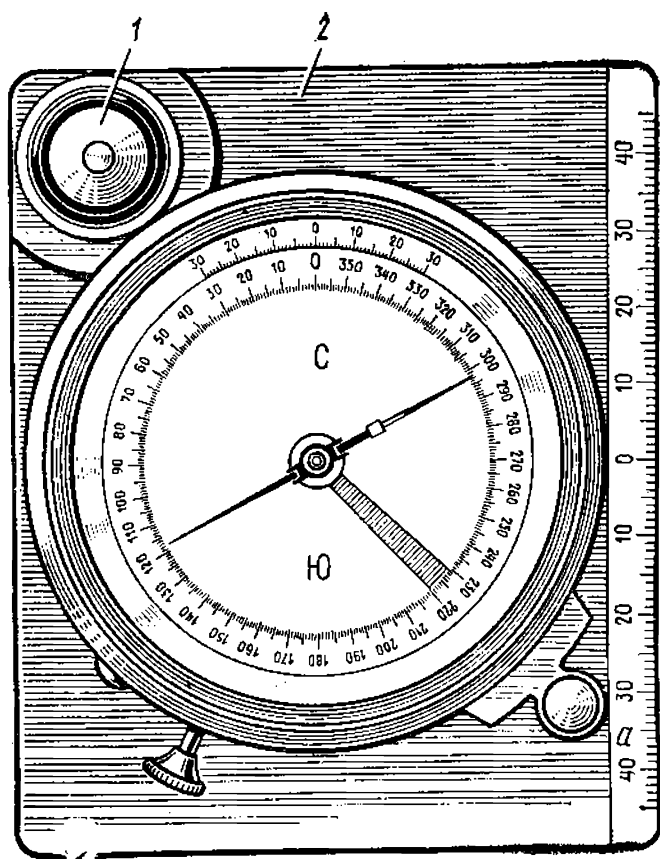


Рис. IV.30. Буссоль

ров и более совершенной конструкции (рис. IV.30). Она может быть снабжена уровнем 1 для выведения прибора вместе с картой в горизонтальное положение. Ребра основания буссоли 2 параллельны диаметру СЮ градуированного кольца. Перед работой с буссолью (или компасом) должно быть проверено ее соответствие предъявляемым требованиям (см. § II.2).

При ориентировании с помощью буссоли (компаса) прибор накладывают на карту так, чтобы диаметр кольца СЮ или параллельный ему край основания совпал с западной или восточной стороной рамки карты (рис. IV.31, положение 1). Так как эти стороны рамки являются отрезками географических меридианов, а стрелка буссоли указывает направление магнитного меридиана, то при ориентировании необходимо учитывать величину магнитного склонения  $\delta$  (дается на листе карты). Связь между направлениями двух меридианов определяется формулой (I.12). Освободив стрелку буссоли, плавно поворачивают карту до тех пор, пока северный конец стрелки (отмеченный, как правило, более темным цве-

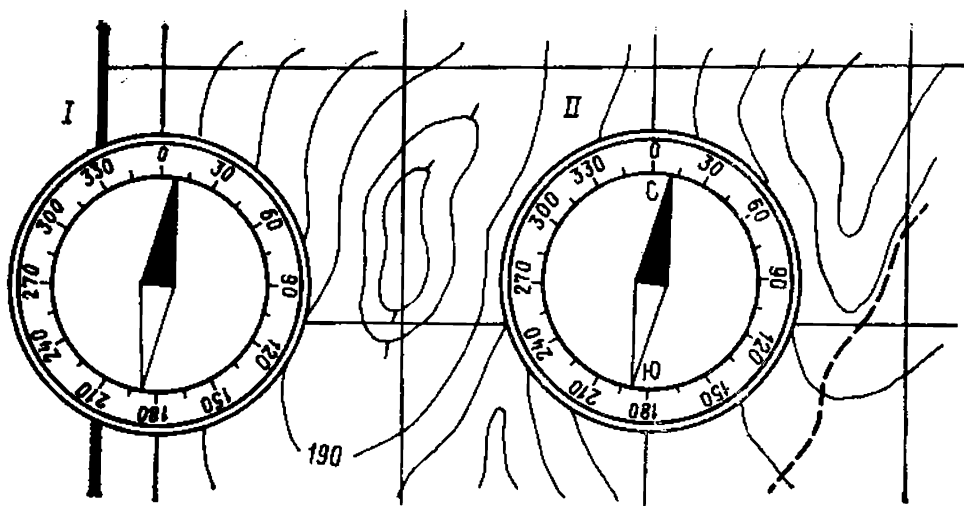


Рис. IV.31. Ориентирование карты с помощью буссоли

том) совпадет с отсчетом на шкале буссоли, равном  $\delta$  (на рис. IV.31  $\delta$  и отсчет по буссоли  $10^\circ$ ).

Карта может быть ориентирована и по линиям километровой сетки, параллельным среднему (осевому) меридиану зоны (рис. IV.31, положение II). В этом случае учитывается не только магнитное склонение стрелки, но и сближение меридианов  $\gamma$  на основании зависимости, выраженной формулой (I.14). Сближение меридианов, определенное с помощью карты, является *гауссовым сближением*, а разность магнитного склонения и гауссова сближения называют *поправкой направления П*, характеризующей отклонение магнитной стрелки от осевого меридиана координатной зоны. На рис. IV.31  $P = 12^\circ 35'$  при  $\delta = 10^\circ$ ,  $\gamma = -2^\circ 35'$ .

## ГЛАВА V

### ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

#### § V.1. Понятие об измерении линий

*Измерением длины линии* называют процесс сравнения ее с некоторой эталонной величиной. Измерить длину линии на местности можно разными способами, выбор которых зависит от применяемых приборов, требуемой точности измерения, условий местности. Измерение линий с помощью *землемерной ленты, рулетки, дли-*

номера, инварной проволоки осуществляется путем непосредственного укладывания прибора вдоль линии, длина которой определяется. Специальные приборы — *дальномеры* — позволяют решить задачу измерения, не изменяя точки стояния (местоположения) прибора. Дальномеры делят на *оптические* и *физические*. Длина линии, непосредственное измерение которой невозможно, может быть получена вычислением при наличии необходимых для этого данных.

## § V.2. Приборы для линейных измерений

*Землемерная лента* — тонкая стальная полоса (рис. V.1, а) длиной обычно 20 м, шириной 10—15 мм и толщиной 0,4—0,5 мм. Концевые отметки длины ленты обозначены штрихами 7 и 8, нанесенными у прорезей 2 и 5 на концевых пластинках 3 и 4, и подписями — на одной стороне — 0, на другой — 20 м. Каждый метр обозначен с обеих сторон ленты приклепанными к ней плашками, оцифровка которых идет с одной стороны в прямом (1, 2, 3, ..., 19), с другой — в обратном (19, 18, 17, ..., 1) порядке. Полуметры обозначены заклепками, дециметры — круглыми отверстиями. Сантиметры при

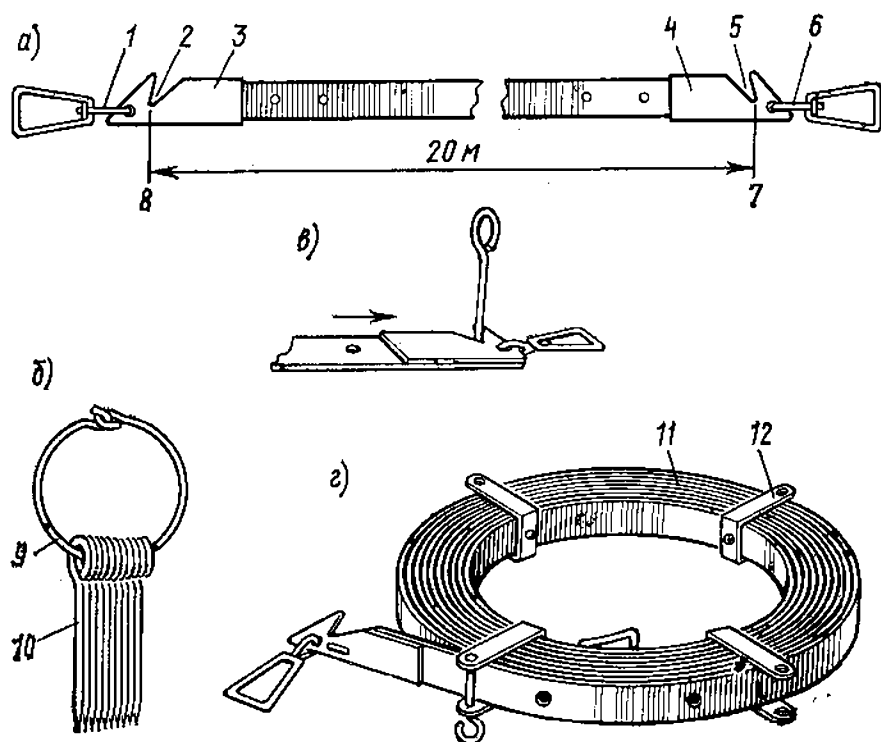


Рис. V.1. Землемерная лента.

измерении линии отсчитывают на глаз или с помощью металлической линейки, приставляемой к дециметровому отрезку. К ленте прилагается комплект из 6 или 11 шпилек 10, надетых на кольцо 9 (рис. V.1,б). Шпильки изготовляют из стальной проволоки диаметром 5 мм и длиной 30 см. При измерении шпильки вставляют в прорезы на концевых пластинках ленты (рис. V.1,в) и вдавливают в землю для фиксации конечных штрихов ленты. Для натяжения ленты используют прикрепленные к ее концам ручки 1 и 6 (рис. V.1,а). В нерабочем положении ленту наматывают на кольцо 11 со скобами 12 (рис. V.1,г).

Для измерения расстояний до 100 м применяют также *стальные рулетки*, выпускаемые длиной от 5 до 50 м. Деления на рулетке бывают сантиметровые или миллиметровые.

*Длиномер* относят к подвесным мерным приборам. В длинномере стальная проволока натягивается между двумя фиксированными на местности точками. По проволоке в процессе измерения прокатывают устройство, основными элементами которого являются мерный диск и счетный механизм, позволяющий установить количество оборотов диска на прокатываемом отрезке проволоки. Длинномер АД-1М позволяет одним приемом измерять расстояния от 5 до 500 м.

*Инварная проволока* (изготавливаемая из сплава железа с никелем — инвара, обладающего исключительно малым температурным коэффициентом линейного расширения), как и длиномер, представляет собой подвесной мерный прибор. В процессе измерения ее основная часть — 24-метровая проволока — последовательно натягивается между соседними штативами, равномерно расставленными вдоль линии. Измерение длин линий инварными проволоками отличается высокой точностью, но требует больших затрат труда и времени.

*Оптическим дальномером* называют прибор, в котором для определения расстояний используются оптические элементы. В основу его теории положено решение очень вытянутого равнобедренного треугольника  $ACD$  (рис. V.2) по формуле

$$S = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2},$$

где  $S$  — измеряемое расстояние — высота треугольника,  $l$  — база дальномера — основание треугольника, а  $\beta$  —



параллактический угол, измеряемый или откладываемый при определении длины линии.

Возможны две принципиальные конструкции оптических дальномеров: а) с постоянным параллактическим углом  $\beta$  и переменным базисом  $l$  (рис. V.2, а); б) с постоянным базисом  $l$  и переменным углом  $\beta$  (рис. V.2, б).

Наиболее распространенным среди оптических дальномеров первого типа является *нитяной дальномер*, постоянный угол которого образует лучи, проходящие через два дальномерных штриха сетки нитей и узловую точку объектива зрительной трубы геодезического прибора (см. § VI.2). Сетка нитей представляет собой систему штрихов, расположенных в плоскости изображения, даваемого объективом зрительной трубы (рис. V.3, а). Основные штрихи сетки нитей  $mm$  и  $nn$  предназначены для наведения трубы на цель в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Через точку пересечения основных штрихов проходит визирная ось трубы. Даль-

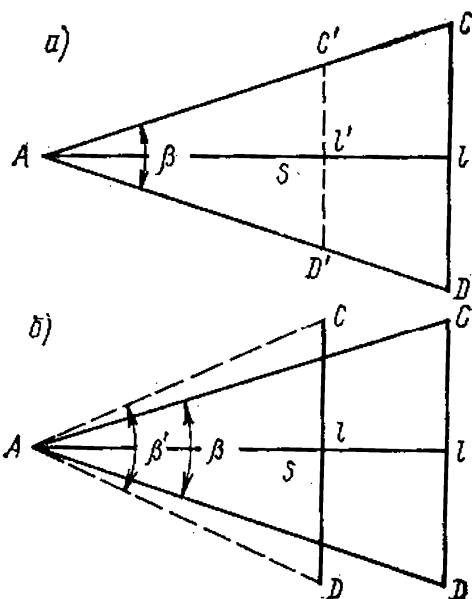


Рис. V.2. Принцип действия оптического дальномера:

а — с постоянным параллактическим углом, б — с постоянным базисом

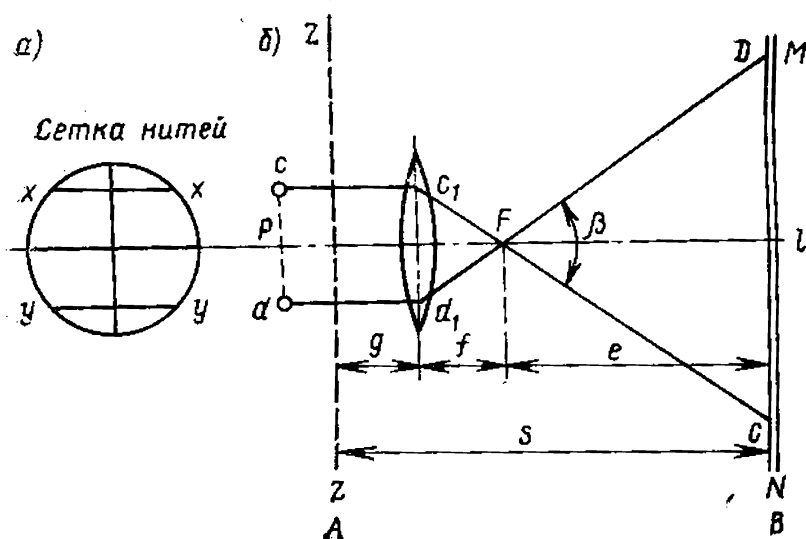


Рис. V.3. Принцип нитяного дальномера

номерные штрихи  $xx$  и  $yy$  нанесены симметрично относительно перекрестья основных штрихов и служат для определения расстояния по рейке, являющейся линейной мерой. *Дальномерная рейка* — это деревянный брусок длиной 3—4 м, толщиной 2 см и шириной 8 см со шкалой сантиметровых или иных делений. Если в точке  $A$  (рис. V.3,б) установить прибор, а в точке  $B$  — рейку  $MN$  с сантиметровыми делениями, то визирные лучи  $c, d$  от дальномерных штрихов, пройдя через объектив, пересекутся в переднем главном фокусе объектива  $F$ , образовав постоянный угол  $\beta$ , и отметят на рейке отрезок  $CD=l$ , являющийся *дальномерным отсчетом*. Если принять расстояние от оси вращения прибора до центра объектива равным  $g$ , расстояние между дальномерными нитями —  $p$ , фокусное расстояние объектива —  $f$  и расстояние от переднего главного фокуса до рейки —  $e$ , а общее расстояние от дальномера до рейки —  $S'$ , получим

$$S' = g + f + e. \quad (V.1)$$

Из подобных треугольников  $c_1Fd_1$  и  $CFD$  найдем

$$e = \frac{f}{p} l.$$

Обозначив  $g+f$  через  $c$  — постоянное слагаемое дальномера, а  $f/p$  через  $k$  — коэффициент дальномера, получим формулу (V.1) в виде  $S' = kl + c$ . Эта формула показывает, что для определения расстояния нитяным дальномером необходимо знать отсчет  $l$  по рейке, коэффициент дальномера  $k$  и постоянное слагаемое дальномера  $c$ . В современных приборах коэффициент  $k$  равен 100, а величина постоянного слагаемого  $c$  близка к нулю, поэтому

$$S' = 100l. \quad (V.2)$$

Точность нитяного дальномера (см. § V.4) относительно невысока. Толщина дальномерных штрихов и одновременность отсчитывания по рейке, нетвердо удерживаемой руками, привносит в отсчет  $l$  большие погрешности. В значительной мере эти погрешности удается устранить в конструкции *дальномеров двойного изображения*. В их основе лежит свойство стеклянной призмы (клина) отклонять проходящий через нее луч к основанию клина. Изготавливают такие дальномеры чаще всего в виде насадок на объектив зрительной трубы геодезического прибора.

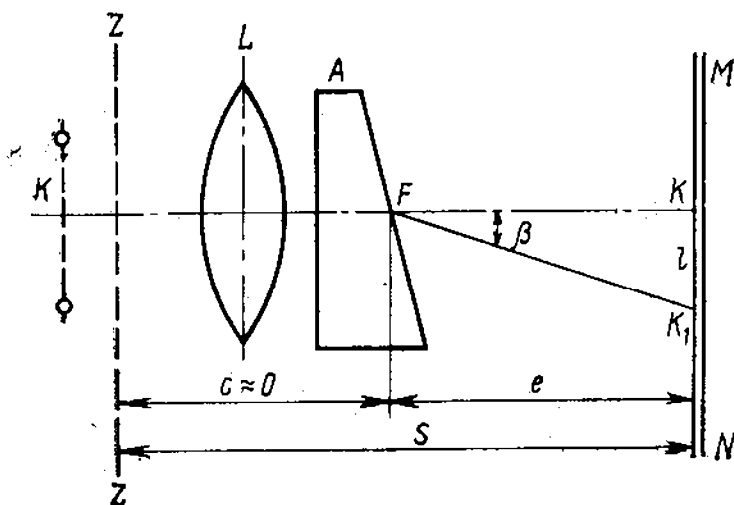


Рис. V.4. Принцип клинового оптического даль-  
номера двойного изображения

Принцип такого дальномера показан на рис. V.4.

Перед объективом  $L$  зрительной трубы расположен оптический клин  $A$  с малым преломляющим углом  $\beta$ . Клин отклоняет изображение точки  $K$ , лежащей на визирной оси, в положение  $K_1$ . При решении треугольника  $FKK_1$  можно определить расстояние  $S$  по формуле  $S' = c + e = l \cdot \operatorname{ctg} \beta$ . В дальномерах двойного изображения оптический клин занимает половину поля зрения трубы, поэтому наблюдатель видит два изображения одной и той же точки, смещенные относительно друг друга на расстояние  $l$ , равное  $KK_1$ . Смещение изображений является дальномерным отсчетом. Его величина тем больше, чем дальше от дальномера располагается рейка. Клинья подбирают так, чтобы котангенс преломляющего угла был равным 100. Тогда коэффициент дальномера  $k = \operatorname{ctg} \beta = 100$ .

Промышленность выпускает дальномерные насадки к геодезическим приборам типа ДН-04, ДНР-06, ДН-08, ДН-10 и др. Цифры шифра обозначают точность измерения в сантиметрах на сто метров расстояния. Буква Р обозначает, что дальномерная насадка редуцирующая, т. е. автоматически проектирующая наклонные расстояния на горизонтальную плоскость.

### § V.3. Методика измерения длин линий

*Измерение линии землемерной лентой* состоит в последовательном уложении ленты в створ измеряемой линии. Порядок работы следующий. Концы измеряемой

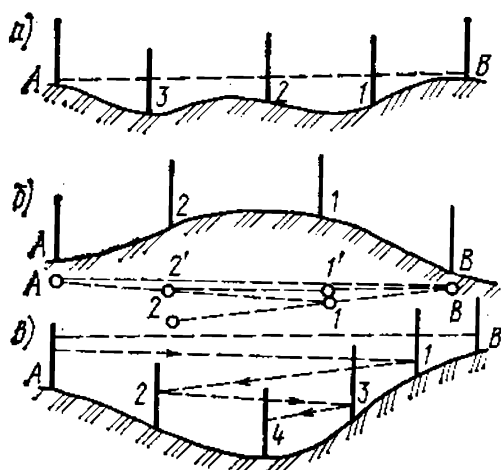


Рис. V.5. Вешение линии:

а — с хорошей видимостью между начальной и конечной точками, б — через возвышенность, в — через овраг

линии закрепляют кольями длиной 0,25—0,50 м с вбитыми в торцы гвоздями. Шляпка гвоздя должна возвышаться над торцом на 3—4 мм. Эти концы отмечают на местности вехами. Веха — деревянный шест 2—3-метровой длины с чередующимися белыми и красными поперечными полосами для удобства отыскания его на фоне окружающих предметов.

На длинных линиях, при наличии видимости между

конечными точками, для повышения точности измерений в зависимости от рельефа местности устанавливают в створе линии через 50—100 м дополнительные вехи. Створ образует вертикальная плоскость, проходящая через концы линии. Установка вех в створе линии называется *вешением линии*. При вешении наблюдатель становится в точке А и смотрит на веху В (рис. V.5,а). По его указанию помощник устанавливает веху 1 так, чтобы она перекрывала веху В. Аналогично устанавливают вехи 2 и 3. Этот способ называют *вешением на себя* в отличие от *вешения от себя*, при котором устанавливают сначала веху 3, потом 2 и 1. Последний способ менее точен.

Когда нет видимости между концами линии (например, при вешении линии через возвышенность), применяют способ *постепенного приближения к створу*. В точках А и В (рис. V.5,б) становятся наблюдатели, в точках 1 и 2 — помощники с вехами. Помощник в точке 1 выводит в створ 1—А веху 2 (положение 2'). Помощник с вехой 2' выводит в створ 2'—В веху 1' и так до тех пор, пока вехи 1, 2 не окажутся в створе линии АВ. Вешение через овраг производят ступенчато, в порядке, указанном стрелкой на рис. V.5,в.

Измеряют линию два человека. Задний мерщик совмещает нулевой штрих ленты с началом линии (зацепляет ленту концевой прорезью за гвоздь в торце кола) и выводит переднего мерщика в створ линии. Отклонения от створа приводят к измерению ломаной линии

вместо прямой. Передний, взяв комплект шпилек, протягивает ленту за ручку вдоль линии и, натянув ее одной рукой, другой через концевую прорезь в ленте вертикально вдавливают шпильку в землю. Протянутая без натяжения лента изогнется на неровностях земной поверхности. Перед натяжением ленту рекомендуется слегка встряхнуть. После этого ленту выводят из зацепления и оба мерщика перемещают ее вперед по линии. Задний мерщик, подойдя к оставленной шпильке, надевает свой конец ленты прорезью на шпильку. Передний мерщик укладывает ленту в створ линии, натягивает ее и втыкает через прорезь вторую шпильку, после чего задний мерщик вынимает первую шпильку. Измерения продолжают в том же порядке. Отрезок линии от последней шпильки до конца линии (остаток, меньший длины ленты) определяют лентой с точностью до 1 см. При измерении остатка обращают внимание на то, чтобы подписи метровых делений возрастали в направлении движения.

Длину измеряемой линии определяют по формуле

$$S_{\text{изм}} = 20n + q,$$

где  $n$  — число шпилек у заднего рабочего,  $q$  — длина остатка. Так, если  $n = 7$ ;  $q = 11,23$  м, то длина измеряемой линии  $S_{\text{изм}} = 20 \times 7 + 11,23 = 151,23$  м.

Ленту перед измерениями *компарировать*, т. е. сравнивают для определения ее рабочей длины с *эталонной (нормальной) мерой*. Выполняют сравнение на полевом компараторе. *Полевой компаратор* — это линия на ровной местности длиной 100—200 м. Концы компаратора закрепляют для долговременной сохранности вкопанными вровень с землей бетонными пилонами (пирамидками), в верхние срезы которых вмурованы металлические марки с крестообразной насечкой. Длину компаратора (расстояние между марками) определяют при помощи нормальной (контрольной) ленты, длина которой известна с высокой точностью, откладываемой в створе компаратора под постоянным натяжением, задаваемым по крепящимся к ручкам ленты динамометрам. При измерении остатка линии обязательно пользуются миллиметровой линейкой. За длину компаратора принимают среднее арифметическое из нескольких измерений. Аналогичные измерения компаратора выполняют рабочей лентой.

Сравнив длину компаратора  $S$  с его длиной  $S^0$ , измеренной рабочей лентой, получают поправку рабочей ленты за компарирование:

$$\Delta S_k = (S - S^0) : n,$$

где  $n$  — число уложений рабочей ленты в длине компаратора.

Например,  $S = 119,917$  м;  $S^0 = 119,792$  м;  $n = 6$ ;  $\Delta S_k = (119,917 - 119,792) : 6 = 0,021$  м. Результат измерения линии с поправкой за компанирование вычисляют по формуле

$$S = S_{\text{изм}} + n\Delta S_k.$$

При измерении расстояний мерной лентой или рулеткой нередко приходится преодолевать овраги, реки, густые кустарниковые заросли, болота и т. д. В таких случаях непосредственное измерение на местности невозможно и решают задачу, рассмотренную на рис. V.6. Из точки  $A$  промеряют лентой линии  $AM = b_1$  и  $AN = b_2$ , называемые *базисами*, и углы  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ . Базисы по возможности выбирают с таким расчетом, чтобы лежащие против них углы были не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

Длину стороны  $S_{AB}$  вычисляют по теореме синусов:

$$S'_{AB} = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \gamma_1)};$$

$$S''_{AB} = b_2 \frac{\sin \beta_2}{\sin(\beta_2 + \gamma_2)}.$$

За окончательное значение  $S_{AB}$  берут среднее арифметическое.

При измерении линии по наклонной поверхности определяют углы наклона (см. § VIII.6), используя для вычисления горизонтальных проложений формулу (1.2). Горизонтальное проложение линии  $s$  всегда меньше ее длины  $S$  на поверхности Земли на величину  $\Delta s = S - s$ .

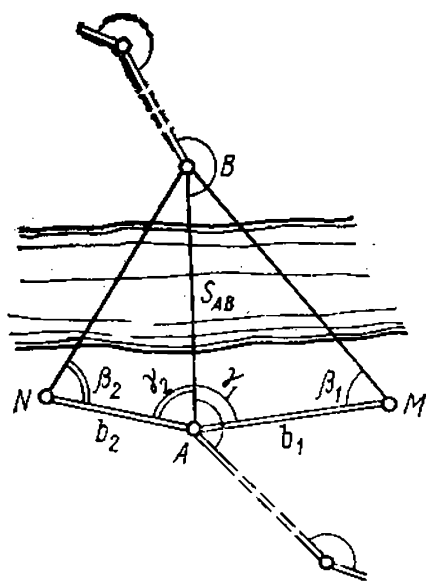


Рис. V.6. Определение не-приступного расстояния

Ее значение можно определить по формуле

$$\Delta s = S - s = S - S \cos \nu = 2S \sin^2 \frac{\nu}{2}.$$

Значение  $\Delta s$  вычисляют заранее (имеются таблицы  $\Delta s$ ), и тогда

$$s = S - \Delta s.$$

Для измерения углов наклона используют *эклиметр* (рис. V.7) — прибор, у которого в круглом металлическом корпусе 1 (рис. V.7, а) на горизонтальной оси вращается металлический маятниковый диск 8 (рис. V.7, б), на ободке 7 которого нанесены градусные деления от 0 до  $\pm 60^\circ$ . Деления ниже нуля — со знаком плюс, выше нуля — минус. Маятниковый диск имеет грузик 9, под действием которого нулевой диаметр располагается в горизонтальном положении. К корпусу эклиметра прикреплена визирная трубка 3 с глазным диоптром 5 и предметным диоптром с горизонтальной нитью 2. Для приведения эклиметра в рабочее состояние следует нажать на кнопку 4.

Для измерения угла наклона наблюдатель становится в начальной точке и визирует трубкой эклиметра на метку на вехе, стоящей на последующей точке. Метка отмечает высоту глаза наблюдателя и, следовательно, линия визирования будет параллельна линии местности. Нажав на кнопку 4, наблюдатель через лупу 6 производит отсчет. Эклиметр позволяет измерять углы наклона с точностью до  $0,5^\circ$ .

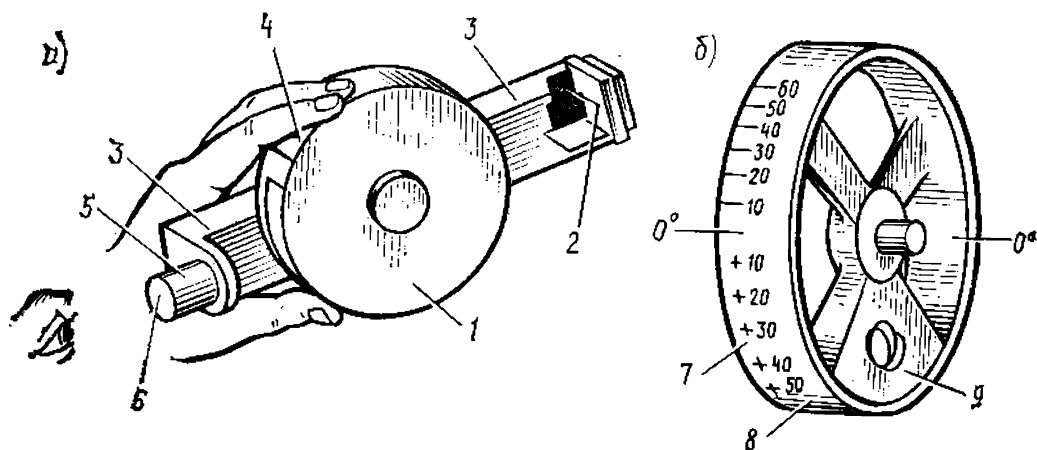


Рис. V.7. Эклиметр

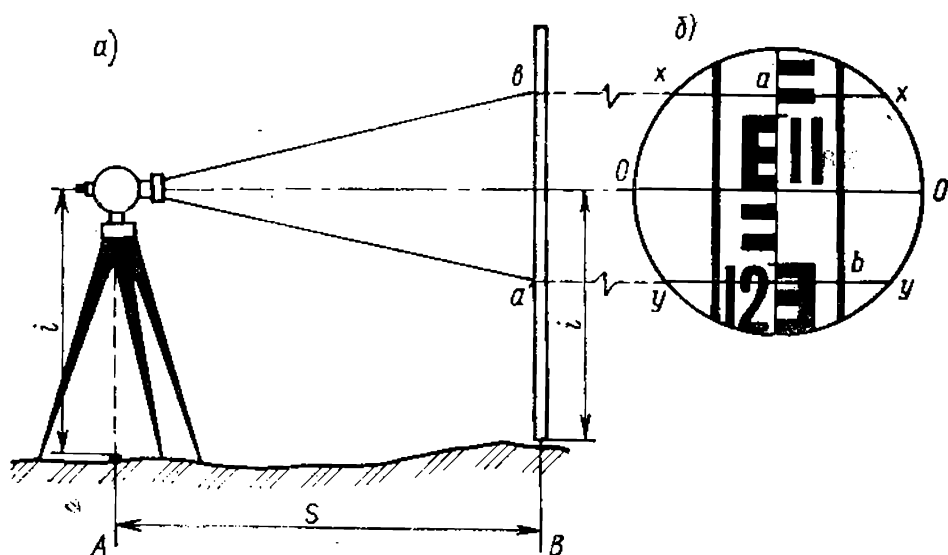


Рис. V.8. Нитяной дальномер (а) и поле зрения трубы (б)

Часто измеряемая линия состоит из отрезков с различными углами наклона. В этом случае угол наклона определяют на каждом из отрезков, а горизонтальное проложение линии равно сумме горизонтальных проложений отрезков:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n.$$

**Измерение линии нитяным дальномером.** Оптический прибор с дальномерными нитями устанавливают на штативе над точкой А (рис. V.8, а). На точке В ставят дальномерную рейку, на которой предварительно отмечают, приставив ее к прибору, высоту прибора  $i$ . Средней нитью  $oo$  (рис. V.8, б) дальномера визируют на отметку  $i$  на рейке и берут отсчеты  $a$  и  $b$  по нитям  $xx$ ,  $yy$ . Вычисляют разность  $b - a = l$ . По формуле (V.2) определяют длину линии  $S'$ . В нашем примере  $a = 108,5$ ;  $b = 121,5$ ;  $l = 121,5 - 108,5 = 13,0$  и  $S' = 13$  м.

Визирование на высоту прибора позволяет одновременно с дальномерным расстоянием измерять угол наклона линии (см. §. VIII.6). Поскольку  $A'B'$  параллельно  $AB$ , измеряемый в точке  $A'$  угол  $v$  будет соответствовать углу наклона линии  $AB$ .

Доказано, что наклонное расстояние, измеренное дальномером  $S' = kl \cos v$  (вследствие отклонения рейки от теоретически необходимого при измерении), поэтому

$$s = S' \cos v = kl \cos^2 v. \quad (V.3)$$



## § V.4. Точность результатов измерений

Измерение линий землемерной лентой производят по земле, поэтому их точность зависит от характера поверхности, на которую укладывается лента. Она оценивается величиной относительной погрешности, которая не должна превышать 1:3000 при благоприятных условиях (ровная местность, твердое покрытие); 1:2000 при средних условиях (слабо всхолмленная местность, пашня, луговая растительность) и 1:1000 при неблагоприятных условиях (болота, пески, заросли). Относительная погрешность измерений длиномерами достигает 1:10 000, а инварными проволоками — 1:500 000—1:1 000 000.

Точность измерения линий нитяными дальномерами ниже — от 1:600 до 1:200, средняя относительная погрешность 1:400. Для уменьшения погрешности рекомендуется брать линии длиной не более 200 м и избегать наблюдений при колеблющемся изображении рейки. Главное достоинство нитяного дальмера — высокая скорость измерений.

## § V.5. Понятие о свето- и радиодальмерах.

### Измерение длин линий с их помощью

Принцип измерения расстояний свето- и радиодальмерами основан на определении промежутка времени  $\tau$ , в течение которого электромагнитные колебания (световые или радиоволны) проходят измеряемое расстояние  $S$  (рис. V.9) от приемопередатчика  $a$  к отражателю  $b$  и обратно. При известной скорости распространения электромагнитных волн в атмосфере  $v$  искомое расстояние определяется по формуле

$$S = \frac{v\tau}{2} = \frac{c}{2} \frac{\tau}{n},$$

где  $c$  — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме, равная 299792,5 км/с;  $n$  — показатель

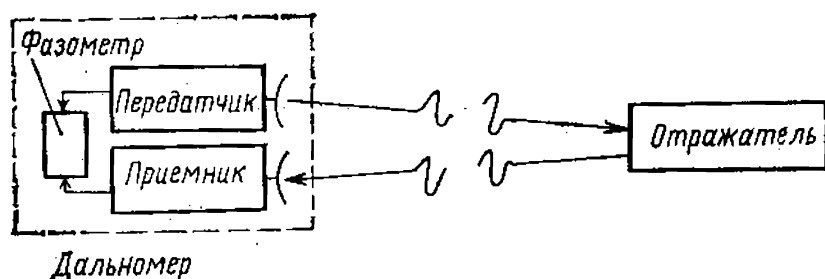


Рис. V.9. Принципиальная схема светодальмера

преломления воздуха, зависящий от длины волны и состояния атмосферы.

Существует два основных метода измерения времени распространения электромагнитных волн: *импульсный* и *фазовый*.

В геодезических дальномерах промежутки времени определяют главным образом фазовым методом, основанным на измерении разности фаз излучаемых и принимаемых электромагнитных колебаний. В этих дальномерах время  $\tau$  определяют по числу уложившихся в двойном измеряемом расстоянии  $2S$  модулированных волн. Если уложилось  $N + \Delta N$  волн (где  $N$  — целое число периодов колебаний или фазовых циклов, а  $\Delta N$  — дробное), то при длине модулированной волны, равной  $\lambda$ , величина

$$\tau = (N + \Delta N) \frac{1}{f},$$

где  $f = v/\lambda$  — частота модуляции.

Измеряемое расстояние равно

$$S = \frac{c}{2fn} (N + \Delta N). \quad (V.4)$$

Поскольку для одной и той же частоты модуляции можно определить только величину  $\Delta N$ , а число фазовых циклов  $N$  остается неизвестным, уравнение (V.4) не имеет определенного решения. Используя результаты измерений величины  $\Delta N$  на нескольких возрастающих и убывающих частотах модуляции, решают систему уравнений, из которых и получают значение  $S$ . В современных светодальномерах эта задача решается электронным устройством прибора.

Светодальномеры постоянно совершенствуют, поэтому они все в большей мере вытесняют весьма трудоемкие и недостаточно точные механические средства измерения расстояний.

В практике топографического производства наиболее распространены дальномеры 2СМ-2, СМ-3, СМ-5 и др. *Малый светодальномер* СМ-3 (рис. V.10, а, б) предназначен для измерения расстояний от 2 до 1600 м со средней квадратической погрешностью измерения максимального расстояния 3—5 см и углами наклона до 20°. Он удобен для простых, быстрых и точных измерений. Используемый в нем полупроводниковый арсенид-галлиевый светодиодный лазер работает в инфракрасной области спектра. Два трипельпризменных уголковых отражате-

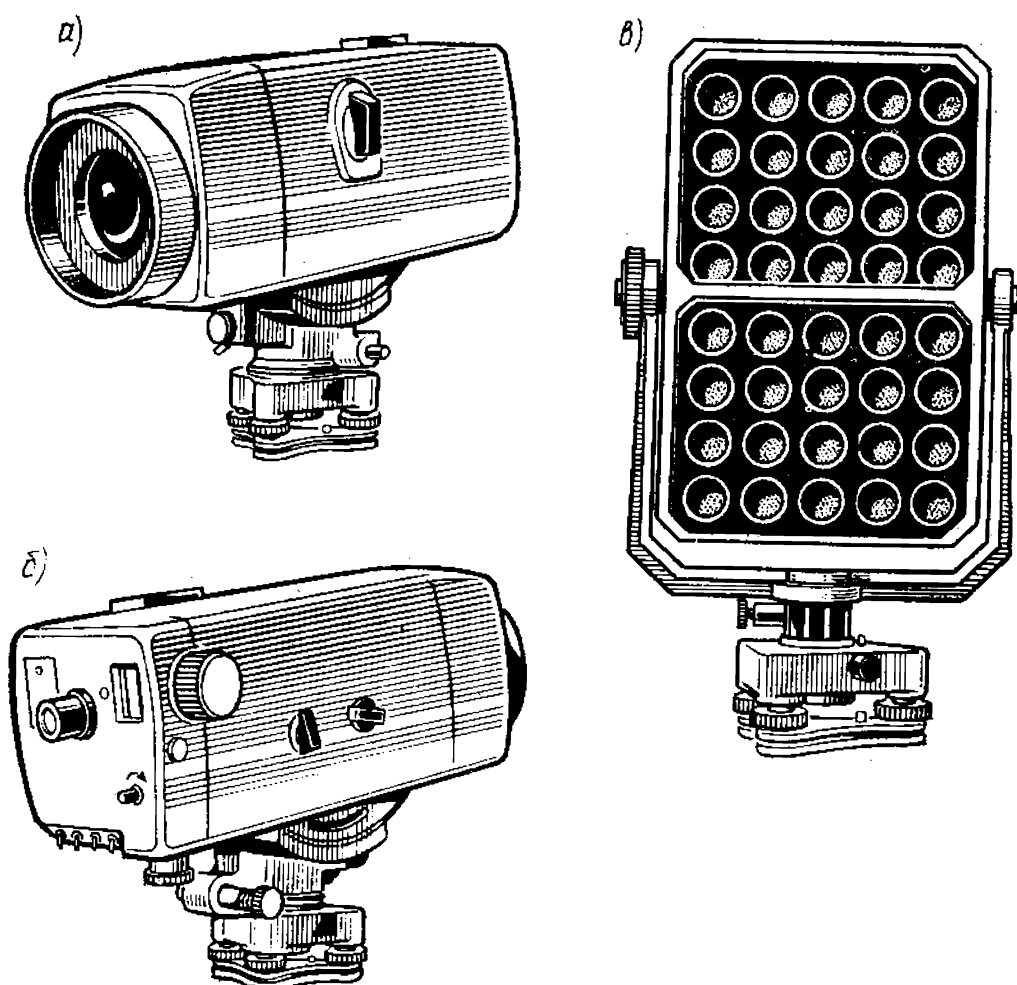


Рис. V.10. Светодальномер СМ-3:  
а, б — приемопередатчик, в — отражатель

ля дальномера (рис. V.10, в) имеют кроме входной три зеркальные грани, соединенные друг с другом под прямым углом, что обеспечивает обратное отражение света, если даже падающие лучи уклоняются на  $20\text{--}30^\circ$ . Результаты измерений фиксируются на электронно-цифровом табло. СМ-3 имеет высокий уровень автоматизации, простое управление и малые габариты.

Точность светодальномеров характеризуют средней квадратической погрешностью измерений, которую определяют на специальных контрольных базисах — линиях, длины которых заранее известны.

На качество работы светодальномеров существенно влияют атмосферные условия. От этого недостатка практически избавлены *радиодальномеры* — электронные дальномеры, работающие в диапазоне радиоволн. Радио-

дальномеры можно использовать при любой погоде (кроме очень сильного дождя), в любое время суток и на расстоянии более 150 км.

Принципы работы радио- и светодальномеров аналогичны. Однако в диапазоне радиоволн диаграммы направленности передающей и приемной антенн значительно шире, чем в видимом и инфракрасном диапазонах, вследствие чего на приемную антенну попадает много сигналов, отраженных от посторонних предметов — шумов. Для обеспечения устойчивого сравнения изучаемых и отраженных сигналов применяют принцип активного переизлучения сигналов. Излучающую радиостанцию называют ведущей, а переизлучающую — ведомой. Ведущая и ведомая радиостанции взаимозаменяемы. По условиям эксплуатации удобно, чтобы в комплект радиодальномера входило не менее двух ведомых станций, что позволяет с одной точки стояния измерить последовательно два расстояния и более.

В топографическом производстве радиодальномеры применяют для съемки шельфа, крупных водохранилищ и озер.

## ГЛАВА VI

### ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ НА МЕСТНОСТИ

#### § VI.1. Принцип измерения горизонтальных углов

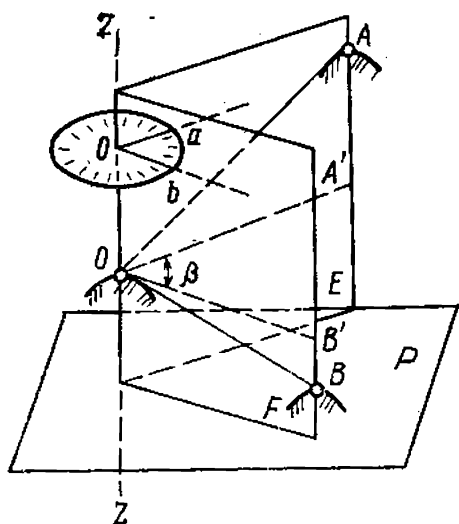


Рис. VI.1. Принцип измерения горизонтального угла

Двугранный угол, ребро которого образовано отвесной линией, проходящей через данную точку, называют *горизонтальным*. Построим плоскости  $E$  и  $F$  (рис. VI.1), проходящие через  $ZZ'$  — отвесную линию точки  $O$  — и наблюдаемые точки  $A$  и  $B$ . Они образуют двугранный угол, мерой которого будет *линейный угол*  $\beta$  — проекция угла  $AOB$  на горизонтальную плоскость  $P$ , или *горизонталь-*

ный угол. Угол  $AOB$  измеряют при помощи *угломерного круга*, установленного горизонтально (параллельно плоскости  $P$ ), так чтобы отвесное ребро двугранного угла  $ZZ$  проходило через центр круга  $o$ . Радиусы  $oa$  и  $ob$  круга лежат соответственно в плоскостях  $E$  и  $F$  и параллельны сторонам горизонтального угла  $A'OB'$ . Величина угла  $\beta$  равна разности отсчетов по кругу в точках  $a$  и  $b$ .

## § VI.2. Прибор для измерения углов

Наиболее совершенным прибором для измерения горизонтальных углов на местности является *теодолит*. Принципиальная схема теодолита показана на рис. VI.2. Его основными частями являются горизонтальный угломерный круг 9 и соосная с ним алидада 8 с отсчетным устройством, зрительной трубой 6 и уровнем 7. Угломерный круг изготовляют из стекла. Диаметр — от 5 до 22 см. Угломерный круг имеет равномерную угловую шкалу, называемую *лимбом*, выполненную радиальными одинарными или двойными штрихами. Градуировка лимба теодолитов, выпускаемых в нашей стране, производится в угловых градусах. На угломерных кругах точных и технических теодолитов штрихи наносят через  $10'$ ,  $20'$  и  $1^\circ$  с подписью градусных делений по ходу часовой стрелки. Дуга лимба, заключенная между двумя соседними штрихами, выраженная в угловой мере, называется *ценой деления лимба*. Круг закрыт кожухом для предохранения от попадания на него влаги, пыли и др. *Алидадой* 8 называют линейку или круг с отсчетным устройством на концах, вращающийся вокруг вертикальной оси вращения теодолита. *Отсчетное устройство* состоит из приспособления для оценки доли деления лимба и оптического приспособления для рассматривания штрихов лимба. Под *отсчетом* в угломерных приборах понимают величину дуги между нулевым штрихом шкалы лимба и отсчетным индексом. Обычно отсчетный индекс оказы-

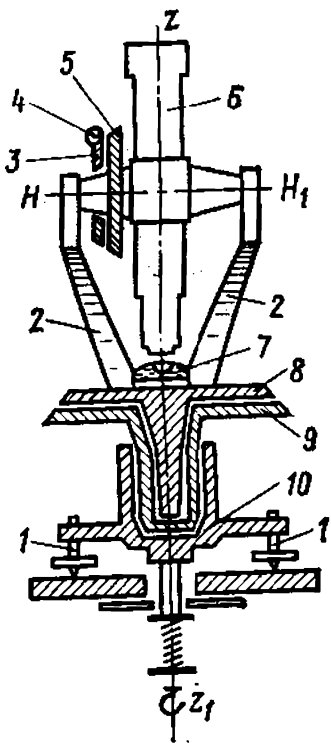


Рис. VI.2. Принципиальная схема теодолита

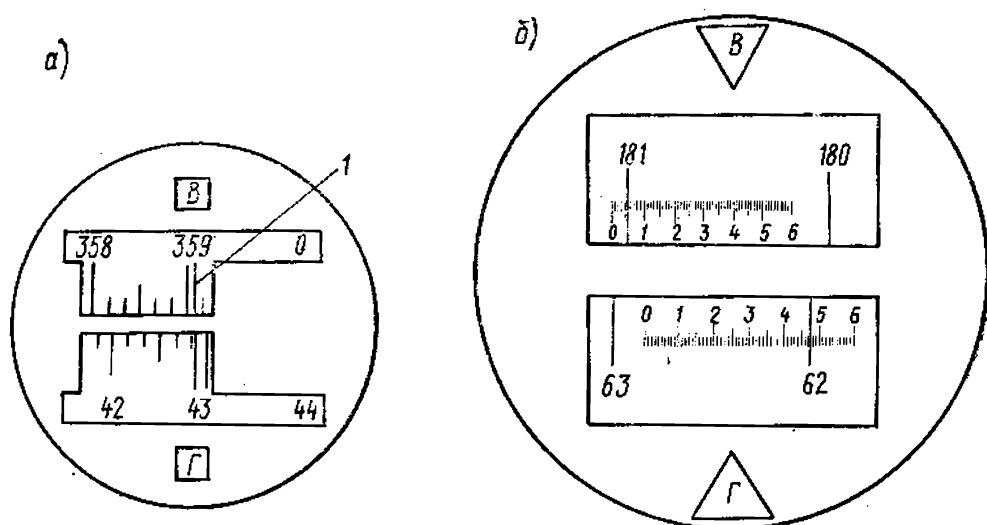


Рис. VI.3. Поле зрения микроскопа:

а — штрихового, б — шкалового .

вается между двумя соседними штрихами лимба, которые принято называть младшим и старшим. Тогда полный отсчет  $a$  по лимбу складывается из суммы  $n$  целых делений лимба  $\tau$  от начала шкалы до младшего штриха и интервала  $\Delta\tau$ , расположенного между младшим штрихом и отсчетным индексом  $a = n\tau + \Delta\tau$ . Оценка интервала  $\Delta\tau$  осуществляется в теодолитах при помощи различных отсчетных устройств.

Отсчетные устройства, применяемые в точных и технических теодолитах, бывают двух типов. *Штриховой микроскоп* представляет собой отсчетное устройство, в поле зрения которого (рис. VI.3,а) видны отсчетный штрих  $I$  и деления лимбов вертикального  $B$  и горизонтального  $Г$  измерительных кругов, причем десятые доли деления берутся на глаз с точностью до  $1'$ . На рис. VI.3,а представлено поле зрения микроскопа теодолита Т30 с отсчетами: по горизонтальному кругу —  $42^\circ 53'$ , по вертикальному —  $359^\circ 04'$ . *Шкаловой микроскоп* имеет отсчетную шкалу, нарезанную на стеклянной пластинке. Изображения делений лимбов вертикального и горизонтального кругов совмещаются с плоскостью шкалы. Конструктивно при совмещенном изображении длина шкалы равна величине изображения одного деления лимба. На рис. VI.3,б представлено поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т5, имеющего шкалы для вертикального  $B$  и горизонтального  $Г$  кругов, разделенных на 60 частей. Поскольку цена деления лимба  $1^\circ$ , одно деление шкалы соответствует  $1'$ . Индексом для производства от-

счета служит изображение градусного штриха лимба, совмещенного со шкалой. Доли деления шкалы берут на глаз с точностью до  $0,1'$ . Отсчет по горизонтальному кругу составляет  $62^{\circ}47,5'$ , по вертикальному— $181^{\circ}05,4'$ .

Алидада сопряжена с колонками 2 (см. рис. VI.2) для горизонтальной оси  $HH_1$  зрительной трубы 6. Зрительная труба и вертикальный круг 5 насажены на ось наглухо, а алидада вертикального круга 3 (рис. VI.2) с отсчетным приспособлением и уровнем 4 насажена свободно. *Вертикальный круг*, имеющийся у большинства современных теодолитов, предназначен для измерения вертикальных углов (см. § VIII.6). *Зрительная труба теодолита* служит для рассматривания предметов, расположенных на расстоянии больше двойного фокусного расстояния. Зрительная труба состоит из объектива и окуляра, расположенных так, что задний фокус объектива почти совпадает с передним фокусом окуляра и сеткой нитей (см. § VI.2), расположенной в передней фокальной плоскости окуляра. В современных приборах используется внутренняя фокусировка, благодаря которой труба герметична и в процессе фокусирования не меняет своей длины. На рис. VI.4 представлена оптическая схема такой трубы. Расстояние между положительной линзой  $L_1$  и отрицательной  $L_2$  меньше фокусного расстояния  $f_1$  положительной линзы, поэтому система эквивалентна условной положительной линзе  $L$  с фокусным расстоянием  $f$ , величина которого больше длины зрительной трубы. Луч  $m$ , испытав преломление в линзах  $L_1$  и  $L_2$ , попадает в точку  $F_1$ , лежащую в фокальной плоскости окуляра  $L_3$ , совпадающей с задней фокальной плоскостью эквивалентной линзы. Линзу  $L_2$

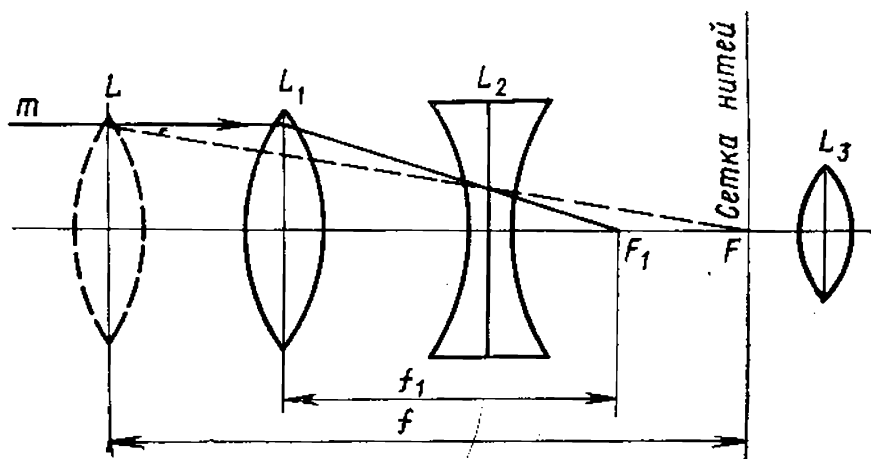


Рис. VI.4. Схема зрительной трубы с внутренней фокусировкой

называют *фокусирующей*. Установку зрительной трубы для наблюдений выполняют «по глазу» (добиваются отчетливого изображения сетки нитей) вращением окулярного кольца и «по предмету» — фокусирующей линзой.

Воображаемая прямая, соединяющая перекрестие сетки нитей с визирной целью, называется *визирной осью* или *линией визирования*. С алидадами горизонтального и вертикального кругов сопряжены уровни 7 и 4 (см. рис. VI.2). Уровни служат для установки теодолита (или отдельных его частей) в определенное положение относительно горизонтальной плоскости при помощи подъемных винтов 1 подставки теодолита 10. Уровни бывают цилиндрические и круглые. Ампула цилиндрического уровня представляет собой стеклянную трубку (рис. VI.5, а) с веретенообразной внутренней поверхностью. Ампула наполняется серным эфиром или этиловым спиртом. После заполнения жидкостью в горячем состоянии концы ампулы запаиваются. Пузырек уровня образуется из паров заполнителя, нормальная длина его равна 0,3—0,4 длины ампулы при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ . На внешней стороне ампулы наносят деления через 2 мм. Центральный угол, соответствующий дуге в одно деление ампулы, называется *ценой деления уровня*. У цилиндрических уровней цена деления от  $1''$  до  $2'$ .

Центр шкалы 10 считается нуль-пунктом. Касательная  $UU_1$ , проведенная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте, называется *осью цилиндрического уровня*. Если пузырек уровня находится в нуль-пункте, то ось

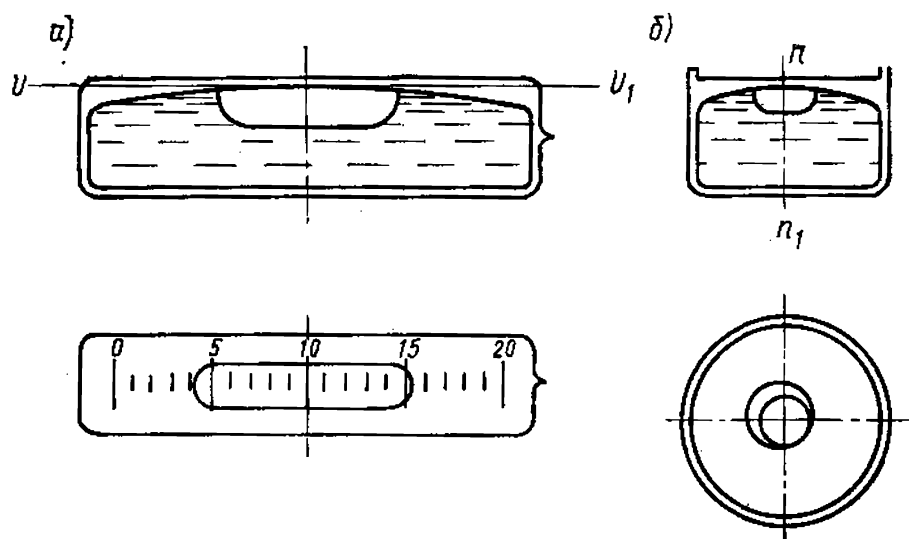


Рис. VI.5. Уровень:  
а — цилиндрический, б — круглый



уровня занимает горизонтальное положение. Это свойство уровня широко используют при установке осей геодезических приборов в горизонтальное или вертикальное положение. Ампула круглого уровня (рис. VI.5,б) имеет сферическую форму. Цена деления круглого уровня — от  $2'$  и более.

*Основные геометрические условия*, которым должен отвечать теодолит, вытекают из взаиморасположения его осей (рис. VI.6):

1. Ось цилиндрического уровня  $UU_1$ , укрепленного на алидадном устройстве, должна быть перпендикулярна вертикальной оси прибора  $ZZ_1$ . Соблюдение этого условия гарантирует положение вертикальной оси прибора на отвесной линии.

2. Визирная ось зрительной трубы  $WW_1$  должна быть перпендикулярна горизонтальной оси ее вращения  $HH_1$ . При соблюдении этого условия визирная ось трубы будет вращаться в вертикальной (коллимационной) плоскости.

3. Горизонтальная ось вращения трубы  $HH_1$  должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора  $ZZ_1$ . Соблюдение этого условия устанавливает *коллимационную* плоскость в отвесное положение. (Коллимационной называется вертикальная плоскость вращения визирной оси  $WW_1$ .)

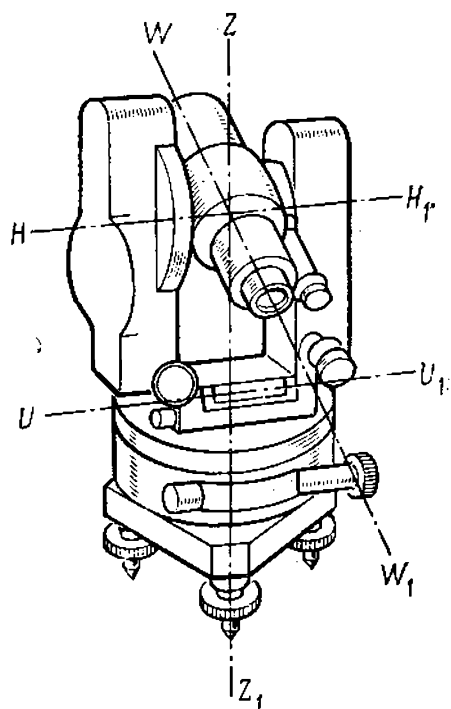


Рис. VI.6. Геометрические оси теодолита

### § VI.3. Классификация теодолитов

Классификация теодолитов может быть произведена по точности измерения углов и конструктивным особенностям.

По точности теодолиты разделены на три группы: *высокоточные, точные и технические* (ГОСТ 10529—79). Широкое применение в топографических работах находят технические теодолиты, позволяющие измерять углы

со средней квадратической погрешностью от 10 до 30". К этой группе относят отечественные теодолиты Т15, Т30 и их модификации. Техническими теодолитами (кроме измерения углов) можно измерять расстояния (нитяным дальномером).

По конструкции отсчетных устройств теодолиты делятся на *оптические*, имеющие оптическое приспособление для получения отсчета, и *верньерные*. Все современные отечественные теодолиты — оптические.

Выделяют также группу *специализированных теодолитов*, к которым относят лазерные теодолиты, кодовые теодолиты, гиротеодолиты, радиотеодолиты, кинотеодолиты и приборы спутниковой геодезии.

Лазерные сканирующие теодолиты позволяют автоматически осуществлять ряд операций, включая поиск цели и наведение на нее, регистрацию и обработку результатов измерений. Скорость измерений достигает нескольких сотен в секунду и практически не зависит от числа наблюдаемых целей.

Кодовые теодолиты содержат преобразователь «угол — код». Результаты измерения углов, выраженные в виде определенного кода, регистрируются на табло, перфоленте или магнитной ленте, приспособленных для непосредственного ввода их в ЭВМ.

В гиротеодолите конструктивно объединены гироскоп, являющийся датчиком направления географического меридиана, и угломерный прибор.

## § VI.4. Оптические теодолиты.

### Устройство и поверки

Технические теодолиты относятся к наиболее распространенным.

Т30 (рис. VI.7) малогабаритный оптический теодолит, предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов со средней квадратической погрешностью 30", тахеометрической съемки, а также для решения различных задач прикладной геодезии. Подставка теодолита 1 прикреплена к основанию 3, служащему дном футляра, в котором хранится теодолит. На алидаде горизонтального круга расположен цилиндрический уровень 6. Теодолит приводят в отвесное положение при помощи трех подъемных винтов 2. Вертикальная ось полая, что позволяет центрировать теодолит над точкой местности с помощью зрительной трубы, повернув ее

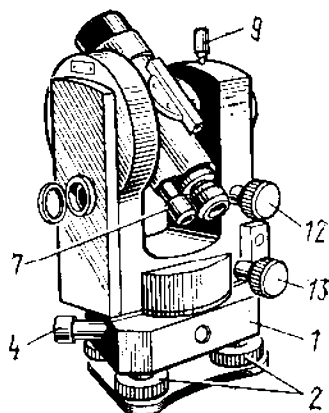
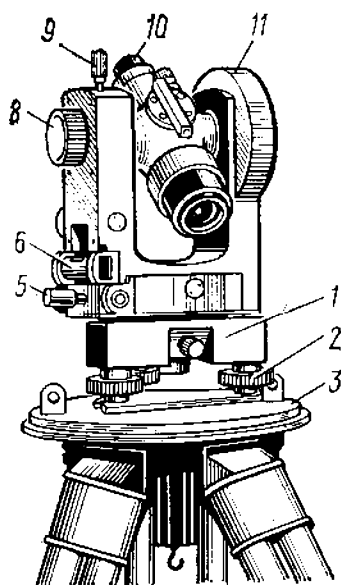


Рис. VI.7. Теодолит Т30

объективом вниз. При этом на окуляры трубы и микроскопа надевают специальные насадки. Зрительная труба имеет закрепительный винт 9 и наводящее устройство 12, ее устанавливают по предмету кремальерой (винтом фокусирующей линзы) 8. Рядом с окуляром трубы 10 расположен окуляр 7 штрихового микроскопа, поле зрения которого представлено на рис. VI.3,а. Точность отсчета микроскопа — 1'. Теодолит имеет наводящее устройство горизонтального круга 4, наводящий 13 и закрепительный 5 винты алидады. В кожухе 11 расположен вертикальный круг.

Т5 (рис. VI.8) относится к группе точных теодолитов. Средняя квадратическая погрешность измерения угла этим прибором составляет 5''. Прибор заслужил внимание топографов своей универсальностью, надежностью и простотой в работе. Теодолит крепится в подставке 9 закрепительным винтом 7. Подъемные винты 8 позволяют приводить прибор по уровню в горизонталь-

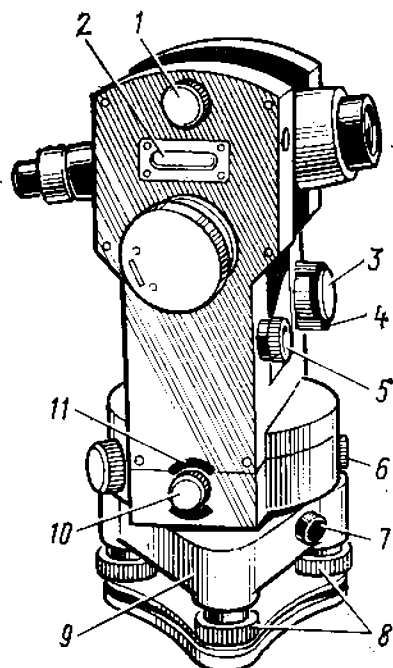


Рис. VI.8. Теодолит Т5

ное положение. Винты *10* и *11* наводящего и закрепительного устройств алидады горизонтального круга совмещены. Аналогичное совмещение имеют наводящее *3* и закрепительное *4* устройства трубы. Горизонтальный круг может быть соединен с алидадой при повторительных операциях с помощью защелки повторительного устройства нажатием на клавишу *6*. Уровень *2* при алидаде вертикального круга приводят в рабочее положение винтом *5*. Призма *1* служит для слежения за уровнем.

Отсчитывание по угломерным кругам производят при помощи шкалового микроскопа, поле зрения которого представлено на рис. VI.3.

До начала полевых работ выполняют *поверки* теодолита, т. е. устанавливают, соответствует ли прибор основным геометрическим условиям (см. § VI.2). Если геометрические условия не выполняются, производят *юстировку* (регулировку) прибора. Последовательность проверок следующая:

1. *Проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня  $UU_1$  при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения теодолита  $ZZ_1$ .* Прибор приводят в рабочее положение, при котором ось  $ZZ_1$  должна занимать отвесное направление. Процесс приведения оси  $ZZ_1$  в отвесное положение называется горизонтированием прибора. При проверке, установив цилиндрический уровень при алидаде горизонтального угла по направлению любой пары подъемных винтов и вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Открыв закрепительный винт алидады, поворачивают прибор на  $90^\circ$  и, действуя только третьим подъемным винтом, вновь приводят уровень в нуль-пункт. В случае необходимости действия повторяют. Затем устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов, вращением их приводят пузырек уровня в нуль-пункт и, повернув алидаду на  $180^\circ$ , наблюдают за положением пузырька уровня. Если он отошел от середины более чем на одно деление, исправительными винтами уровня перегоняют пузырек к середине на половину дуги его отклонения. На вторую половину дуги пузырек перегоняют к середине при помощи подъемных винтов. По исправленному уровню уточняют рабочее положение теодолита при повороте уровня на  $90^\circ$ . Если при этом отклонение пузырька не превышает одного деления, то условие выполнено. В противном случае поверку повторяют.

2. *Проверка перпендикулярности визирной оси трубы  $WW_1$  к горизонтальной оси вращения трубы  $NN_1$ .* Ось вращения прибора приводят по уровню в отвесное положение. Выбирают на местности хорошо видимую удаленную точку, визируют на нее и делают отсчет  $M_1$  по горизонтальному кругу. Переведя трубу через зенит, т. е. изменив ее положение поворотом на  $180^\circ$  в вертикальной плоскости, и повернув алидаду на  $180^\circ$ , наблюдают ту же точку при другом положении трубы относительно вертикального круга. Берут отсчет  $M_2$  по горизонтальному кругу. Разность этих отсчетов  $2c = M_2 - M_1 + 180^\circ$ , называемая двойной коллимационной погрешностью, не должна превышать для теодолита ТЗ0  $2'$ . При недопустимой величине двойной коллимационной погрешности производят юстировку теодолита. Для точных работ величину  $c$  определяют на различных расстояниях (25, 200, 400, 1000 м), т. е. с учетом хода фокусирующей линзы трубы.

3. *Проверка перпендикулярности горизонтальной оси вращения зрительной трубы  $NN_1$  к оси вращения прибора  $ZZ_1$ .* После приведения оси вращения теодолита в отвесное положение, выбирают на расстоянии 10—20 м от прибора высокую точку  $A$ , например на стене дома, и визируют на нее. Опускают трубу до горизонтального положения и отмечают карандашом на стене точку  $A_1$ , в которой проектируется пересечение нитей сетки. Затем переводят трубу через зенит и, повернув алидаду на  $180^\circ$ , снова визируют на точку  $A$ . Опустив трубу к горизонту, отмечают точку  $A_2$  — новую проекцию пересечения нитей сетки. Если точки  $A_1$  и  $A_2$ , отмеченные на одной горизонтальной линии, совпадают, то перпендикулярность осей соблюдена. Выполнение указанного условия гарантируется заводом-изготовителем.

4. *Проверка положения сетки нитей в зрительной трубе.* Проверяется выполнение требования, чтобы вертикальная нить сетки нитей зрительной трубы была отвесной. При отвесном положении оси вращения прибора наводят вертикальную нить сетки трубы на нить отвеса, подвешенного на расстоянии 10—12 м. Действуя наводящим винтом трубы, проводят сеткой нитей по отвесу. Если вертикальная нить сходит с отвеса, то необходимо, ослабив винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, повернуть окуляр вместе с сеткой нитей. После исправления поверку повторяют.

## § VI.5. Измерение горизонтальных углов

Горизонтальные углы в топографии измеряют преимущественно **способом приемов**. Измеряемый угол отмечают на земной поверхности тремя точками  $A$ ,  $O$ ,  $B$  (рис. VI.9), закрепляемыми кольями с вбитыми в торец гвоздями. Теодолит устанавливают в вершине угла  $O$  и приводят в рабочее положение, т. е. центрируют и горизонтируют.

*Центрирование* состоит в расположении вертикальной оси теодолита по нити отвеса над точкой. При этом верхняя плоскость головки штатива располагается горизонтально, а острие отвеса, подвешенного на крючке станкового винта, почти соприкасается со шляпкой гвоздя. Погрешность центрирования не должна превышать 3—5 мм. Большинство современных теодолитов оснащены оптическими центрирами, которые повышают точность и облегчают процесс центрирования, особенно при сильном ветре.

Направления сторон угла  $AOB$  обозначают **вехами**, устанавливаемыми за сопряженными точками  $A$  и  $B$  в створах измеряемых направлений. Точки  $A$  и  $B$  стараются выбрать так, чтобы обеспечить видимость в теодолит шляпки гвоздя, обозначающего точку, если длина стороны не превышает 100—200 м. Веха помогает быстро отыскивать нужное направление.

*Полный прием* измерения угла состоит из двух равноправных *полуприемов*, выполняемых при двух положениях вертикального круга относительно визирной оси теодолита. Положение круга справа от оси определяет положение теодолита «круг право» —  $КП$ , слева — «круг лево» —  $КЛ$ . Измерения обычно начинают при положении

вертикального круга  $КП$ .

При помощи окулярного кольца и кремальеры трубу теодолита устанавливают по глазу и по предмету, сориентировав ее на веху  $A$ . Закрепив винтами трубу и алидаду горизонтального круга, наводящими винтами трубы и алидады совмещают биссектор сетки нитей с

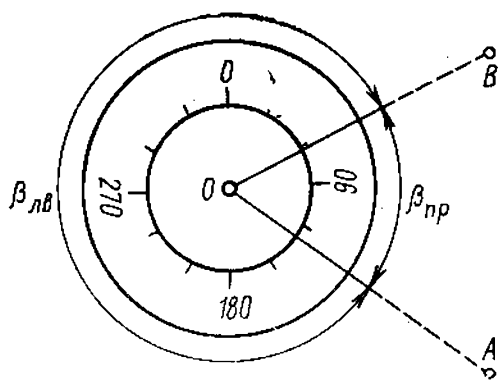


Рис. VI.9. Измерение горизонтальных углов способом приемов

изображением шляпки гвоздя. Манипулируя окулярным кольцом микроскопа, добиваются наиболее четкого изображения штрихов лимба и берут отсчет  $a$  по горизонтальному кругу.

Открыв алидаду горизонтального круга и трубу, визируют в направлении точки  $B$  и повторяют те же действия, что и при наблюдении точки  $A$ . Выполненные операции составляют первый полуприем. Измеренный угол  $AOB$  равен разности отсчетов:  $a - b$ . Разность отсчетов на правую и левую точки называют правым углом ( $\beta_{\text{пр}}$ ), причем если отсчет на правую точку будет меньше левого, то к нему прибавляют  $360^\circ$ . Левый угол ( $\beta_{\text{лев}}$ ) получают по разности  $(b + 360^\circ) - a$ ; он является дополнением правого угла до  $360^\circ$ .

Второй полуприем выполняют для исключения грубых промахов и повышения точности результатов. Перед вторым полуприемом горизонтальный круг смещают на  $1-3^\circ$ , трубу теодолита устанавливают в положение КЛ и повторяют измерения в том же порядке. Результаты измерений и вычислений записывают в журнал (табл. VI.1).

Таблица VI.1

Номер точки стояния	Номер точки на- блюдения	КП или КЛ	Отсчеты	Горизонтальные углы	
				измеренные	средние
0	A	КП	113°49' (1)	81°38' (5)	81°38,5' (7)
	B		32°11' (2)		
	A	КЛ	295°17' (3)	81°39' (6)	
	B		213°38' (4)		

В скобках указана очередность выполнения операций.

Если расхождения между результатами в полуприемах не превышают для теодолита ТЗ0  $1,5'$ , то за окончательное значение угла принимают среднее арифметическое. Для контроля измерений удобно пользоваться совмещением нулей лимба и алидады. Выполнив такое совмещение, движением лимба визируют на точку  $A$  (рис. VI.9). Закрепляют в этом положении лимб и, открыв алидаду, переводят трубу в направлении точки  $B$ . Отсчет по микроскопу непосредственно выразит величину измеряемого угла.

**Источники погрешностей.** Угловые измерения неизбежно сопровождаются погрешностями случайного и систематического характера. Суммарная погрешность измеренного угла складывается из следующих элементов: 1) погрешности измерения угла, возникающие вследствие неточности центрирования теодолита и визирных целей; 2) инструментальные погрешности, вызываемые нарушениями взаимодействия частей и механизмов теодолита; 3) погрешности собственного измерения угла — погрешности визирования и отсчитывания; 4) погрешности, вызванные влиянием неблагоприятных условий внешней среды, боковой рефракцией, условиями видимости, колебаниями изображений.

Действие случайных погрешностей может быть ослаблено применением более совершенных инструментов и методов измерений, увеличением числа приемов.

Наиболее благоприятным для измерения углов считают время примерно через 0,5—1 ч после восхода солнца и за 0,5—1 час до его захода, исключая близполуденные часы, когда колебания изображений очень сильны. Благоприятны для измерений пасмурные дни.

## ГЛАВА VII

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ ТОЧЕК НА МЕСТНОСТИ

Линейные и угловые измерения, проводимые на местности, устанавливают геометрическую взаимосвязь между точками земной поверхности, определяющую их *плановое положение* на плоскости в принятой системе координат. Измерения производят относительно *исходных*, или *начальных*, точек, координаты которых определены или заданы заранее. По мере удаления от исходных точек накапливаются погрешности, неизбежно сопровождающие измерения, и, следовательно, понижается точность определения координат точек местности. Если использовать несколько независимых друг от друга исходных точек, то результаты определения координат прочих точек будет трудно согласовать между собой. Возникает необходимость предварительного определения планового положения начальных точек в единой системе координат. Это позволяет избежать нарастания погреш-



ностей измерений и достаточно легко сводить разрозненные работы в единое целое. Связанные между собой единой системой координат исходные точки образуют *плановые геодезические сети*, используемые при съемочных работах.

Плановое положение исходных точек можно получить астрономическими и геодезическими методами. *Астрономическими методами* координаты определяют по наблюдениям за светилами на каждой из точек независимо друг от друга. *Геодезические методы* основаны на линейных и угловых измерениях между всеми исходными точками для вычисления их координат. Одним из наиболее простых методов создания плановых геодезических сетей является прокладка так называемых *теодолитных ходов*.

## **§ VII.1. Теодолитные ходы, их виды.**

### **Вычисление координат точек теодолитных ходов**

*Теодолитным ходом* называют замкнутый или разомкнутый многоугольник на местности, в котором углы измеряют теодолитом.

Перед измерениями точки теодолитного хода (точки поворота) закрепляют на местности. При выборе их местоположения руководствуются удобством использования точек в последующих работах и обеспечением их долговременной сохранности. Закрепляются точки *временными* или *постоянными геодезическими знаками*. Временными знаками служат деревянные столбы и колья (см. § V.3), металлические костыли и трубы. Центры знаков маркируют краской или гвоздями. Временные знаки используют на небольших участках и когда нет необходимости в длительной их сохранности. Долговременные точки закрепляют железобетонными пилонами, трубами, деревянными столбами, установленными на бетонный монолит (рис. VII.1), и окапывают канавами установленной формы. Обычно измеряют углы поворота, лежащие вправо по ходу, что более удобно в обработке. Измерения производят одним приемом с перестановкой лимба между полуприемами на  $90^\circ$ , колебания значений углов в полуприемах не должны превышать  $1,5'$ . Длины сторон измеряют светодальномерными насадками, оптическими дальномерами, электронными и редуционными тахеометрами (см. § X.2), длиномерами в одном направлении или в прямом и обратном направлениях, земле-

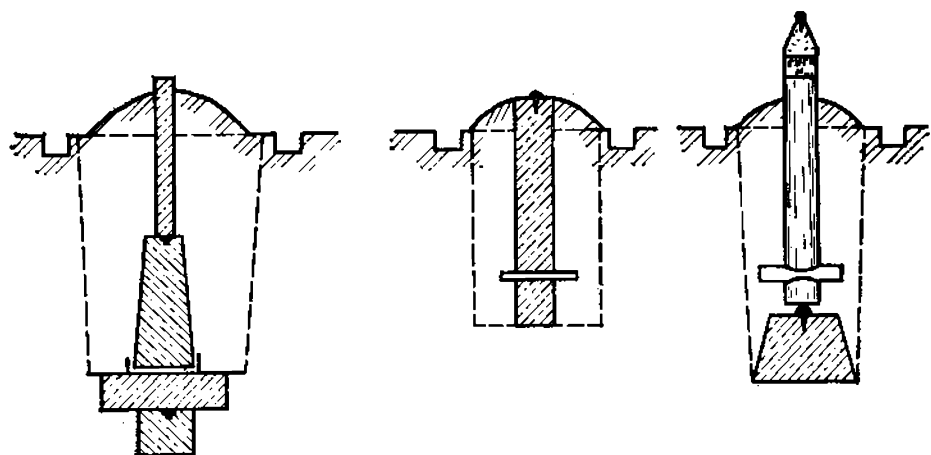


Рис. VII.1. Долговременные геодезические знаки

мерными 20-метровыми лентами, рулетками и другими приборами, обеспечивающими требуемую точность измерений. Углы наклона определяют по вертикальному кругу теодолита и вводят поправки за приведение длин линий к горизонту при углах более  $1,5^\circ$ . Если на измеряемой линии несколько точек перегиба, то при измерении ее лентой, рулеткой или длиномером по частям углы наклона измеряют на каждой части отдельно.

Длины сторон в теодолитных ходах не должны быть больше 350 и меньше 20 м. Прокладываются теодолитные ходы с предельными относительными погрешностями  $1 : 3000$ ,  $1 : 2000$  и  $1 : 1000$ .

Результаты угловых и линейных измерений заносят в журнал установленной формы. По результатам полевых измерений определяют координаты точек теодолитного хода решением прямой геодезической задачи (см. § 1.9) по каждой линии хода. Необходимые для этого углы ориентирования получают путем вычислений на основании геометрической зависимости между ними и углами, образуемыми сторонами теодолитного хода. Начальный дирекционный угол может быть задан по исходным данным. В изолированных ходах измеряют географический или магнитный азимут одной из сторон и принимают его за начальный угол хода. Между углами существует зависимость: дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс  $180^\circ$  и минус правый по ходу горизонтальный угол. Применительно к участку хода, изображенному на рис. VII.2,а, для вычислений используют формулу

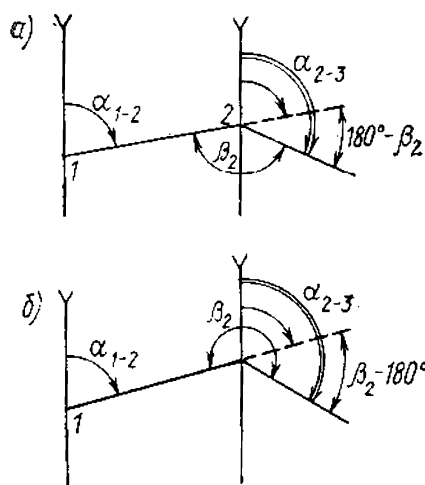


Рис. VII.2. Зависимость между дирекционными углами при углах поворота:

а — правых по ходу, б — левых по ходу

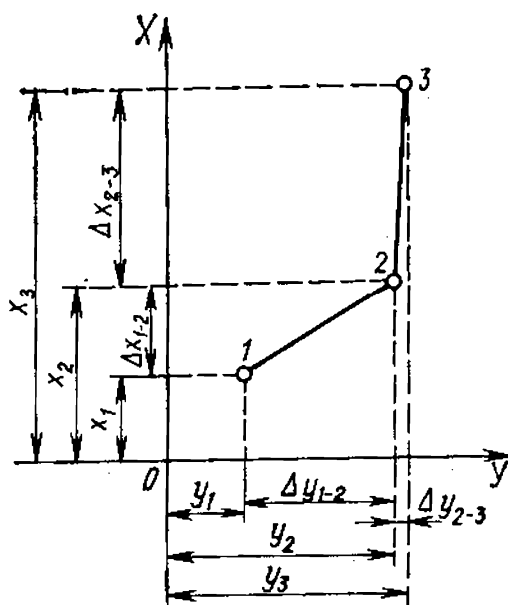


Рис. VII.3. Зависимость между координатами точек теодолитного хода

$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} \mp 180^\circ - \beta_2$ . Если измерены левые (рис. VII.2, б) по ходу углы, то  $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} - 180^\circ \mp \beta_2$ .

Теодолитные ходы подразделяются на замкнутые и разомкнутые. Замкнутый ход (полигон) может быть самостоятельной системой, в которой начало координат выбирается условно.

Вычисление координат точек теодолитного хода проводится последовательно: найти значения  $x_3$  и  $y_3$  можно только после нахождения  $x_2$  и  $y_2$  и т. д. (рис. VII.3). Так как практические результаты работы вследствие погрешностей в ее выполнении отличаются от теоретически возможных, процесс нахождения координат включает поэтапный контроль результатов измерений и вычислений. Цель контроля — приведение исходных данных к теоретически возможному виду.

Допустимую угловую невязку в результатах измерения горизонтальных углов находят по формуле

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1' \sqrt{n}. \quad (\text{VII.1})$$

При вычислении приращений координат определяют абсолютную и относительную погрешности [см. форму-

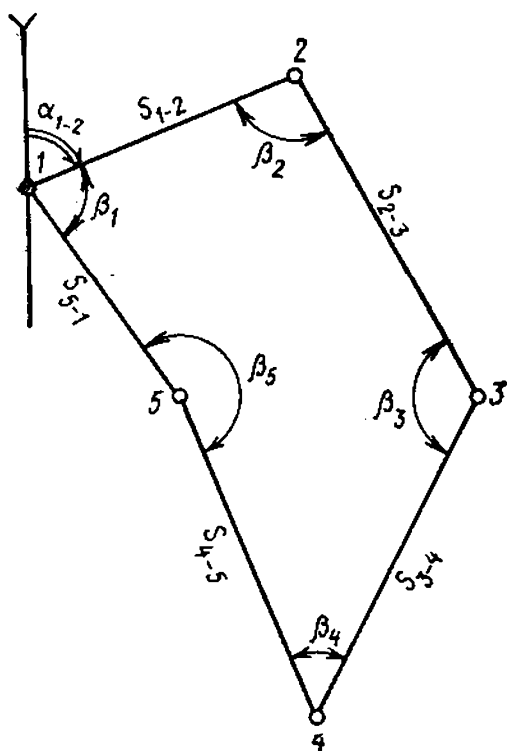


Рис. VII.4. Схема теодолитного полигона

лы (VII.2) и (VII.3)]. Допустимость относительной погрешности задается.

Порядок вычисления координат точек теодолитного хода поясним на примере. Допустим, что на местности проложен ход, схематическое изображение которого дано на рис. VII.4. Исходные данные для вычислений выписывают в ведомость (табл. VII.1). Дальнейшая работа проводится поэтапно.

1. *Увязка (уравнивание) угловых измерений.* Значения углов (табл. VII.1, графа 2) суммируются ( $\Sigma\beta_{\text{пр}}$ ); вычисляется теоретическая сумма углов в многоугольнике

( $\Sigma\beta_{\text{т}}$ ) по формуле  $\Sigma\beta_{\text{т}} = 180^\circ (n-2)$ , где  $n$  — количество углов.

Определяется практическая угловая невязка ( $f_{\beta_{\text{пр}}}$ ) по формуле  $f_{\beta_{\text{пр}}} = \Sigma\beta_{\text{пр}} - \Sigma\beta_{\text{т}}$ , а затем допустимая угловая невязка по формуле, приведенной выше. В нашем примере  $\Sigma\beta_{\text{пр}} = 540^\circ 02'$ ,  $\Sigma\beta_{\text{т}} = 540^\circ$ , следовательно,  $f_{\beta_{\text{пр}}} = +2'$ ;  $f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 1' \sqrt{5} = \pm 2,2'$ , т. е. практическая ошибка не превышает допустимую, поэтому можно приступить к увязке углов.

Увязка углов состоит в определении поправок в исходные данные и получении исправленных значений, сумма которых должна быть равна теоретической. При определении значений поправок  $v_1, v_2$  и т. д. учитывают следующее: а) при относительном равенстве сторон полигона угловая невязка распределяется поровну на все углы со знаком, обратным знаку невязки; б) если стороны резко отличаются друг от друга по длине, то несколько большие поправки вводят в углы, образуемые короткими сторонами, так как точность измерения таких углов

Таблица VII.1

Угол	Углы измеренные	Поправка	Углы исправленные	Дирекционные углы	Румбы	Длины сторон	Приращения вычисленные				Приращения исправленные		Координаты точек	
							$\Delta x$	поправка	$\Delta y$	поправка	$\Delta x$	$\Delta y$	$x$	$y$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	66°28'	-1'	66°27'	80°20'	CB 80°20'	58,43	+9,88	-0,03	+57,60		+9,85	+57,60	+100,00	+100,00
2	95°25'	-1'	95°24'	164°56'	ЮВ 15°04'	70,25	-67,81	-0,04	+18,28	-0,01	-67,85	+18,25	+109,85	+157,60
3	144°31'		144°31'	200°25'	ЮЗ 20°25'	61,17	-57,33	-0,03	-21,34	-0,01	-57,36	-21,35	+42,00	+175,87
4	41°28'		41°28'	338°57'	СЗ 21°03'	83,41	+77,86	-0,04	-29,96	-0,01	+77,82	-29,97	-15,36	+154,52
5	192°10'		192°10'	326°47'	СЗ 33°13'	44,82	+37,56	-0,02	-24,55		+37,56	-24,55	+62,46	+124,55
1				80°20'		$L = 318,08$	+125,30	-0,16	+75,88	-0,03	+125,21	+75,87	+100,00	+100,00
	$\Sigma \beta_{np} = 540°02'$ $\Sigma \beta_r = 540°00'$	-2'	540°00'				-125,14		-75,85		-125,21	-75,87		
							+0,16		+0,03		0,00	0,00		

$$f_{acc} = \sqrt{0,16^2 + 0,03^2} = 0,16$$

$$f_{отп} = \frac{1}{318,08:0,16} \approx \frac{1}{2000} \left( \leq \frac{1}{2000} \right)$$

$$f\beta_{np} = +2'$$

$$f\beta_{доп} = \pm 1' \sqrt{5} = \pm 2,2'$$

несколько ниже по сравнению с углами, образуемыми длинными сторонами; по этой же причине относительно малую невязку распределяют только между углами с короткими сторонами; в) если теодолитный ход короткий, допустимо поправки вводить с таким расчетом, чтобы исправленные значения углов были округлены до целых минут.

*Сумма поправок должна быть равна невязке с обратным знаком.* В рассмотренном примере поправки введены в углы 1 и 2. Сумма исправленных углов равна теоретически  $540^\circ$  (графы 3 и 4 табл. VII.1).

*2. Вычисление дирекционных углов сторон полигона и переход от них к румбам.* Дирекционные углы всех сторон полигона вычисляют по исходному значению  $\alpha_{1-2}$  и исправленным значениям внутренних углов. Вычисление ведется последовательно:  $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2$ ,  $\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_3$ ,  $\alpha_{4-5} = \alpha_{3-4} + 180^\circ - \beta_4$ ,  $\alpha_{5-1} = \alpha_{4-5} + 180^\circ - \beta_5$ ; завершают вычисления нахождением  $\alpha_{1-2} = \alpha_{5-1} + 180^\circ - \beta_1$ . В процессе вычисления при необходимости следует прибавлять или вычитать  $360^\circ$ , с тем чтобы окончательное значение дирекционного угла не было отрицательным или больше  $360^\circ$ .

*Контролируются вычисления условием: вычисленный  $\alpha_{1-2}$  должен быть равен исходному значению.* В приведенном примере исходный и вычисленный дирекционные углы равны  $80^\circ 20'$  каждый (см. графу 5 табл. VII.1). В целях упрощения дальнейших вычислений от дирекционных углов переходят к румбам сторон на основании зависимости между ними. Запись румбов ведут в графе 6.

*3. Вычисление приращений координат.* Приращения координат находят по формулам прямой геодезической задачи с использованием микрокалькуляторов, пятизначных таблиц тригонометрических функций, таблиц логарифмов или таблиц приращений координат. Предварительно следует ознакомиться с правилами работы с таблицами.

Полученные значения приращений выписывают в соответствующие графы ведомости (см. табл. VII.1). Затем контролируют правильность вычислений на этом этапе. Известно, что алгебраические суммы приращений в замкнутом полигоне должны быть равны 0. Практически эти суммы отличаются от 0, поэтому возникают *линейные невязки*  $f_x$  и  $f_y$ . Их значения получают суммированием вычисленных приращений.

Общая абсолютная линейная невязка полигона  $f_{\text{абс}}$  вычисляется по формуле

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (\text{VII.2})$$

относительная  $f_{\text{отн}}$  — по формуле

$$f_{\text{отн}} = 1/(L : f_{\text{абс}}), \quad (\text{VII.3})$$

где  $L$  — периметр полигона.

Допустимая  $f_{\text{отн}}$  не должна превышать в нашем примере  $1/2000$ . Как видно из приведенных в таблице результатов вычислений, полученное значение линейной относительной невязки не превышает заданного значения, поэтому можно приступить к увязке вычисленных приращений.

4. *Увязка приращений координат.* Вначале получают поправки в определенные приращения по формулам

$$v_x = \frac{f_x}{L} s, \quad v_y = \frac{f_y}{L} s, \quad (\text{VII.4})$$

где  $L$  и  $s$  выражаются в десятках или сотнях метров. Из формул следует, что значение поправки пропорционально длине стороны полигона (его горизонтальному проложению). Знак поправки — обратный знаку невязки. Точность определения поправки не должна превышать точности исходных данных, т. е. точности измерения длин сторон теодолитного хода. Практически поправка вычисляется до 0,001, а затем округляется до 0,01. Контролируется этот этап работы таким условием: *сумма поправок должна быть равна невязке с обратным знаком.*

В нашем примере  $f_x = +0,16$ , в периметре 32 десятка (318,08 м). Делим  $0,16 : 32 = 0,005$ , т. е. на один десяток метров периметра приходится 0,005 поправки. Длина первой стороны (1—2) содержит 6 десятков, тогда  $0,005 \times 6 = 0,03$ ; 0,03 — это поправка в первое приращение  $\Delta x$ . Аналогично находим поправки ко всем другим приращениям. Суммируем их и сверяем со значением невязки. Если первоначальная сумма отличается на некоторую величину от невязки, то следует исправить поправки так, чтобы их сумма не отличалась от значения невязки. Затем вводятся поправки в соответствующие приращения. При этом следует учитывать знаки приращений и суммируемых с ними поправок. Для контроля суммируем исправленные значения приращений. Их сумма должна быть равна 0. В нашем примере (см. графы 12 и 13 табл. VII.1) это условие выполнено.

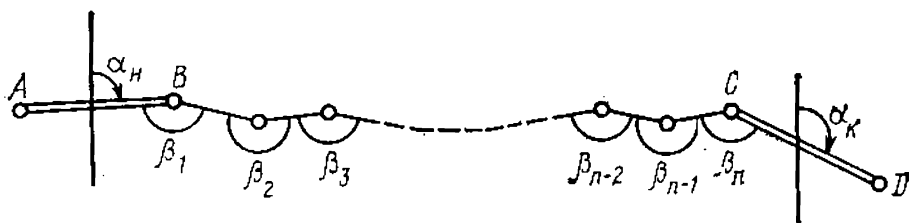


Рис. VII.5. Схема разомкнутого теодолитного хода

5. *Вычисление координат точек полигона.* Координаты точек полигона вычисляются по формулам прямой геодезической задачи. Для нашего примера формулы имеют вид:  $x_2 = x_1 + \Delta x_{1-2}$ ;  $x_3 = x_2 + \Delta x_{2-3}$ ;  $x_4 = x_3 + \Delta x_{3-4}$ ;  $x_5 = x_4 + \Delta x_{4-5}$ ;  $y_2 = y_1 + \Delta y_{1-2}$ ;  $y_3 = y_2 + \Delta y_{2-3}$ ;  $y_4 = y_3 + \Delta y_{3-4}$ ;  $y_5 = y_4 + \Delta y_{4-5}$ .

Контролем служит вычисление координат первой точки:  $x_1 = x_5 + \Delta x_{5-1}$ ;  $y_1 = y_5 + \Delta y_{5-1}$ ; полученные и исходные значения  $x_1$  и  $y_1$  должны быть равны. В нашем примере это условие выполнено (см. графы 14 и 15 табл. VII.1).

*Разомкнутый теодолитный ход* своими концами примыкает к точкам плановой геодезической сети с уже известными координатами (рис. VII.5). Дирекционные углы сторон сети, примыкающих к теодолитному ходу, служат начальным  $\alpha_n$  и конечным  $\alpha_k$  дирекционными углами разомкнутого хода. В теодолитном ходе измеряют все углы поворота  $\beta$ , в том числе углы, образованные сторонами сети и хода —  $\beta_1, \beta_n$  и называемые *примычными*. Угловую невязку разомкнутого хода вычисляют по формуле

$$f_\beta = \sum \beta_i - n \cdot 180^\circ - (\alpha_n - \alpha_k),$$

где  $n$  — число измеряемых углов (горизонтальных) поворота. Полученную невязку при ее допустимости распределяют так же, как и в замкнутом полигоне. Вычисление дирекционных углов выполняют также аналогично описанному для замкнутого полигона. Контролем правильности вычислений служит равенство вычисленного конечного дирекционного угла его исходному значению  $\alpha_k$ . Координаты точек  $B$  и  $C$  плановой сети служат исходными для вычисления координат точек теодолитного хода.

Невязки в приращениях координат разомкнутого теодолитного хода вычисляют по формулам:

$$f_x = \sum \Delta x_i - (x_C - x_B);$$



$$\bar{f}_y = \Sigma \Delta y_i - (y_c - y_b),$$

где  $x_b, y_b$  — координаты начальной, а  $x_c, y_c$  — конечной точек.

После определения допустимости невязок  $\bar{f}_x, \bar{f}_y$  и их введения в приращения по формулам (VII.4) получают исправленные приращения координат и вычисляют координаты всех точек хода по формулам замкнутого полигона. Контролем является равенство вычисленных координат конечной точки ее исходным значениям.

## § VII.2. Вычисление координат точек прямыми и обратными засечками

Координаты отдельных точек, расположенных в стороне от теодолитных ходов, могут быть определены аналогично из угловых построений, называемых *засечками*. По расположению измеряемых углов относительно определяемого пункта (точки) засечки бывают *прямыми*, *обратными* и *комбинированными* (боковыми).

**Прямой засечкой** называют геодезическое построение (рис. VII.6, а), при котором с точек  $A$  и  $B$  с известными координатами  $x_A, y_A; x_B, y_B$  измеряют углы  $\beta_1, \beta_2$ , составленные направлениями на определяемый пункт  $O$  и на пункт с известными координатами. Для определения координат пункта  $O$  пользуются формулами Юнга:

$$\begin{aligned} x_O &= \frac{x_A \operatorname{ctg} \beta_2 + x_B \operatorname{ctg} \beta_1 - y_A + y_B}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}; \\ y_O &= \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta_2 + y_B \operatorname{ctg} \beta_1 + x_A - x_B}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}. \end{aligned} \quad (\text{VII.5})$$

Для надежности решения задачи используют двукратную засечку с пунктов  $A, B$  и  $C$ .

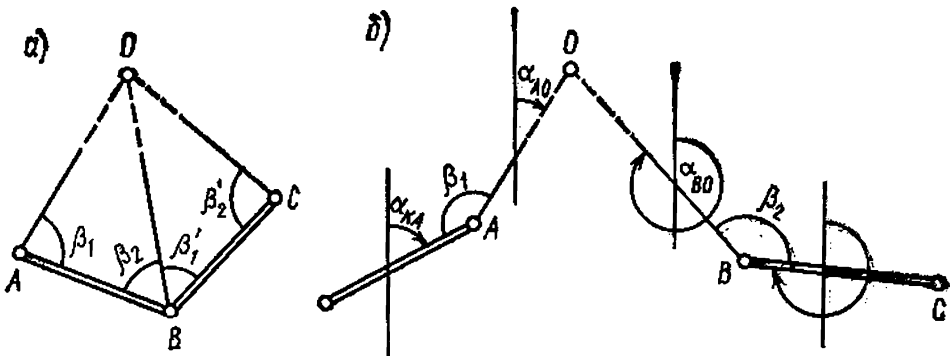


Рис. VII.6. Прямая засечка

Если между точками  $A$  и  $B$ ,  $B$  и  $C$  нет видимости, измеряют углы между определяемым пунктом и другими пунктами с известными координатами (рис. VII.6,6). В этом случае решают обратную геодезическую задачу (см. § I.9) — вычисляют дирекционные углы линий  $KA$  ( $\alpha_{KA}$ ) и  $CB$  ( $\alpha_{CB}$ ). По дирекционным углам и измеренным углам  $\beta_1$  и  $\beta_2$  вычисляют дирекционные углы направлений на определяемый пункт:

$$\alpha_{AO} = \alpha_{KA} + \beta_1 - 180^\circ \text{ и } \alpha_{BO} = \alpha_{CB} - \beta_2 + 180^\circ.$$

Координаты искомого пункта могут быть вычислены по формулам:

$$x_O = \frac{x_A \operatorname{tg} \alpha_{AO} - x_B \operatorname{tg} \alpha_{BO} + y_B - y_A}{\operatorname{tg} \alpha_{AO} - \operatorname{tg} \alpha_{BO}}; \quad (VII.6)$$

$$y_O = (x_O - x_A) \operatorname{tg} \alpha_{AO} + y_A = (x_O - x_B) \operatorname{tg} \alpha_{BO} + y_B.$$

Решение **обратной засечки** заключается в определении координат четвертого пункта по координатам трех исходных пунктов и двум углам, измеренным при определяемом пункте (рис. VII.7).

На рисунке точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  имеют координаты соответственно  $x_A, y_A$ ;  $x_B, y_B$ ;  $x_C, y_C$ . С определяемого пункта измерены углы  $AOC = \alpha$  и  $BOC = \beta$ . Через точки  $A$ ,  $O$ ,  $B$ , не лежащие на одной прямой, проводят окружность. Продлив сторону  $OC$  до пересечения с окружностью, получают вспомогательную точку (Коллинса)  $Q$ . Для определения ее координат соединяют точки  $A$  и  $B$  между собой и с точкой  $Q$ . Образовавшиеся вписанные углы  $ABQ$  и  $BAQ$  равны:  $ABQ = AOQ = \alpha$ ,  $BAQ = BOQ = \beta$  — как углы, опирающиеся на одни и те же дуги.

Координаты  $x_Q, y_Q$  точки  $Q$  отыскивают решением прямой засечки с точек  $A$  и  $B$  по формулам (VII.5). Дальнейшее решение сводится к отысканию дирекционных направлений  $BO$ ,  $CO$  и  $AO$  и вычислению координат  $x_O, y_O$  точки  $O$  по формулам (VII.6). Действительно, имея координаты точек  $Q$  и  $C$ , решают обратную геодезическую задачу для определения дирекционного угла

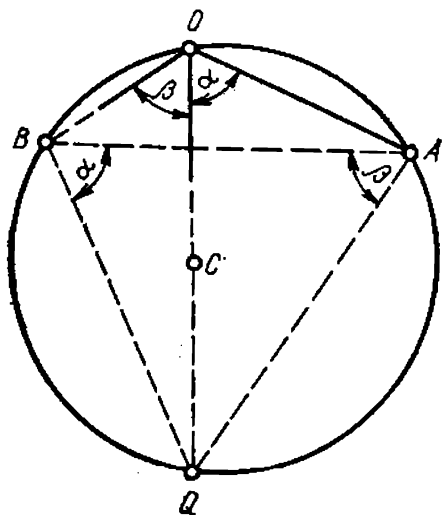


Рис. VII.7. Обратная засечка

$\alpha_{QS} = -\alpha_{SO}$ , а затем по измеренным углам  $\alpha$  и  $\beta$  получают искомые дирекционные углы  $\alpha_{AO} = \alpha_{SO} - \alpha$  и  $\alpha_{BO} = \alpha_{SO} + \beta$ .

### § VII.3. Государственная геодезическая сеть СССР

Геодезическая сеть СССР делится на *государственную геодезическую сеть, геодезическую сеть сгущения и съёмочную геодезическую сеть*, которые различаются по характеру и последовательности построения, точности и назначению. Наиболее точной и общей является государственная геодезическая сеть СССР, подразделяющаяся на четыре класса. Классы различаются между собой точностью измерения углов и расстояний, длиной сторон и порядком последовательного развития.

*Государственные геодезические сети СССР* создают методами триангуляции, полигонометрии и трилатерации. *Триангуляцией* называют построение на местности системы примыкающих друг к другу треугольников, в которых измерены горизонтальные углы и отдельные длины сторон. Измеренные стороны называются *базисами*. Они служат для вычисления остальных сторон треугольников. Вершины треугольников называют *пунктами триангуляции* (рис. VII.8).

*Полигонометрия* — построение на местности системы ходов в виде ломаных линий, в которых измерены длины всех сторон и горизонтальные углы поворотов. Вершины полигонометрических ходов называют *пунктами полигонометрии*.

*Трилатерация* создается в виде системы примыкающих друг к другу треугольников, у которых измерены все стороны.

Выбор метода построения сети определяется экономической и технической целесообразностью.

Государственная геодезическая сеть СССР первого и второго классов создается методами триангуляции и полигонометрии и предназначена для научных исследований, связанных с определением фигуры и размеров Земли как планеты, для распространения единой системы координат на всю территорию страны. Она служит основой для развития сетей последующих классов.

Триангуляционную сеть первого класса строят в виде системы полигонов периметром 800—1000 км. Полигоны состоят из звеньев-цепочек треугольников (рис. VII.9) протяженностью до 200 км вдоль меридианов и парал-

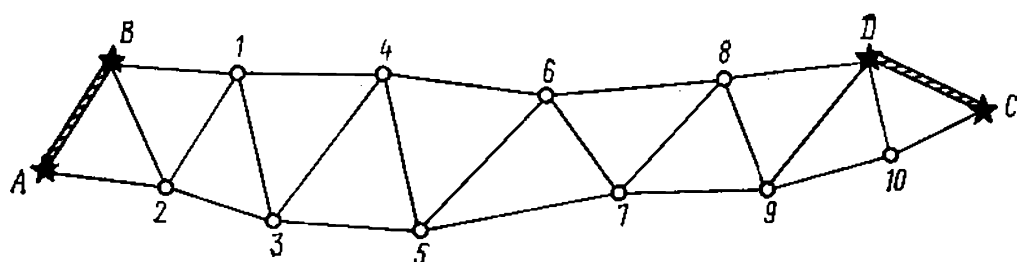


Рис. VII.8. Звено триангуляции

лелей. Форма треугольников должна быть близкой к равносторонней с длиной стороны не менее 20 км. Четырехугольник  $abcd$  образует базисную сеть — геодезические построения, в которых измерен базис  $cd$  и все

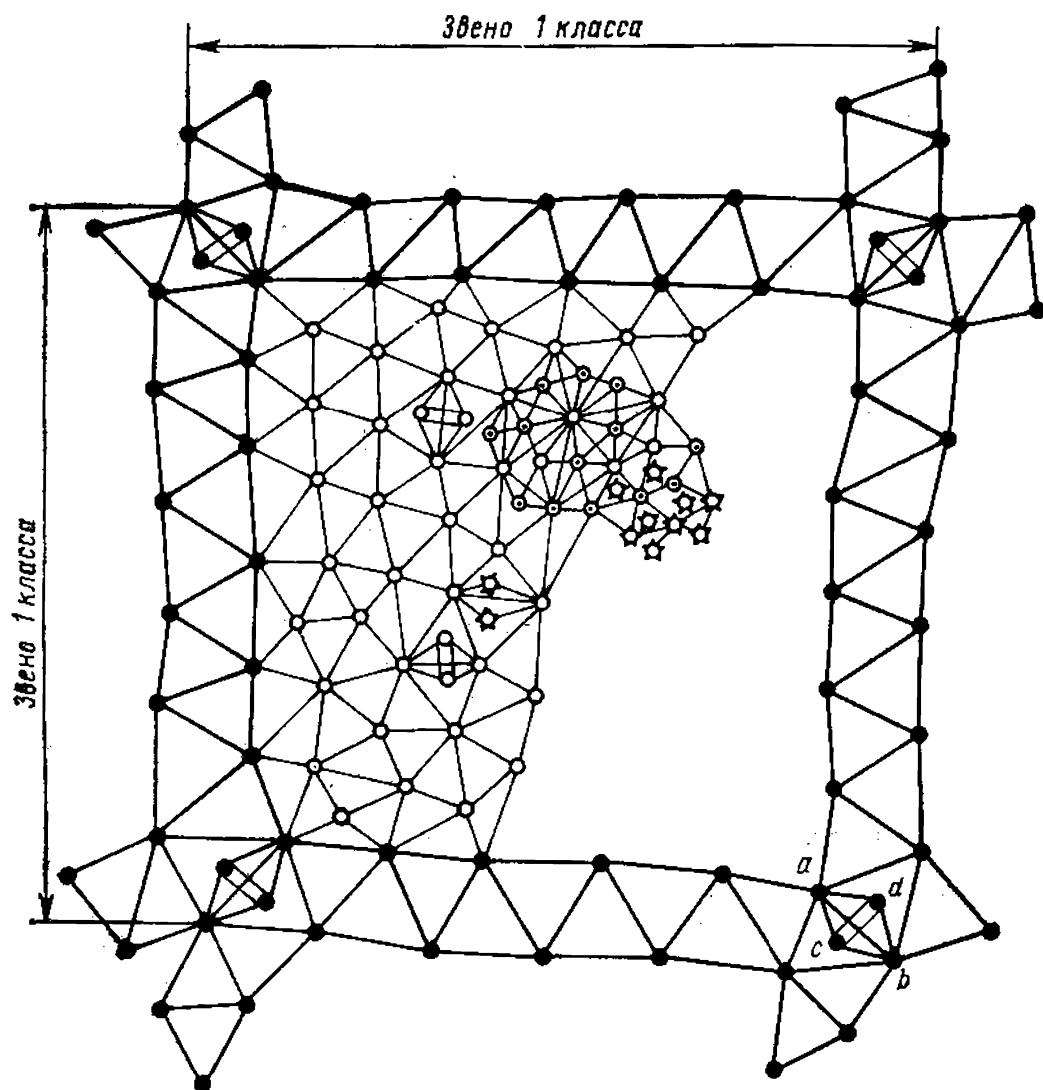


Рис. VII.9. Схема последовательности развития государственной геодезической сети

углы при вершинах. По углам и базису в каждом четырехугольнике вычисляются длины *выходных* (или *базисных*) *сторон* (например,  $ab$ ). Они необходимы для вычисления всех сторон цепочки треугольников с контролем. На концах базисных сторон располагают пункты Лапласа, в которых астрономическим путем определяют широту, долготу и азимут.

Треугольники второго класса (вершины на рис. VII.9 обозначены кружками) заполняют сплошной сетью полигоны первого класса. Длины сторон треугольников второго класса 7—20 км.

Государственные геодезические сети третьего и четвертого классов (вершины обозначены соответственно кружками с точкой и звездочками, см. рис. VII.9) располагают внутри треугольников второго класса.

*Геодезические сети сгущения* создают при недостаточной для последующих работ плотности пунктов государственной сети. По точности и последовательности развития они подразделяются на первый и второй разряды и создаются методами полигонометрии и триангуляции.

*Съемочные геодезические сети* заполняют сети сгущения и строятся в виде теодолитных ходов, различных засечек и несложных триангуляционных построений.

На участках площадью до 1 км<sup>2</sup> и при отсутствии данных о государственных геодезических сетях и сетях сгущения съемочные сети могут создаваться как самостоятельные (местные) геодезические сети.

## ГЛАВА VIII

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК НА МЕСТНОСТИ

#### § VIII.1. Методы определения высот

Определение отметок высоты точек местности сводится к установлению превышений  $h$  между исходной (начальной) точкой и определяемыми. Совокупность измерительных действий по определению высотных характеристик элементов изучаемой местности называется нивелированием. Различают несколько основных методов нивелирования: а) *геометрическое*, б) *тригонометрическое*, в) *физическое*; его разновидностями являются *барометрическое*, *гидростатическое*, *механическое* и *аэрорадионивелирование*.

## § VIII.2. Геометрическое нивелирование

Суть геометрического нивелирования заключается в измерении расстояний от некоторой условной уровенной поверхности до точек физической поверхности Земли. Так как ограниченные участки уровенной поверхности принимаются за горизонтальную плоскость (см. § I.6), то систему таких уровенных поверхностей можно схематично представить в виде горизонтальных параллельных прямых (рис. VIII.1), а превышение  $h$  — перпендикулярным к ним отрезком. Значение  $h$  определяется как разность отрезков  $a$  и  $b$ , т. е. расстояний от точек  $A$  и  $B$  физической поверхности Земли до условной уровенной поверхности, проходящей над этими точками.

На практике положение условной уровенной поверхности задается горизонтальным лучом визирования геодезического прибора — *нивелира*, а длина отрезков  $a$  и  $b$  определяется с помощью реек, устанавливаемых вертикально в точках  $A$  и  $B$  (рис. VIII.2). Чтобы получить длину  $a$  и  $b$ , нивелир устанавливают посередине между точками  $A$  и  $B$  и направляют зрительную трубу вначале на рейку точки  $A$ , затем на рейку точки  $B$ . Визирный луч отсекает на рейках отрезки, величина которых равна отсчету, взятому по средней горизонтальной нити сетки. Принято точку  $B$ , превышение которой определяется, называть *передней*, а точку  $A$ , относительно которой определяется  $h$ , *задней*. Соответственно называют и рейки, стоящие на точках. Поэтому формула превышения  $h=a-b$  читается так: *превышение между двумя точка-*

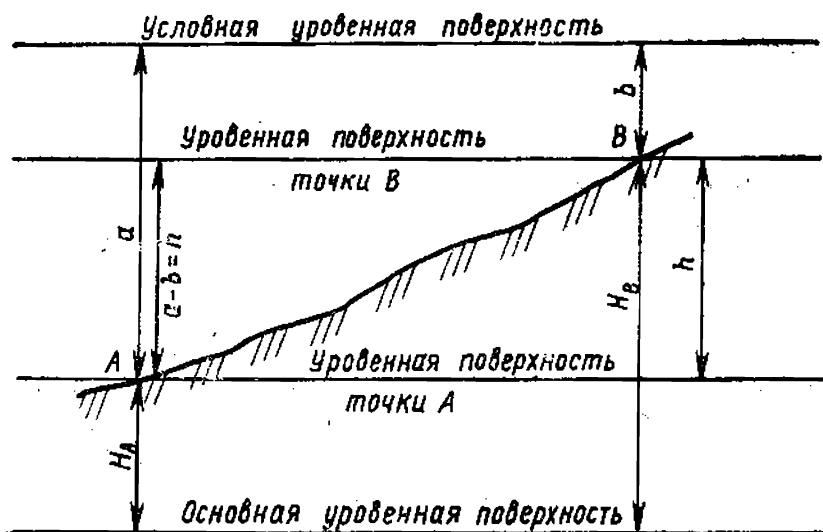


Рис. VIII.1. Принцип геометрического нивелирования

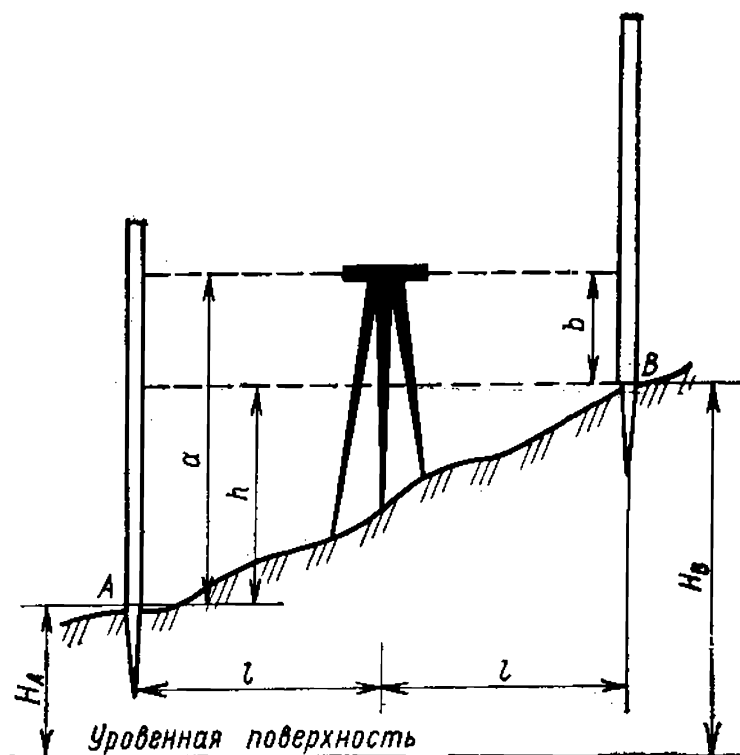


Рис. VIII.2. Нивелирование из середины.

ми равно отсчету на заднюю рейку минус отсчет на переднюю рейку.

В зависимости от высотного положения точки  $B$  по отношению к точке  $A$  превышение может быть положительным, если  $a > b$ , и отрицательным, когда  $a < b$ .

Рассмотренный способ определения превышения называется *нивелированием из середины*. В этом случае высота точки  $B$  ( $H_B$ ) при известной высоте точки  $A$  ( $H_A$ ) вычисляется по формуле

$$H_B = H_A + h.$$

Превышение между двумя точками можно определить, если поставить нивелир на одной из точек, например точке  $A$  (рис. VIII.3, а), и взять отсчет по рейке, установленной на точке  $B$  (этот способ называется *нивелирование вперед*). Тогда вместо величины  $a$  определяют высоту прибора  $i$ , а  $h = i - b$ .

Высота определяемой точки при этом выразится формулой

$$H_B = H_A + i - b,$$

где сумма  $H_A + i$  называется *горизонтом прибора ГП*, поэтому  $H_B = ГП - b$ .

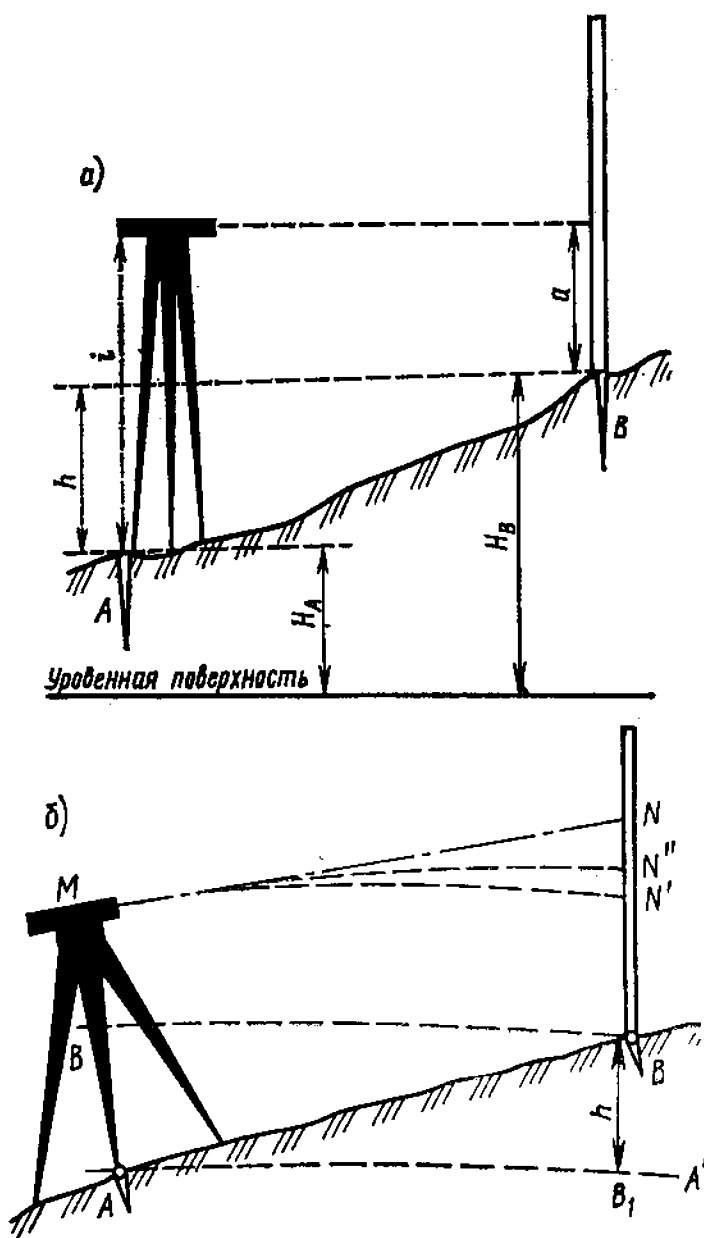


Рис. VIII.3. Нивелирование вперед

На точность определения превышений по рейке влияют кривизна Земли и рефракция. Рассмотрим это влияние на примере геометрического нивелирования способом вперед (рис. VIII.3,б). Визирный луч нивелира распространяется вдоль прямой  $MN$ , касательной к уровенной поверхности  $MN'$  в этой точке. Величину отклонения визирного луча от уровенной поверхности можно вычислить по формуле

$$N'N = k = \frac{l^2}{2R},$$

где  $R$  — средний радиус Земли, а  $l$  — расстояние  $AB$ .



Влияние рефракции проявляется в том, что, проходя через атмосферу, визирный луч приобретает вид некоторой кривой  $MN''$ , обращенной в дневное время выпуклостью вверх. Величину отклонения визирного луча за счет рефракции вычисляют по приближенной формуле

$$NN'' = r = \frac{l^2}{2R_1},$$

где  $R_1$  — радиус рефракционной кривой.

На практике вычисляют общее отклонение визирного луча

$$f = k - r = 0,43 \frac{l^2}{R}.$$

При необходимости величину отклонения учитывают в процессе нивелирования — вводят в результаты измерений поправку за кривизну Земли и рефракцию.

Нивелирование из середины имеет преимущества перед нивелированием вперед. Во-первых, увеличивается расстояние между пикетами. Во-вторых, компенсируются погрешности отсчетов, возникающие за счет возможного отклонения визирной оси нивелира от горизонтального положения. Действительно, из-за негоризонтальности визирного луча (рис. VIII.4) берутся отсчеты  $a'$  и  $b'$  вме-

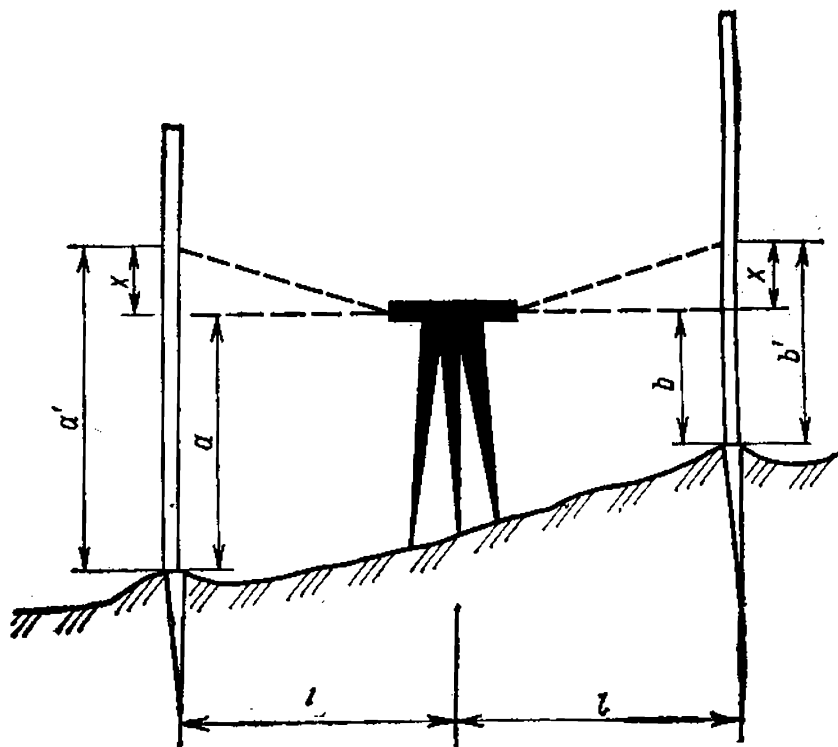


Рис. VIII.4. Компенсация погрешности за непараллельность визирного луча

сто  $a$  и  $b$ . Если обозначить погрешность отсчетов по рейкам через  $x$  (поскольку нивелир расположен посередине между рейками и угол наклона трубы постоянен, погрешности  $x$  для отсчетов  $a$  и  $b$  равны между собой), то  $a=a'-x$ ;  $b=b'-x$ , откуда  $h_{ab}=a'-b'=a-b$ .

### § VIII.3. Приборы и принадлежности геометрического нивелирования

В нивелирный комплект входят: нивелир (ГОСТ 10528—76) той или иной конструкции, штатив к нему, две нивелирные рейки и нивелирные башмаки.

Нивелир любой конструкции состоит из трех основных частей (рис. VIII.5,  $a$ ,  $b$ ): зрительной трубы 1, снабженной сеткой нитей для взятия отсчетов по рейке, устройства 2, обеспечивающего горизонтальное положение линии визирования, и подставки 3 с приспособлением для приведения прибора в рабочее положение. Нивелир вращается только в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси. Применяемые в настоящее время нивелиры делятся на две группы: 1) нивелиры с цилиндрическими уровнями (уровенные нивелиры); 2) нивелиры с компенсаторами.

На рис. VIII.5 представлена принципиальная схема расположения осей уровня нивелира:  $ZZ_1$  — вертикальная ось вращения прибора,  $WW_1$  — визирная ось трубы и  $UU_1$  — ось цилиндрического, а  $nn_1$  — круглого уровней.

*Нивелирные рейки* (рис. VIII.6,  $a$ ) изготавливают из выдержанных, специально обработанных еловых и сосновых брусков. Допускается изготовление реек из пластмасс, металла и других материалов, отвечающих требованиям, предъявляемым к рейкам. Деления на рейках нанесены в виде сантиметровых шашечек, оцифрованных через дециметр. Рейки, как правило, трехметровые двусторонние: основная шкала — черная (1), дополнительная — красная (2). Применяют также трех- и четырехметровые складные рейки. Нуль черной стороны рейки совпадает с окованным ее концом — пяткой. Деления на красной стороне рейки сдвинуты относительно делений на черной стороне. При нивелировании рейки устанавливают на колья, металлические костыли (рис. VIII.6,  $b$ ) или башмаки (рис. VIII.6,  $в$ ).

*Нивелирные башмаки* представляют собой металлические отливки в виде пластинок со сферическими голов-

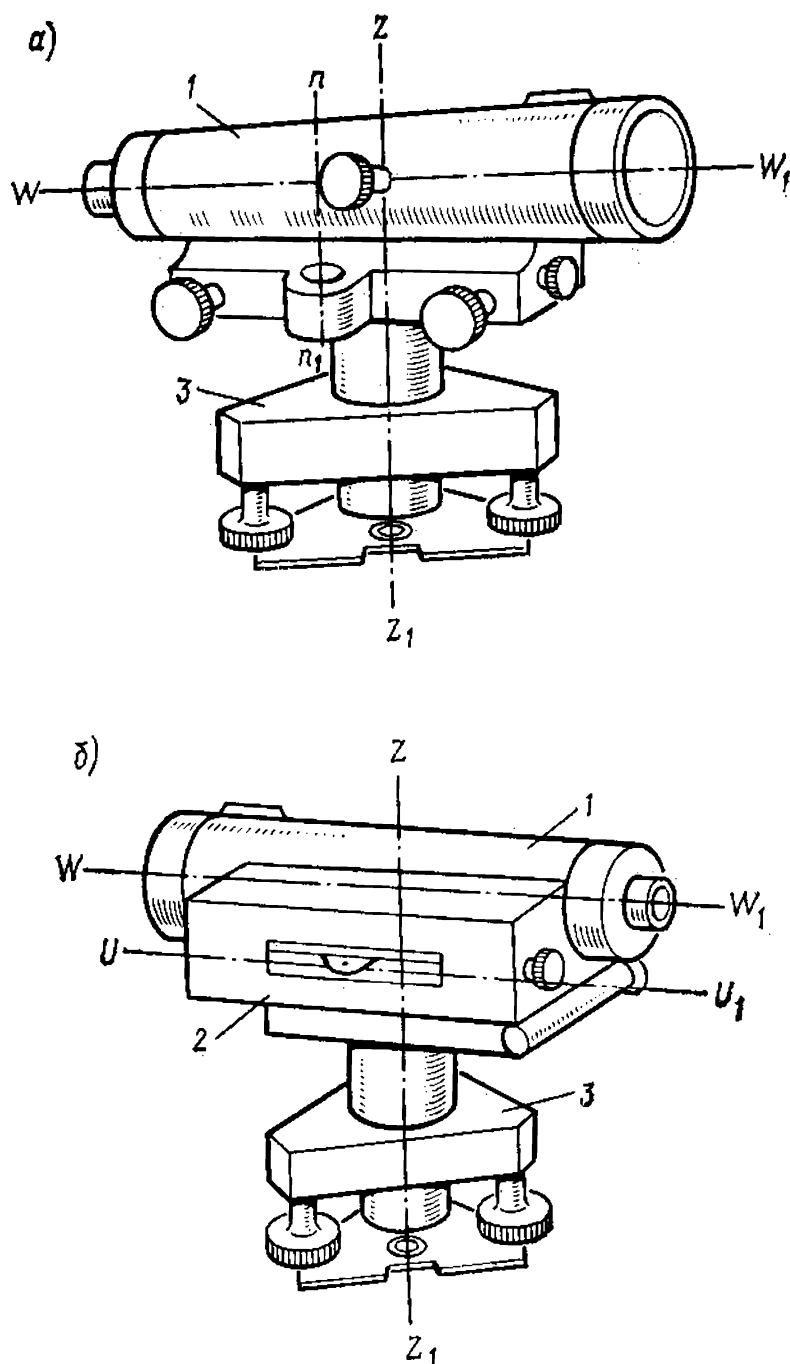


Рис. VIII.5. Нивелир, его основные части и геометрические оси

ками посередине. Во время нивелирования башмаки кладут на грунт, предварительно сняв дерн. На них устанавливают рейки пяткой на головку. Рейка, установленная непосредственно на грунт, особенно вязкий или сыпучий, при малой площади опоры может погрузиться

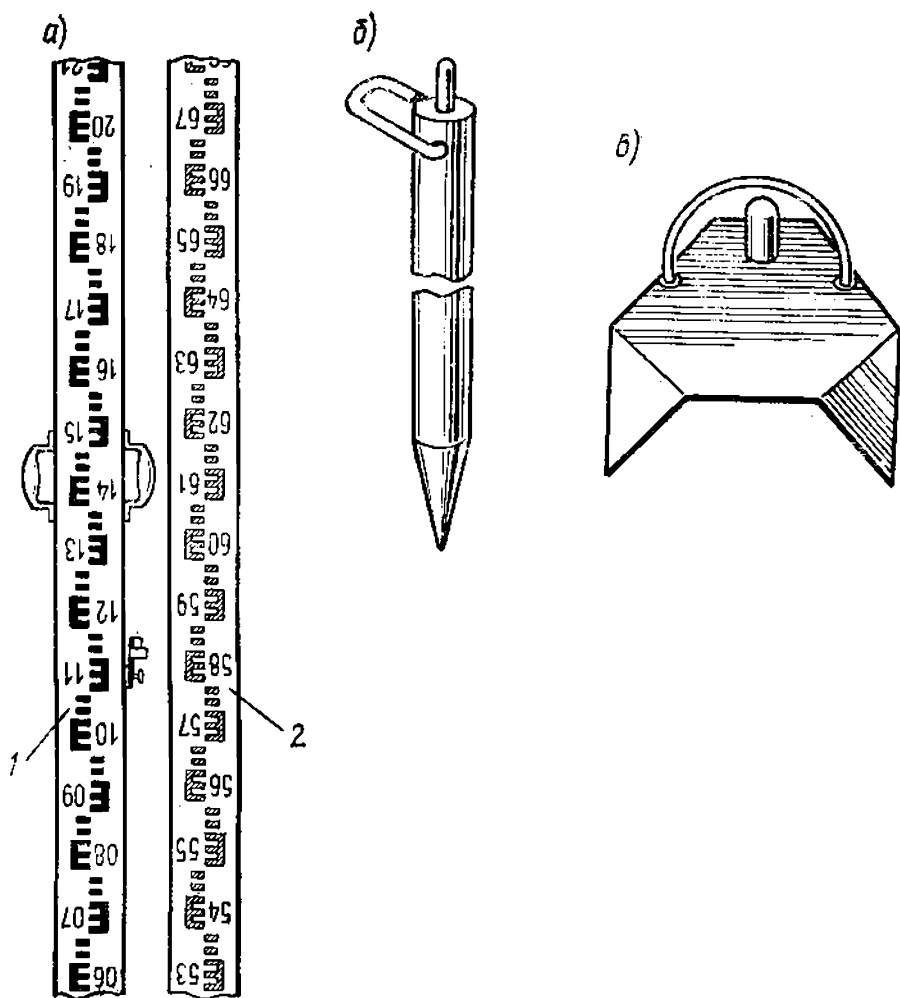


Рис. VIII.6. Нивелирные рейки (а), костыль (б) и башмак (в)

в него под влиянием собственного веса. В результате изменятся отсчеты.

Широкое распространение в практике топографо-геодезического производства получили *нивелиры НЗ*. Выпускают нивелиры в нескольких вариантах: НЗ — уровень; НЗЛ — с лимбом для измерения горизонтальных углов; НЗК — с компенсатором; НЗКЛ — с компенсатором и лимбом.

Основные характеристики нивелира НЗ (рис. VIII.7) следующие: 1) средняя квадратическая погрешность определения превышения на станции не более 2 мм при расстоянии до реек 100 м; 2) увеличение зрительной трубы не менее 30×; 3) цена деления контактного цилиндрического уровня 15" на 2 мм. Зрительная труба 1 прибора, дающая перевернутое изображение, имеет

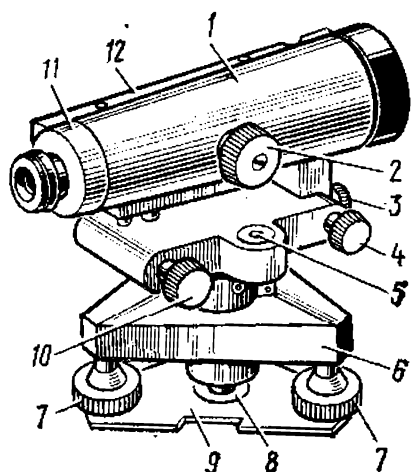


Рис. VIII.7. Нивелир НЗ

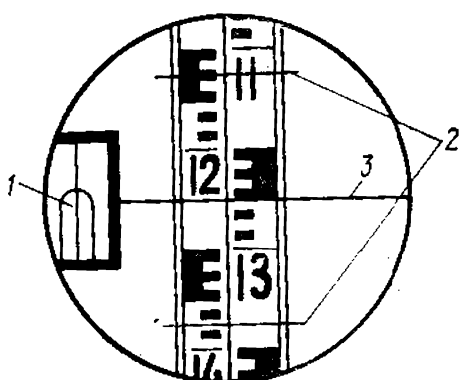


Рис. VIII.8. Поле зрения трубы нивелира НЗ

внутреннюю фокусировку, осуществляемую винтом 2. За крышкой 11 расположена сетка нитей. С левой стороны трубы укреплена коробка 12, в которой размещены контактный цилиндрический уровень и система призм, делящая изображение пузырька уровня пополам по продольной оси ампулы и передающая изображения противоположных концов половинок в поле зрения трубы. При совмещенных изображениях концов пузырька 1 (рис. VIII.8) ось уровня устанавливается горизонтально. Точность контактного уровня в 3—4 раза выше обыкновенного. Точное совмещение изображений концов пузырька цилиндрического уровня производят с помощью элевационного винта 10 (см. рис. VIII.7). Для предварительной установки оси прибора в рабочее положение служит круглый уровень 5.

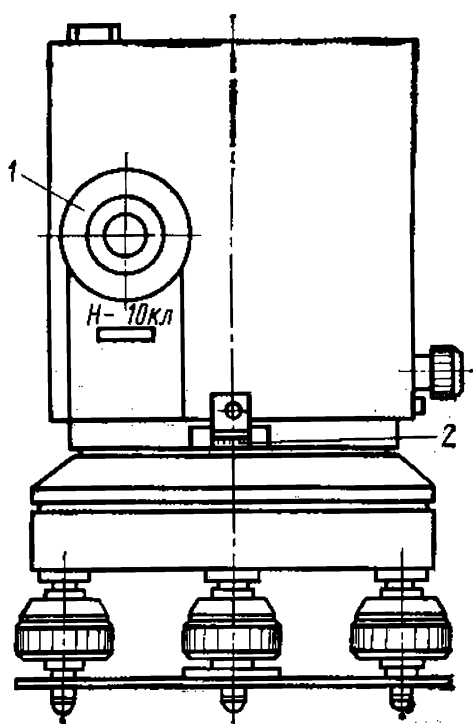
Закрепление положения зрительной трубы осуществляют закрепительным винтом 3; для точного наведения трубы на рейку служит наводящее устройство 4. Подставка нивелира 6 имеет три подъемных винта 7. В центральной части пружинящей пластины 9 укреплен втулка 8 с резьбой, в которую ввинчивается становой винт, соединяющий нивелир со штативом.

На рис. VIII.8 представлено поле зрения трубы нивелира в момент отсчета. Сетка нитей прибора состоит из трех горизонтальных и одной вертикальной нитей. Короткие штрихи 2 крайних горизонтальных нитей — дальномерные. Основная рабочая нить — средняя 3. В нашем примере отсчет по средней нити равен 1250.

У нивелиров с компенсаторами цилиндрический уровень заменен компенсатором, осуществляющим автома-

тическую установку линии визирования в горизонтальном положении. В результате при нивелировании отпадает необходимость приведения пузырька уровня прибора в нуль-пункт и наблюдения за положением пузырька уровня при отсчете по рейке. Это повышает производительность труда, а также дает возможность производить нивелирование на зыбких грунтах. Вместе с тем компенсаторные нивелиры весьма чувствительны к воздействию вибрации. В качестве компенсаторов в нивелирах используют элементы, положение которых связано с направлением силы тяжести: маятник или свободная поверхность жидкости. Ось свободно подвешенного маятника всегда совпадает с направлением отвесной линии. Свободная поверхность жидкости всегда устанавливается перпендикулярно к отвесной линии. Используя эти свойства, можно воздействовать на изменение положения визирной оси непосредственно или при помощи дополнительных оптических или оптико-механических приспособлений.

Примером компенсаторных нивелиров может служить технический нивелир Н10КЛ (рис. VIII.9). Зрительная труба 1 прибора дает прямое изображение. Нивелир содержит оптико-механический компенсатор, чувствительным элементом которого служит прямоугольная призма,



подвешенная на шарикоподшипниковой подвеске. В нижнюю часть нивелира вмонтированы горизонтальный лимб 2 с градуированной шкалой делений через  $1^\circ$ . Нивелир позволяет определять превышения со средней квадратической погрешностью не более 9 мм на 1 км двойного хода.

Все более широкое применение находят *лазерные нивелиры*, в которых горизонтально расположенный луч лазера воздействует на чувствительные фотоэлементы рейки. Такие нивелирные комплекты успешно работают на строительных площадках.

Рис. VIII.9. Нивелир Н10КЛ

С целью определения степени пригодности прибора к работе производят поверки нивелира. Поверке подлежат следующие геометрические условия, которым должно удовлетворять взаимное расположение частей нивелира.

1. *Ось круглого (установочного) уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения нивелира.* Выполнение условия необходимо для приведения прибора в рабочее положение (горизонтирование). Поверку осуществляют так же, как поверку цилиндрического уровня теодолита.

2. *Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента.* Для этого прибор тщательно приводят в горизонтальное положение. В 20—25 м от нивелира отмечают на стене точку, соответствующую центру сетки нитей нивелира. Наводящим винтом трубы проводят по точке горизонтальной нитью. Если концы нити отходят от точки более чем на 0,5 мм, производят юстировку сетки нитей. Для этого отделяют окулярную часть от корпуса зрительной трубы и отвинчивают колпачок, прикрывающий юстировочные винты сетки нитей. Ослабив винты пластинки, несущей сетку нитей, слегка поворачивают ее в нужную сторону.

3. *Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы* (поверка главного условия нивелира). Для выполнения поверки выбирают сравнительно горизонтальную площадку. На расстоянии 50—70 м забивают два колышка или костыля. Нивелир по окуляру устанавливают над точкой А и приводят в рабочее положение (рис. VIII.10,а). Измеряют рейкой высоту прибора  $i_1$  с точностью до 1 мм и берут отсчет  $a_1$ , а затем меняют местами нивелир и рейку (рис. VIII.10,б) и измеряют  $i_2$ ,  $a_2$ . Вычисляют ошибку  $x$ , обусловленную несоблюдением главного условия:

$$x = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Если абсолютное значение величины  $x$  окажется больше 4 мм, то элевационным винтом наводят среднюю нить на правильный отсчет по рейке ( $a'_2 = a_2 - x$ ) и вертикальными исправительными винтами уровня, предварительно открепив боковые, точно совмещают изображения концов пузырька уровня. Исправительные (юстировочные) винты уровня расположены слева от окуляра и прикрыты привинченной круглой крышечкой. Для контроля поверку повторяют.

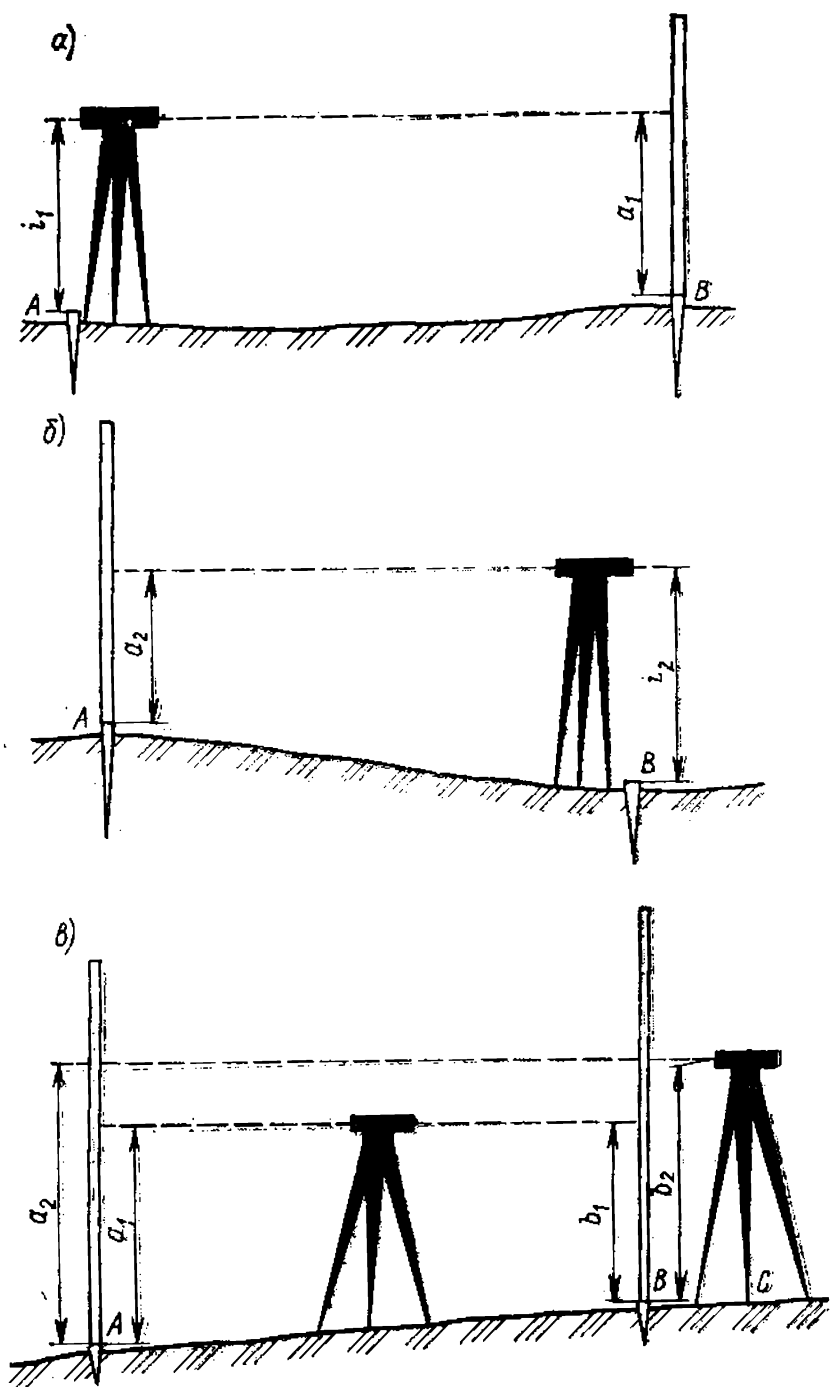


Рис. VIII.10. Поверка непараллельности оси цилиндрического уровня визирной оси трубы

Для нивелиров с компенсаторами первые две поверки выполняют аналогично, а поверка главного условия формулируется следующим образом: *визирная ось в нивелире с компенсатором, установленным в рабочее положение, должна быть горизонтальной*. Выполняют эту поверку нивелированием на равных и значительно не-



равных визирных расстояниях (рис. VIII.10,в). Установив нивелир посередине между двумя рейками, расположенными на расстоянии 50—70 м, берут отсчеты  $a_1$  и  $b_1$  по рейкам. Затем устанавливают нивелир в 3—5 м за передней рейкой и берут отсчеты  $a_2, b_2$ .

Если проверяемое условие соблюдено, отсчет по дальней рейке можно предвычислить, исходя из геометрических условий, по формуле  $a'_2 = (a_1 - b_1) + b_2$ . Он не должен отличаться от фактического отсчета  $a_2$  более чем на 4 мм.

При невыполнении условия сетку нитей зрительной трубы с помощью исправительных винтов перемещают так, чтобы отсчет  $a_2$  стал равен  $a'_2$ . Для контроля поверку повторяют.

#### § VIII.4. Производство геометрического нивелирования

Нивелирование называется простым, если превышение между двумя точками местности определяют с одной станции. *Станцией* называют место постановки нивелира в процессе измерения. Нивелирование между значительно удаленными или расположенными на склоне точками проводят с нескольких станций, образующих *нивелирный ход* (рис. VIII.11). Такое нивелирование на-

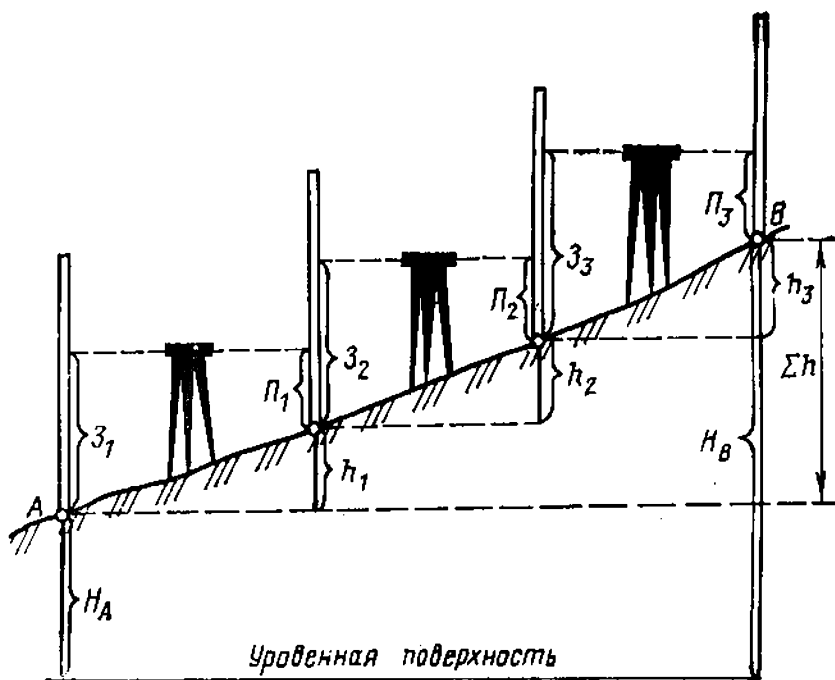


Рис. VIII.11. Последовательное (сложное) нивелирование

зывается *сложным* или *последовательным*. Точки, общие для двух смежных станций, называются *связующими*. В ходе  $AB$  превышения между связующими точками по отсчетам на задние  $a_i$  и передние  $b_i$  рейки будут получены по формуле

$$\Sigma h_i = \Sigma a_i - \Sigma b_i,$$

т. е. сумма превышений хода равна разности сумм отсчетов по задней и передней рейкам. Отметку конечной точки  $B$  хода вычисляют по формуле

$$H_B = H_A + \Sigma h_i = H_A + h_{AB}.$$

Нивелирные ходы могут быть замкнутыми и разомкнутыми. Разновидностью замкнутого нивелирного хода является ход, выполненный в прямом и обратном направлениях по одной и той же линии нивелирования. При отсутствии погрешностей измерений превышения по прямому и обратному ходу должны быть равны по абсолютной величине и обратны по знаку.

Нивелирование на станции выполняют в таком порядке. Рейки устанавливают на точках, расстояние между которыми 100—200 м (на равнинной местности). Посередине между рейками устанавливают нивелир и приводят его в рабочее положение. Отсчеты по рейкам берут в следующем порядке: 1) по черной стороне задней рейки; 2) по черной стороне передней рейки; 3) по красной стороне передней рейки; 4) по красной стороне задней рейки. При этом постоянно следят за контактом концов пузырька уровня. Отсчеты записывают в журнал геометрического нивелирования (табл. VIII.1).

Таблица VIII.1

№ станции	Отсчеты		Превышения $h$	$h_{\text{ср}}$
	З	П		
$Rp103$	1187 (1)	0343 (2)	+844 (5)	+844 (10)
$x_1$	5970 (4)	5026 (3)	+944 (6)	
	4783 (7)	4683 (8)	+100 (9)	

Все подсчеты в журнале производят, не снимая нивелира со станции, а реек с пикетов. Порядок вычислений следующий: а) вычисляют превышения  $(5) = (1) - (2)$  и  $(6) = (4) - (3)$ . Разность  $(5) - (6) = \pm 100 \pm 3$  (мм)

в соответствии с правилом подбора пары реек, по которому отсчеты, начинающиеся с красной стороны пары реек, различаются на 100 мм. Затем вычисляют значения начальных отсчетов красных сторон реек:  $(7) = (4) - (1)$  и  $(8) = (3) - (2)$ . Действие (9) является контролем по методу сумм:  $(9) = (6) - (5) = (7) - (8)$ . Окончательный результат  $h_{\text{ср}}$  получают по формуле

$$h_{\text{ср}} = (10) = \frac{(5) + (6)}{2} = \frac{h_{\text{к}} + h_{\text{к}}}{2}.$$

Однако важно помнить: если начальные отсчеты по красным сторонам реек отличаются на 100, то значения метров и дециметров берут по превышению, полученному по черным сторонам реек, усреднению подлежат только сантиметры и миллиметры.

После подсчетов нивелир переносят на следующую станцию, задний реечник переходит вперед и становится передним, передний, оставаясь на месте, становится задним. Нивелирный ход завершают примыканием к конечной точке хода, отметка которой (как и исходной) известна. В замкнутом ходе исходная точка служит и конечной.

Если записи и вычисления в журнале произведены правильно, можно приступить к вычислению невязки  $f$  по ходу:

а) для замкнутого хода:

$$f = \sum h_{\text{ср}};$$

б) для разомкнутого хода:

$$f = \sum h_{\text{ср}} - (H_{\text{В}} - H_{\text{А}}). \quad (\text{VIII.1})$$

Убедившись в допустимости невязки (см. § VIII.8), компенсируют ее значение поправками  $v$ , вычисляемыми по формуле:

$$v = -f \frac{l_i}{L},$$

где  $l_i$  — длина отрезка хода между смежными точками, включенными в нивелирный ход, а  $L = \sum_{i=1}^k l_i$ , где  $k$  — число промежуточных точек. Контроль:  $\sum v_i = -f$ .

После введения поправок вычисляют окончательные отметки высоты промежуточных точек.

## § VIII.5. Нивелирование для построения профиля

Нивелирование для построения профиля широко применяется в дорожном строительстве, гидрологии, почвенных обследованиях, геоморфологии и других исследованиях. Геометрическое нивелирование позволяет получить высотные характеристики микроформ рельефа (невысоких береговых террас, линий малой и большой воды на отмельных берегах и др.).

Нивелирование для построения профиля включает следующие виды работ: 1) подготовка линии к нивелированию, или разбивка пикетажа; 2) полевой процесс нивелирования; 3) обработка полевого журнала, вычисление высот пикетов и построение профиля.

Перед разбивкой пикетажа на местности ставят вехи в точках поворота линии нивелирования. Затем измеряют горизонтальные углы поворота линий нивелирования техническим теодолитом одним приемом.

Одновременно с измерением линий нивелирования мерным прибором разбивают пикетаж в следующем порядке: на начальной точке линии забивают вровень с землей колышек, обозначающий начальный пикет. На него при нивелировании будут ставить рейку. Рядом с первым забивают второй колышек («сторожок»). Над поверхностью земли должно оставаться 15—20 см его длины, где пишут номер пикета. Начальный пикет нумеруют нулем (*ПК 0*). Пикеты располагают один от другого на расстоянии 100 м (реже — 50 м), после начального пикета 0 идет *ПК 1*, далее — *ПК 2* и т. д.; номера пикетов увеличиваются последовательно до конца линии, и по номеру пикета можно определить пройденное расстояние от начального пикета. Так, если на сторожке написано *ПК 56*, значит до него пройдено 5,6 км.

Точки перегибов скатов, а также углы поворота линии нивелирования редко совпадают с пикетами. В этих точках тоже забивают вровень с землей колышки и ставят сторожки. Точки эти называют плюсовыми, потому что расстояние, измеренное до них от предыдущего пикета, плюсуя к их номерам. Например, *ПК 27+20*, *ПК 31+63* и т. д. На плюсовых точках, обозначающих поворот трассы нивелирования, кроме номера предыдущего (младшего) пикета и измеренного от него до точки поворота расстояния подписывают направление поворота: «угол право» или «угол лево».

Если по обе стороны трассы нивелирования рельеф местности неоднороден, то намечают короткие поперечные (перпендикулярно к продольной трассе) линии длиной 10—50 м (линии поперечных профилей). На сторожках надписывают номер пикета, против которого стоит сторожок поперечной линии, подписи «лево» или «право» в зависимости от того, находится поперечный пикет слева или справа от продольной трассы, и подписи расстояния от основного пикета продольной трассы, например  $ПК 7_{\text{прав}} + 20$ .

Одновременно с разбивкой пикетов ведут глазомерную съемку полосы местности, по которой проходит трасса. Ширина полосы съемки приблизительно 30—40 м с каждой стороны трассы.

Записи всех измерений ведут в пикетажном журнале — тетради из миллиметровой бумаги. На каждой страничке журнала посередине вычерчивают условно прямой линией ось трассы нивелирования, на этой прямой показывают все пикеты, плюсовые точки и точки поперечников с их обозначением (нумерацией), условно показывают углы поворота трассы. На основании глазомерной съемки вычерчивают дороги, овраги, реки, почвенно-растительный покров, народнохозяйственные и социально-культурные объекты и другие элементы ситуации в условных топографических знаках (рис. VIII.12).

В результате нивелирования получают отметки пикетов, плюсовых точек и точек поперечников. Порядок нивелирования следующий. Устанавливают нивелир вблизи от трассы, но приблизительно на одинаковом расстоянии от пикетов, а рейки на начальном (заднем по ходу) и следующем (переднем по ходу) пикете. Берут отсчеты по черной и красной сторонам реек. Разности превыше-

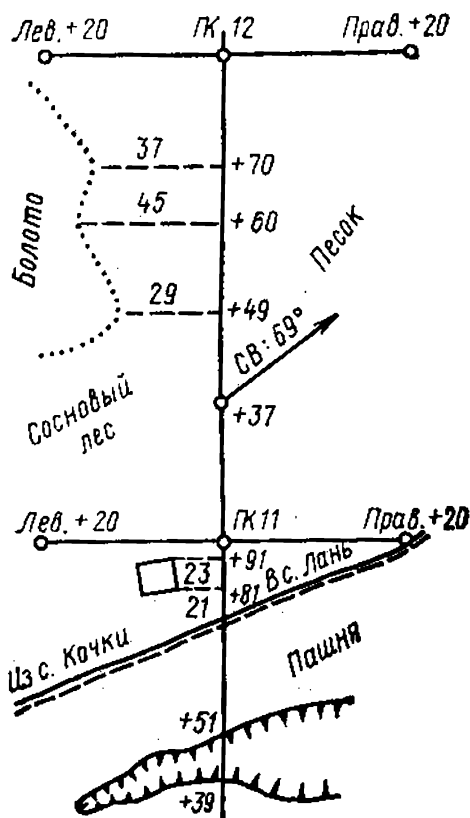


Рис. VIII.12. Пикетажный журнал

ний, вычисленных по обеим сторонам реек, не должны превышать 4 мм. Закончив подсчет, посылают заднего реечника последовательно на плюсовые и поперечные точки. Отсчеты берут только по черной стороне рейки.

При нивелировании на крутых склонах нередко визирный луч нивелира, установленного между пикетами, проходит выше задней (передней) рейки или попадает в землю при визировании на переднюю (заднюю). Тогда намечают дополнительную точку — связующую. Эта точка может быть не плюсовой, а произвольной точкой  $x$ . Так как она не характерна для рельефа (например, не является перегибом ската), то расстояние до нее от младшего пикета не измеряют и ее положение на профиле не отмечают. При крутых склонах таких точек между пикетами может быть несколько —  $x_1, x_2$  и т. д. Точки эти называют *иксовыми*.

По окончании полевых работ обрабатывают материалы нивелирования. Если трасса продольного нивелирования опиралась на точки с заранее известными отметками, то невязку хода определяют по формуле (VIII.1). Если счет отметок точек трассы велся от условной отметки и трассу нивелировали в прямом и обратном направлениях, то невязку определяют по формуле

$$f_h = \sum h_{\text{прямо}} - \sum h_{\text{обратно}}.$$

Допустимость невязки определяют по допускам технического нивелирования (см. § VIII.8). Если невязка допустима, ее распределяют поровну между средними превышениями связующих точек.

Отметки плюсовых и поперечных точек на станции вычисляют по способу горизонта прибора ГП. Значение ГП для данной станции получают суммированием абсолютной отметки задней точки и отсчета по черной стороне стоящей на ней рейки. Затем из ГП последовательно вычитают отсчеты, сделанные на плюсовые и поперечные точки.

Результаты вычислений служат материалом для построения профиля.

## § VIII.6. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование заключается в вычислении превышения между точками местности на основе решения треугольника (рис. VIII.13), катеты которого образованы отрезками уровенной поверхности

точки  $A$  и отвесной линии, проходящей через точку  $B$ , а гипотенуза — линия ската  $AB$ . В процессе тригонометрического нивелирования на местности измеряются расстояние между точками  $A$  и  $B$  ( $S$ ) и угол наклона  $\nu$ . Расстояние измеряется землемерной лентой или

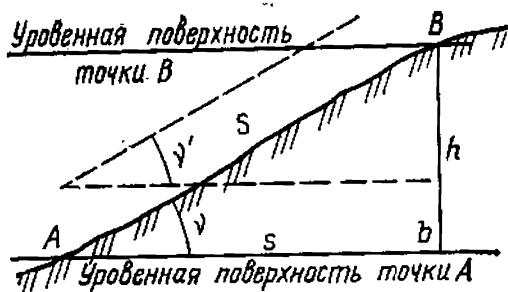


Рис. VIII.13. Принцип тригонометрического нивелирования

дальномером. Угол наклона  $\nu' = \nu$  измеряют геодезическим прибором, визирная ось которого может принимать наклонное положение. Прибор должен быть снабжен также угломерным устройством с начальной линией отсчета, принимающей горизонтальное положение (параллельное отрезку  $Ab$  уровенной поверхности). Таким устройством является вертикальный круг теодолита и других приборов, предназначенных для определения углов наклона.

Принято превышение вычислять по формуле

$$h = s \operatorname{tg} \nu, \quad (\text{VIII.2})$$

когда  $S$  измеряется лентой и  $s = S \cos \nu$ .

Если расстояние между точками измерено дальномером с вертикальной рейкой, то в результате подстановки в формулу (VIII.2) значения дальномерного расстояния (V.3) после несложного преобразования получим

$$h = \frac{1}{2} S' \sin 2\nu.$$

По отношению к линии горизонта углы наклона бывают положительными и отрицательными. Рассмотрим принцип измерения вертикального угла теодолитом. Вертикальный круг 6 теодолита (рис. VIII.14) сопряжен с визирной трубой 1 на горизонтальной оси вращения 2. Положение алидады 4 фиксируется прикрепленным к ней цилиндрическим уровнем 5. Перед взятием отсчета по вертикальному кругу пузырек уровня должен быть приведен на середину с помощью наводящего устройства 3. Для измерения угла  $\nu$  визируют на заданную точку и берут отсчеты (см. § VI.2)  $KП$  и  $КЛ$  при двух положениях вертикального круга. При вращении зрительной трубы вместе с ней вращается вертикальный круг, а алидада с уровнем остается неподвижной. Угол  $\nu$  вычисляют по формуле  $\nu = (KП - КЛ)/2$ .

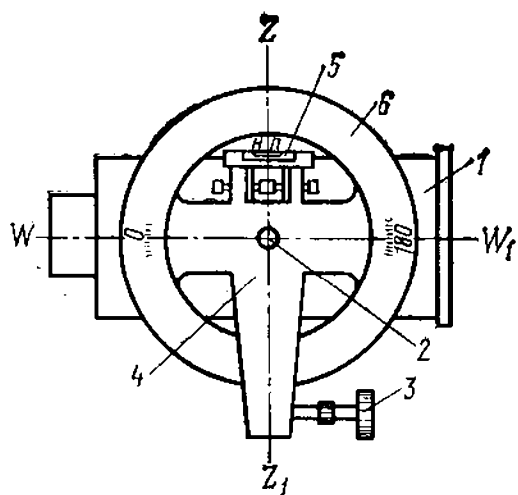


Рис. VIII.14. Вертикальный  
теодолита

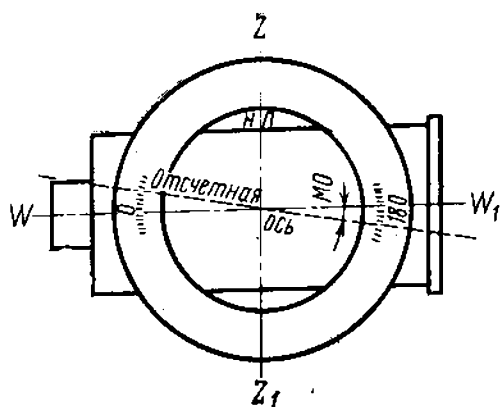


Рис. VIII.15. Место нуля вертикального круга

При совпадении диаметров  $0-180^\circ$  лимба и отсчетного устройства, а также при горизонтальном положении визирной оси трубы и положении пузырька цилиндрического уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункте отсчет по вертикальному кругу должен равняться нулю. Этот отсчет называют *местом нуля* ( $МО$ ). На практике условие  $МО=0$  не всегда сохраняется. Его значение может быть получено из наблюдений одной и той же визирной цели при двух положениях вертикального круга по формуле

$$MO = (K\Pi + K\mathcal{L} + 180^\circ)/2. \quad (\text{VIII.3})$$

Из данных рис. VIII.15 видно, что прибор, у которого место нуля не равно нулю, вносит в вертикальные углы  $\gamma'$ , измеренные при одном положении круга, погрешность, равную  $MO$ . Для отыскания действительного значения угла наклона величину  $MO$  определяют из результатов измерений заранее по формуле (VIII.3). Тогда вычисления вертикального угла  $\gamma$  для теодолита Т5 примут вид

$$\nu = MO - (KL + 180^\circ) = KP - MO,$$

а для Т30

$$\nu = \angle J - \angle O = \angle O - (\angle P + 180^\circ).$$

На практике перед началом измерений место нуля обычно исправляют. Из наблюдений на удаленный предмет при КП и КЛ вычисляют МО. Затем у теодолитов Т5 наводящим устройством алидады вертикального круга устанавливают отсчет, соответствующий вычисленно-



му углу наклона. Ушедший с нуль-пункта пузырек уровня возвращают на место, действуя юстировочным винтом.

У теодолитов ТЗ0, у которых вертикальный круг не имеет уровня, место нуля исправляют перемещением сетки нитей зрительной трубы. Для этого после установки на лимбе вертикального круга нужного отсчета вертикальными юстировочными винтами перемещают сетку до тех пор, пока перекрестие не совпадет с изображением наблюдаемого предмета.

У теодолитов, в названии которых присутствует буква К (компенсаторный), например Т5К, вместо уровня имеется самоустанавливающийся оптический компенсатор места нуля. Он освобождает наблюдателя от необходимости приводить уровень в нуль-пункт перед отсчетом по вертикальному кругу.

Компенсатор должен обеспечить неизменность отсчета по вертикальному кругу при отклонении вертикальной оси теодолита на величину до  $3'$ . Для проверки этого условия теодолит устанавливают на открытой площадке так, чтобы линия, соединяющая два подъемных винта, была бы перпендикулярна линии визирования. Визируют на удаленный предмет и, приведя прибор в горизонтальное положение, берут отсчет по вертикальному кругу. Третьим подъемным винтом поднимают (опускают) трубу на 3—4 витка. Снова визируют на ту же точку и берут отсчет. Поверку повторяют на всех парах подъемных винтов.

Расхождение между парными отсчетами не должно превышать  $0,1'$ , при большей разнице исправление инструмента производят в мастерской.

Превышение между точкой стояния  $A$  и точкой наблюдения  $B$  (рис. VIII.16) вычисляют по формуле тригонометрического нивелирования:

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v + f, \quad (\text{VIII.4})$$

где  $s$  — горизонтальное проложение между точками  $A$  и  $B$ ,  $i$  — высота прибора,  $v$  — высота визирования по рейке, а  $f$  — поправка за кривизну Земли и рефракцию.

Отрезок  $Bb'' = h$  может быть получен (без учета  $f$ ) из геометрических условий рисунка. Общая длина  $B'b'' = B'b' + b'b''$ , но  $B'b' = s \operatorname{tg} v$ , а  $b'b'' = i$ , и  $B'b'' = s \operatorname{tg} v + i$ . Отсюда  $Bb'' = B'b'' - v = s \operatorname{tg} v + i - v$ .

Поправку за кривизну Земли и рефракцию выбирают из таблиц для расстояний 300 м и более. Если ис-

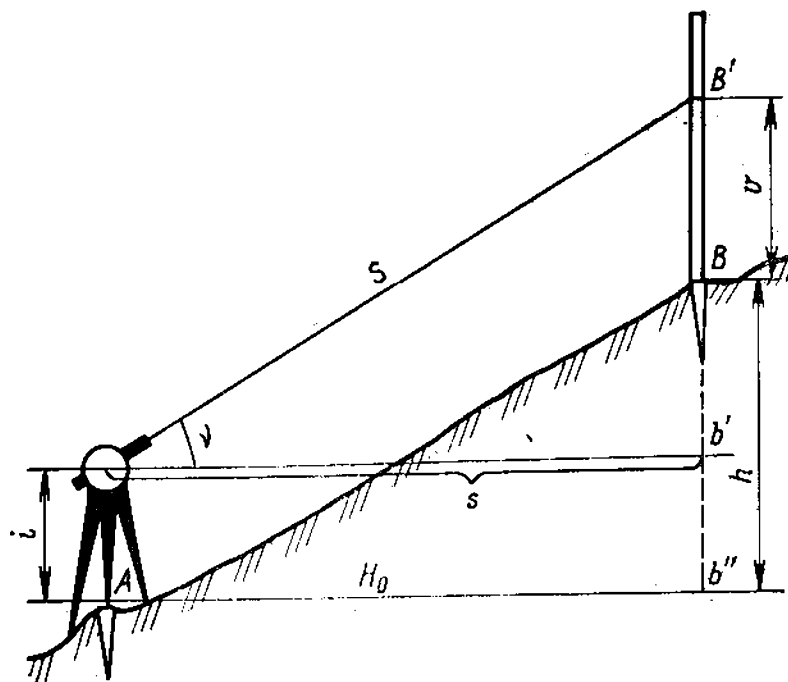


Рис. VIII.16. Тригонометрическое нивелирование

пользуется дальномерное расстояние  $S'$ , то формула (VIII.4) примет вид

$$h = \frac{1}{2} S' \sin 2v + i - v + f. \quad (\text{VIII.5}).$$

Если при измерении угла наклона визируют на метку на рейке, закрепленную на высоте инструмента ( $v=i$ ), формулы (VIII.4) и (VIII.5) примут вид  $h = s \operatorname{tg} v + f$ ,  $h = S \sin v + f$ .

Превышение между точками, расположенными на значительном удалении одна от другой, можно получить, проложив так называемый *высотный ход*. В таком случае тригонометрическое нивелирование производится последовательно между точками хода. Для контроля и повышения точности измерение расстояний и превышений выполняют в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение в превышениях между прямым и обратным ходами не должно превышать по абсолютному значению 0,04 м на 100 м хода. За окончательное значение измеренных превышений принимают средние арифметические из их абсолютных величин со знаком прямого превышения. Точность тригонометрического нивелирования оценивают по невязке хода.

Невязку  $f_h$  в сумме превышения  $\sum h$  хода вычисляют по формуле:  $f_h = \sum h - (H_k - H_n)$ , где  $H_k$  и  $H_n$  — соответ-

ственно высоты конечной и начальной точек хода. Допустимость невязки определяют по формуле  $f_{h_{\text{доп}}} = 0,04S\sqrt{n}$  см, где  $S$  — средняя длина линий в сотнях метров.

Допустимую невязку распределяют с обратным знаком на все превышения пропорционально длинам линий хода.

## § VIII.7. Барометрическое нивелирование.

### Понятие об аэрорадионивелировании

Для определения высот точек местности в процессе географических исследований, а также для съемки рельефа в горной и высокогорной местности может быть использовано *барометрическое нивелирование*.

Задачей барометрического нивелирования является определение разности высот двух точек по результатам одновременного измерения атмосферного давления в этих точках. Атмосферное давление в каждой точке местности зависит от высоты над уровнем моря и метеорологических условий в момент измерений. Эта зависимость выражается полной барометрической формулой, учитывающей атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, а также ускорение свободного падения, зависящее от широты места наблюдений. Полная барометрическая формула очень трудоемка для вычислений. Чтобы получить необходимые для ее решения параметры, необходимо специальное зондирование атмосферы, поэтому при барометрическом нивелировании применяют сокращенные барометрические формулы. Их несколько, чаще других пользуются формулой Бабинэ:

$$h = 16\,000 \left( 1 + 0,004 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2},$$

где  $B_1$  и  $B_2$  — давление в точках 1 и 2, а  $t_1$  и  $t_2$  — соответственно температура воздуха.

По формуле Бабинэ составлены таблицы барических ступеней высот (*барическая ступень высот* — расстояние по вертикали в метрах, на котором атмосферное давление меняется на 1 мм рт. ст.). Эти таблицы составлены по аргументам  $t_{\text{ср}} = (t_1 + t_2)/2$  и  $B_{\text{ср}} = (B_1 + B_2)/2$ . Тогда формула определения превышений сведется к виду

$$h = (B_1 - B_2) \Delta h, \quad (\text{VIII.6})$$

где  $\Delta h$  — барическая ступень.

Для получения превышения между двумя точками, отметка высоты одной из которых известна, измеряют атмосферное давление и температуру в каждой из этих точек.

Для измерения атмосферного давления применяют пружинные и частично жидкостные (ртутные) барометры. *Пружинные барометры* получили название *анероидов* (безжидкостные).

Широкое применение в барометрическом нивелировании получили барометр-анероид БАММ, обеспечивающий определение давления с точностью 0,2—0,3 мм рт. ст., и микробарометр пружинный МБНП.

Поскольку на давление существенно влияет температура воздуха, ее измеряют одновременно с давлением на станции при помощи термометра-праща — толсто-стенного капилляра, в одном конце которого помещена ртуть, а другой заканчивается металлическим наконечником или стеклянным шариком, к которому крепится шнур.

Показания барометра-анероида отличаются от показаний ртутного барометра. Для приведения измеренного анероидом атмосферного давления к показаниям ртутного барометра  $B$  в каждой точке в показания анероида  $A$  следует внести три поправки: шкаловую  $\Delta A_{ш}$ , температурную  $\Delta A_t$  и добавочную  $\Delta A_0$ . Давление вычисляют по формуле

$$B = A + \Delta A_{ш} + \Delta A_t + \Delta A_0. \quad (\text{VIII.7})$$

Шкаловую поправку  $\Delta A_{ш}$  вводят для учета нелинейности шкалы, вызываемой изменением угла между передаточными рычагами.

Температурную поправку  $\Delta A_t$  вычисляют по формуле

$$\Delta A_t = b t_a,$$

где  $b$  — температурный коэффициент, поправка на  $1^\circ\text{C}$  анероида, а  $t_a$  — температура прибора.

Добавочная поправка  $\Delta A_0$  возникает из-за неточного учета шкаловой и температурной поправок, а также наличия механических погрешностей прибора и некоторого смещения нуля. Ее определяют перед началом проложения хода и после его окончания. Шкаловые и температурные поправки определяют путем сравнения прибора с эталоном в специальных баро- и термокамерах перед началом сезона работ и вписывают в паспорт прибора.

Барометрическое нивелирование осуществляют способами: замкнутых ходов (полигонов) с опорой и без опоры на временную барометрическую станцию, передвижной станции, скачущей станции, нескольких опорных станций и др. Выбор способа зависит от объема работы, наличия приборов, количества наблюдений и требуемой точности.

**Способ ходов без временной барометрической станции.** В этом случае наблюдатель, измерив давление и температуру на исходной точке, последовательно обходит все точки хода. Измерив в них давление и температуру и записав время измерения, он возвращается на исходную точку, где вновь определяет давление и температуру. Разность давлений на исходной точке, полученная в начале и конце обхода, представляет невязку — результат суточного хода атмосферного давления и приборных ошибок. Невязку распределяют пропорционально затраченному на наблюдения времени. Способ позволяет обеспечивать точность определения высот порядка 2—2,5 м.

**Порядок работы на станции.** Для определения давления anerоидом нужно стать на точке, открыть футляр барометра и держать открытым в течение 4—6 мин для того, чтобы anerоид принял температуру и давление окружающего воздуха. Затем определяют температуру anerоида по его термометру, слегка постучав пальцем по центру стеклянной крышки, читают отсчет давления. При чтении отсчета anerоид держат на уровне груди и после снятия отсчета измеряют его высоту над поверхностью Земли. Отсчет давления определяют 3—4 раза. Перед каждым отсчетом слегка постукивают по стеклянной крышке для преодоления инерции стрелки. Вычисляют средний отсчет и фиксируют время.

Для определения температуры воздуха термометр-пращ вращают над головой в течение 2—3 мин. Полученные отсчеты давления, времени и температуры anerоида и воздуха заносят в журнал.

Обработку хода барометрического нивелирования начинают с приведения показаний anerоида к показаниям ртутного барометра для каждой станции [по формуле (VIII.7)]. Затем вычисляют изменение давления на первой станции в начале и в конце работ и составляют поправки к вычисленным значениям давления в остальных точках, пропорциональные времени движения по ходу.

Определив средние значения давления и температуры воздуха между смежными точками хода, находят из таблиц значения барических ступеней. Вычисляют превышения между смежными станциями по формуле (VIII.6) и отметки определяемых точек.

Точность барометрического нивелирования зависит от типа прибора, равновесия атмосферы, способа нивелирования и других причин.

**Аэрорадионивелирование.** Определение высот точек земной поверхности с помощью летательных аппаратов называют аэрорадионивелированием. При аэрорадионивелировании превышение  $h$  между точками местности (рис. VIII.17) устанавливают по результатам измерений высот полета  $A_0$  и  $A_i$  над опорной и определяемыми точками радиовысотомером или лазерным высотомером и по колебаниям линии полета относительно исходной уровенной поверхности, полученным *дифференциальными барометрами — статоскопами*. За исходную принимают изобарическую поверхность (поверхность равного атмосферного давления). В реальной атмосфере при ветре и при достаточно больших расстояниях такая поверхность не обладает устойчивостью, поэтому при определении превышений необходимо учитывать наклон изо-

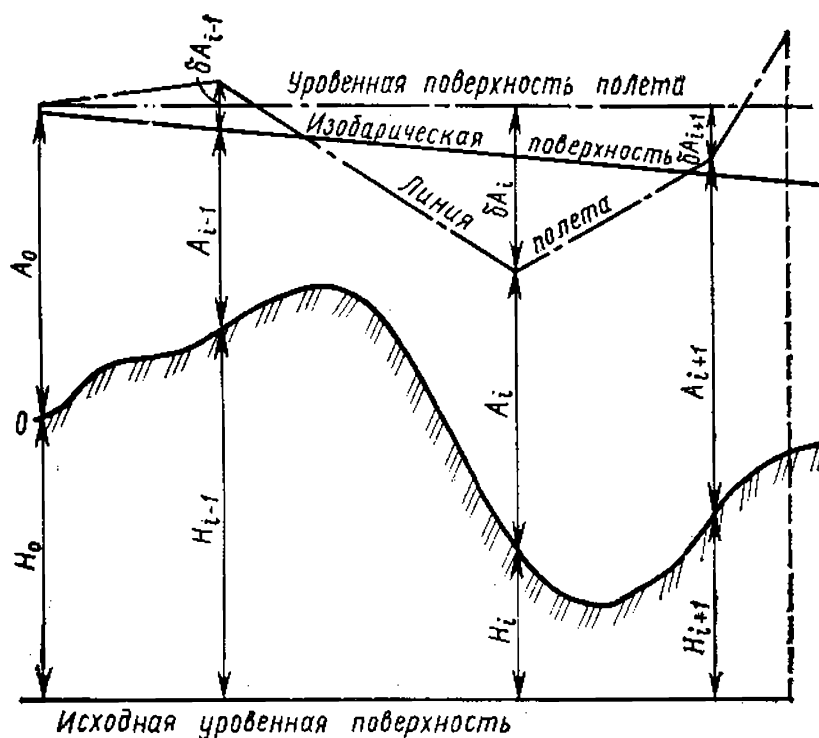


Рис. VIII.17. Принцип аэрорадионивелирования

барической поверхности к горизонту. Превышение определяемой точки над опорной будет равно:

$$h_i = A_0 - A_i + \delta A'_i + \sigma_i,$$

где  $A_0$  и  $A_i$  — высоты полета над исходной и определяемой точками,  $\delta A'_i$  — изменение высоты полета относительно изобарической поверхности,  $\sigma_i$  — поправка за наклон изобарической поверхности к горизонту. Отметки определяемых точек будут равны  $H_i = H_0 + h_i$ , где  $H_0$  — абсолютная отметка исходной точки.

**Радиовысотомеры.** С их помощью определяют высоту полета. Работают радиовысотомеры по принципу импульсных радиолокационных станций. Передающая часть прибора периодически излучает импульсы электромагнитных волн, которые, достигнув поверхности Земли, отражаются. Частично эти волны улавливаются приемной частью радиовысотомера. Индикатором прибора служит электронно-лучевая трубка круговой развертки. Излученный и отраженный импульсы отклоняют электронные лучи индикатора в сторону от принятого направления и образуют на экране трубки выбросы (выступы). Расстояние между начальными точками выбросов пропорционально пройденному радиоволнами расстоянию от прибора до поверхности Земли и обратно. Средняя ошибка определения высоты полета радиовысотомерами равна  $\pm 1,5$ — $2,0$  м, лазерными высотомерами  $\pm 0,5$ — $1$  м.

## § VIII.8. Государственная нивелирная сеть СССР

Наряду с плановыми создаются государственные высотные сети, которые образуют *государственную нивелирную сеть*.

Государственная нивелирная сеть создается методом геометрического нивелирования с началом отсчета от нуля Кронштадтского футштока. Она включает нивелирные сети I, II, III и IV классов и техническое нивелирование.

Нивелирная сеть I и II классов — главная высотная основа, образующая единую систему высот на всей территории СССР. Она предназначена для решения таких задач, как изучение современных вертикальных движений земной коры и движений, обусловленных сейсмической деятельностью Земли, определение разностей высот морей и океанов; изучение фигуры физической по-

верхности Земли в результате определения расстояний от уровенных поверхностей, проходящих через точки физической поверхности Земли, до выбранной поверхности относимости — эллипсоида. Линии нивелирования I и II классов прокладывают вдоль побережий морей и океанов, крупных озер и рек, крупных шоссейных и железных дорог.

Нивелирная сеть I класса строится в виде полигонов с периметром 3000—4000 км, связанных между собой и образующих общую систему. Точность нивелирования I класса  $\pm 0,5$  мм на 1 км хода. Нивелирование повторяют по тем же линиям через каждые 25 лет.

Нивелирная сеть II класса состоит из ходов и полигонов, опирающихся на реперы нивелирования I класса. Периметры полигонов достигают 500—600 км. Допустимая невязка в ходах нивелирования II класса определяется по формуле  $f_h = 5 \text{ мм } \sqrt{L}$ , где  $L$  — длина хода или периметр полигона (в км).

Нивелирные сети III и IV классов предназначены для обеспечения высотным обоснованием топографических съемок всех масштабов и решения ряда инженерных задач. Эти сети прокладывают внутри полигонов высших классов. Сгущение сетей производят по принципу перехода от общего к частному: первый класс сгущают вторым, второй — третьим, а третий — четвертым.

Линии нивелирования всех классов закрепляют на местности постоянными знаками не реже чем через 5 км. Постоянные нивелирные знаки бывают нескольких типов: грунтовой репер, скальный репер, стенной репер (стенная марка). На узловых пунктах линий нивелирования I и II классов, а также вблизи уровенных станций и основных водомерных постов закладывают фундаментальные реперы. В линии II, III и IV классов включают временные знаки, которые служат высотной основой при топографической съемке. Каждый нивелирный знак имеет свой индивидуальный номер, не повторяющийся на данной линии.

Нивелирные сети III класса строят в виде отдельных ходов и систем, образующих 6—9 полигонов внутри полигона II класса. Предельный периметр — 150—200 км, а в районах топографических съемок масштаба 1:5000 и крупнее — 60 км. Предельные невязки в ходах и полигонах определяют по формуле  $f_h = 10 \text{ мм } \sqrt{L}$ .



Нивелирование IV класса выполняют в виде ходов и полигонов, периметр которых не превышает 50 км. Допустимая невязка хода или полигона не должна превышать по абсолютной величине  $f_h=20 \text{ мм} \sqrt{L}$ .

Дальнейшее сгущение нивелирной сети I, II, III и IV классов выполняют геометрическим (техническим) или тригонометрическим нивелированием. Техническое нивелирование выполняют в виде отдельных ходов или сетей, которые должны опираться на исходные реперы и марки. Предельную невязку хода или полигона определяют по формуле  $f_h=50 \text{ мм} \sqrt{L}$ . В процессе технического нивелирования попутно нивелируют отдельные устойчивые по высоте предметы местности: головки рельсов, крышки колодцев, а также отметки дна балок и оврагов, урезы вод. Все эти точки включают в ход в качестве промежуточных.

## ГЛАВА IX

### СЪЕМКА МЕСТНОСТИ.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

##### § IX.1. Виды работ по созданию топографических карт

Топографические съемки как комплекс работ, необходимых для создания топографических карт и планов, производятся в нашей стране по единым наставлениям, определяющим требования к полноте, степени подробности, точности отображаемых на карте сведений, способам изображения элементов местности и др.

В процессе создания карт выполняют разные работы, которые условно можно разделить на несколько групп (видов).

К *первой группе* относятся работы по географическому изучению местности с использованием ранее изданных карт, литературных источников, прочих материалов. Заканчивается такое изучение местности (камеральное) полевым обследованием, в результате которого уточняются предварительные сведения, собираются дополнительные данные. На основании проделанной работы составляются редакционные указания, направленные на обеспечение достоверности и полноты содержания карт, определяющие в соответствии с выбранным масштабом

съемки правила изображения на карте особенностей территории, генерализации отдельных ее элементов. Указания способствуют достижению наглядности и выразительности карты, единообразия в показе однородных, но территориально разобщенных элементов местности.

*Вторая группа работ* включает подготовку съемочной сети (геодезического обоснования в виде плановых и высотных сетей). Густота точек такой сети на местности зависит от масштаба и способов съемки, характера местности.

*Третья группа* — непосредственно съемочные работы, необходимые для получения карты или плана. Съемка включает определение плановых координат элементов ситуации, их очертаний и плановых и высотных координат характерных точек и линий рельефа. Для этого в процессе съемки необходимо получить значения горизонтальных проложений линий местности, горизонтальных углов между прямолинейными элементами, образующими контуры объектов или определяющими направление линий относительно стран света (их ориентирование), а также вертикальных углов (углов наклона местности), от величины которых зависит превышение между отдельными точками местности. Как следует из § I.4, V.3, VIII.6, горизонтальные проложения и превышения могут быть получены: 1) на основании вычислений, если на местности измерялись действительные расстояния и углы наклона; 2) непосредственно в процессе съемочных работ при использовании номограммных геодезических приборов (§ X.2, XI.2).

*Четвертая группа* включает работы по изображению на бумаге (планшете) результатов съемочных работ, т. е. работы по созданию картографического изображения местности (карты или плана).

Конкретное содержание и последовательность выполнения отдельных видов работ зависят от принятого способа съемки. Перечисленные виды работ сопровождаются дополнительными (вспомогательными) видами: заполнением различной документации, ведением полевых журналов, вычислительными работами, составлением схем и другими работами, содержание и объем которых также определяется способом и технологической схемой получения карт.

Как и создание геодезической сети, съемки больших территорий осуществляются по принципу «от общего к частному». Общим является сеть опорных пунктов, свя-

занных единой системой координат, а частным — съёмочные работы, в процессе которых определяется положение элементов местности по отношению к опорным пунктам. Второй принцип проведения съёмки — *контроль правильности работ* на всех стадиях (съёмочных, вычислительных и др.).

Непосредственно с помощью топографической съёмки создаются крупномасштабные топографические карты (1 : 25 000 и крупнее). В процессе съёмки получают *съёмочный оригинал карты*. Топографические карты масштаба 1:50 000 и мельче создаются камеральными методами, при которых картографическое изображение местности получают на основании приведения к заданному масштабу крупномасштабных карт и генерализации показанных на них элементов местности. Результатом такой работы является *составительский оригинал карты*. Разработкой камеральных методов создания карт, в том числе топографических, занимается картография. Съёмочные и составительские оригиналы карт — исходный материал для их издания.

## § IX.2. Классификация съёмок.

### Понятие об обновлении карт

Топографические съёмки выполняются различными приборами с применением разных материалов регистрации получаемых исходных данных. Традиционно съёмки делятся, прежде всего, в зависимости от места нахождения съёмочного оборудования в процессе съёмки на *наземные* и *воздушные* с применением фотографических приборов (аэрофототопографическая съёмка). Однако становление и развитие наземной съёмки с использованием фотографий местности даёт основание классифицировать съёмки на *топографические* и *фототопографические* с дальнейшим подразделением их на наземные и воздушные. Съёмки могут быть также разделены на *съёмки суши* и *съёмки шельфа*.

Наиболее часто съёмки классифицируют в зависимости от применяемых приборов (см. § IX.3).

Съёмка проводится в полном объеме, когда выполняются все предусмотренные виды работ, или по сокращенной программе, связанной с так называемым *обновлением карт*. Обновление карт — процесс, в результате которого содержание карты приводится в соответствие с современным состоянием местности. Необходимость обно-

вления связана с теми изменениями местности, которые постоянно возникают под влиянием деятельности человека и природных факторов (изменение политико-административных границ, появление новых или расширение существующих населенных пунктов, промышленных предприятий, создание новых водохранилищ и гидротехнических сооружений, распашка значительных участков целинных земель, изменение русел рек и береговой линии водоемов, площади лесных массивов и др.). Несоответствие изданных карт современному состоянию местности вызывает затруднения в их применении для решения хозяйственных, инженерных и научно-технических задач.

Практика показывает, что изменениям подвержены в основном элементы ситуации, рельеф изменяется редко и на небольших участках. Поэтому в большинстве случаев на картах обновляется только ситуация, убираются исчезнувшие и вносятся новые объекты. Обновление производится, как правило, с использованием материалов аэрофотосъемки, приближенных по времени к моменту обновления карт.

### **§ IX.3. Виды и способы топографической съемки местности**

Виды топографической съемки определяются в зависимости от применяемых приборов. В настоящее время в практике географических исследований наиболее часто применяются *тахеометрическая съемка*, выполняемая при помощи *тахеометров*, и *мензульная съемка*, проводимая с помощью *мензулы* и *кипрегеля* (мензульного комплекта). В отдельных случаях используется *буссольная съемка*, основным геодезическим прибором при которой является *буссоль*, и *глазомерная съемка*. Основу последней составляют определение длин линий на местности «на глаз». На местности со слабо выраженным рельефом находит применение *нивелирование поверхности* (методом геометрического нивелирования).

В процессе съемки точку, с которой выполняют необходимые измерения на местности (на ней устанавливают геодезический прибор), называют *съёмочной точкой*. Точку, положение которой определяют относительно съёмочной точки, называют *съёмочным пикетом* (пикетом). Графические построения для создания карты выполняют на *съёмочном планшете*, наклеенном на жесткую осно-

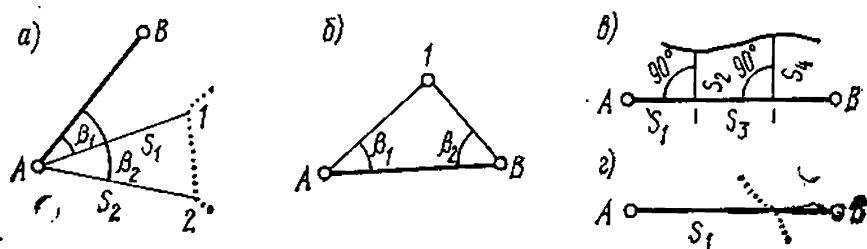


Рис. IX.1. Способы съемки предметов местности

ву листе чертежной бумаги для предотвращения возможной деформации бумаги в процессе работы под влиянием атмосферных явлений. В качестве жесткой основы используют листы тонкого алюминия или фанеры.

Среди способов съемки элементов ситуации (подробностей) основным является *полярный*, или *способ полярных координат*. *Полюсом* служит съемочная точка. *Полярной осью* может быть линия, соединяющая две соседние съемочные точки, а также направления географического, магнитного или осевого меридиана. Например, положение пикетов 1 и 2 на рис. IX.1, а определяют измеренные горизонтальные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , а также расстояния  $s_1$  и  $s_2$ .

*Способ угловых засечек* состоит в определении положения пикета относительно двух и более съемочных точек. В этом случае измеряются углы между линией, соединяющей соседние съемочные точки, и направлением на пикет (рис. IX.1, б, углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ ). Величина углов не должна быть меньше  $40^\circ$  и больше  $140^\circ$ . Указанные углы могут быть заменены измерением азимутов на пикет со съемочных точек. Если вместо углов измерить расстояние от съемочных точек к пикету, описанный способ преобразуется в *способ линейных засечек*.

Положение объекта местности с извилистым контуром от отношению к какой-либо прямой можно определить *способом прямоугольных координат* или *перпендикуляров*. Прямая линия (например, между съемочными точками) выполняет в этом случае роль абсцисс, а перпендикулярные к ней направления — ординат. Началом отсчета служит одна из съемочных точек (на рис. IX.1, в указаны линейные отрезки  $s$  и углы, подлежащие измерению).

При *способе створов* положение пикета, находящегося на линии между двумя точками (в их створе) с известными координатами, определяется измеренным расстоянием от точки к пикету (рис. IX.1, г). Отметки

характерных точек рельефа получают методами *геометрического* или *тригонометрического* нивелирования.

Топографические съемки требуют значительных затрат времени и сил на непосредственные измерения на местности, поэтому они применяются тогда, когда не целесообразны экономически другие виды съемки (малая площадь участка, участок в виде узкой длинной полосы и др.). Вместе с тем мензульная и тахеометрическая съемки — действенный метод обучения пониманию карты, связи графического изображения с реальными объектами.

В настоящее время основным видом съемки является *аэрофототопографическая съемка*, применение которой резко сокращает объем полевых работ (т. е. работ, проводимых непосредственно на местности) и повышает производительность труда. Последнее возможно за счет создания благоприятных условий работы, перевода ряда процессов из полевых в камеральные (выполняемые в помещениях), применения технических средств, заменяющих или упрощающих ручной труд при извлечении необходимой информации с фотоснимков, внедрения автоматизации технологических процессов создания карт и др.

## ГЛАВА X

### ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

#### § X.1. Сущность тахеометрической съемки

Тахеометрическая съемка — один из видов топографической съемки, выполняемой с помощью геодезических приборов — *тахеометров*. Слово «тахеометрия» означает быстрое измерение. Быстрота тахеометрической съемки достигается благодаря тому, что при одном наблюдении съемочного пикета получают данные, необходимые для определения как планового, так и высотного его положения (рис. X.1).

Тахеометрическая съемка имеет ряд преимуществ перед другими видами наземных съемок в условиях, когда полевые работы необходимо выполнять в сравнительно короткий срок или нет благоприятной погоды для выполнения съемки другими методами. Недостаток тахеометрической съемки заключается в том, что при со-

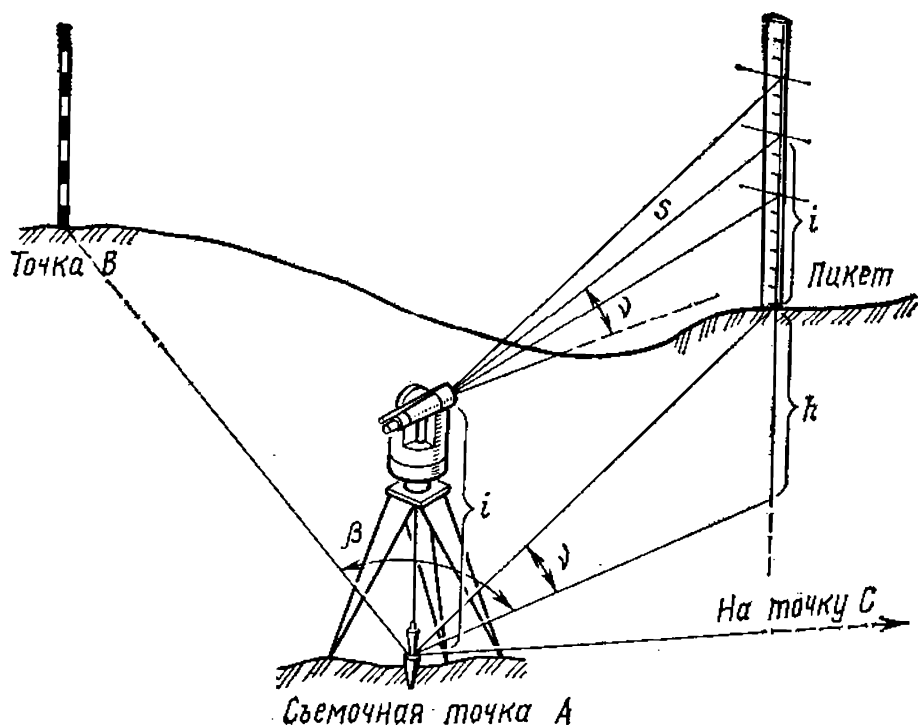


Рис. X.1. Схема работы с тахеометром на съёмочной точке

ставлении плана в камеральных условиях исполнитель не видит местности, поэтому возможен пропуск отдельных деталей и связанное с этим некоторое искажение в изображении рельефа.

## § X.2. Приборы тахеометрической съемки

Для тахеометрической съемки применяются *технические теодолиты* (ТЗ0, Т15 и др.), описанные в § VI.4, а также специальные приборы — *тахеометры*. Современные тахеометры — это оптические теодолиты, имеющие ряд устройств, которые позволяют без дополнительных вычислений получать превышения и горизонтальные проложения, т. е. редуцированные расстояния между точками местности. Поэтому такие тахеометры называются *редукционными*.

Тахеометры классифицируют по типам применяемых в них для определения расстояний дальномеров.

*Тахеометры номограммные* определяют редуцированные расстояния и превышения при помощи специальных номограмм, видимых в поле зрения трубы. Номограммы — система кривых, нанесенных на стеклянную пластинку. Расстояние между кривыми изменяется в зависимости от величины вертикального угла и фокусного

расстояния трубы. Оптическая система рассчитана так, что постоянная дальномера равна 0. К этому типу тахеометров относятся: ТН, ТА-2, Дальта 020, Дальта 010А и др.

*Тахеометры с авторедукционными дальномерами двойного изображения* имеют оптические устройства, которые позволяют автоматически определять по горизонтально расположенной рейке горизонтальные проложения наклонных расстояний. К этим тахеометрам относятся: ТД, Редта 002 и др.

*Тахеометры внутрибазные* с базой в точке стояния прибора используются при тахеометрической съемке труднодоступных участков местности для измерения горизонтальных проложений и вертикальных углов наклона при наблюдениях на местный предмет или специальную рейку. Для измерения расстояний дальномеры этих тахеометров имеют переменную базу, расположенную внутри прибора (рис. X.2). Роль базы (см. § V.2) выполняет линейка 1, на которой перемещается пентапризма 2, имеющая свойства оптического клина (см. § V.2) и позволяющая совмещать двоящееся изображение наблюдаемого предмета в одно целое (рис. X.3, а, б). Отсчеты по базовой линейке, взятые против индекса пентапризмы в момент совмещения предмета в одно целое, показывают величину расстояния. К числу этих тахеометров относятся: ТВ, ВРТ 006, ТДС и др.

*Электронно-оптические тахеометры (ЭТ)* позволяют результаты измеренных расстояний светодальномерными устройствами, горизонтальных и вертикальных углов, а также результаты вычисления приращений прямоугольных координат автоматически регистрировать на

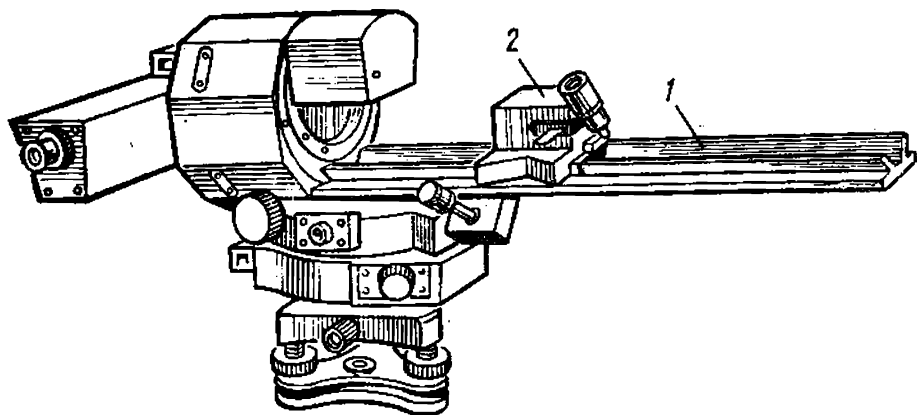


Рис. X.2. Внутрибазный тахеометр ТВ



световом табло или в условном коде на перфолене. К этим тахеометрам относятся ТЭ, Та5, ЭОТ-2000 и др. Современные ЭТ в зависимости от применяемого типа позволяют результаты измерений фиксировать на перфолене, магнитные ленты и твердые накопители, которые могут быть использованы непосредственно для обработки на ЭВМ с последующим выводом обработанной информации на автоматические координатографы и графопостроители для создания крупномасштабных карт и планов.

Точность измерения углов и расстояний тахеометрами зависит от их типа. Основные характеристики четырех типов тахеометров представлены в табл. X.1.

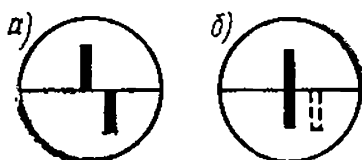


Рис. X.3. Поле зрения трубы тахеометра ТВ

Таблица X.1

Основные параметры	Тахеометры			
	ТЭ	ТД	ТН	ТВ
Увеличение зрительной трубы	25 <sup>x</sup>	25 <sup>x</sup>	25 <sup>x</sup>	15 <sup>x</sup>
Угол поля зрения зрительной трубы, град	1,5	1,5	1,2	2
Точность измерения углов:				
горизонтальных, с	5	8	8	45
вертикальных, с	5	12	12	60
Точность измерения расстояний до рейки на 100 м, см	2	4	20	15
Масса прибора, кг	20	6,5	5,0	7,5

При тахеометрической съемке могут применяться нивелирные рейки с сантиметровыми делениями. При использовании таких реек в комплекте с тахеометром определяют коэффициент дальномера. Некоторые тахеометры комплектуются специальными рейками с выдвижной пяткой, позволяющей нуль рейки устанавливать на высоту, равную высоте прибора (рис. X.4).

В настоящее время при тахеометрической съемке широко используется *номограммный тахеометр* (ТН). Это оптический теодолит, зрительная труба которого дает прямое изображение наблюдаемых объектов. Он может быть снабжен полуавтоматическим столиком типа «Карти».

Столик «Карти» представляет собой чертежное приспособление в виде подставки с вращающимся диском, на котором укреплен лист чертежной бумаги.

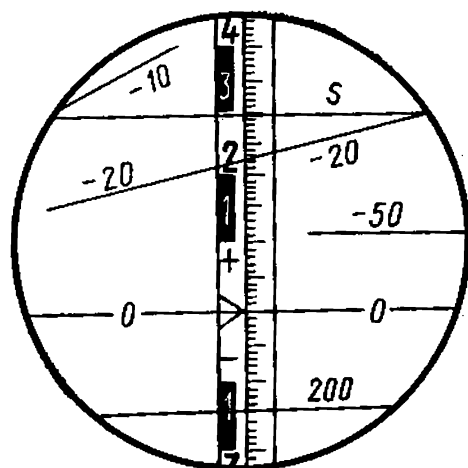
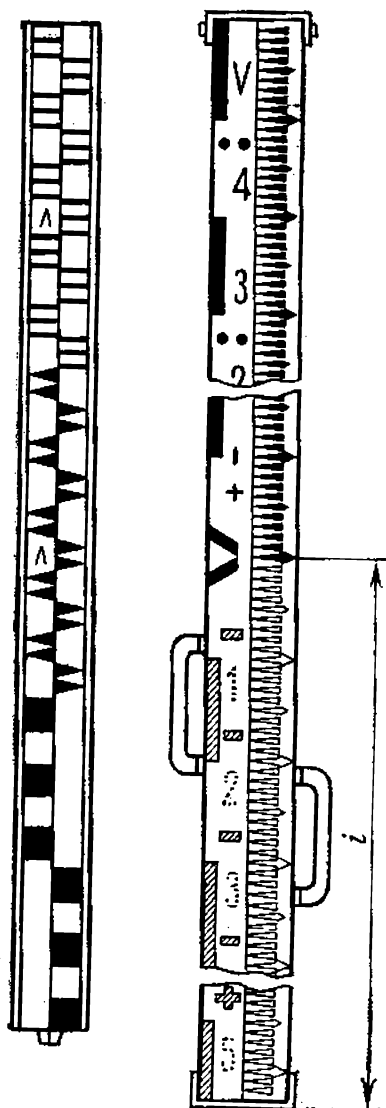


Рис. X.4. Дальномерные рейки

Рис. X.5. Поле зрения трубы тахеометра ТН

Совместное использование картографического столика и тахеометра позволяет непосредственно в поле составлять и визуально контролировать план местности. Для нанесения пикетов столик снабжен масштабной линейкой и штифтом для накалывания места положения снимаемых точек.

При положении «круг лево» в поле зрения зрительной трубы (рис. X.5) одновременно можно рассматривать вертикальную нить сетки, изображение рейки и кривые: начальную, установочную (0—0), горизонтальных проложений и превышений с коэффициентами  $\pm 10$ ,  $\pm 20$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$ .

Для съемок застроенных территорий и труднодоступных участков местности используются внутрибазные тахеометры ТВ (см. рис. X.2). Тахеометр ТВ включает угломерную и дальномерную части. Угломерная часть изготовлена на базе теодолита ТЗ0. Горизонтальные и вертикальные углы отсчитываются по кругам угломерной части. Дальномерная часть имеет дальномер двойного изображения с переменной базой внутри прибора. Параллактический угол (см. § V.2) изменяется в зависи-

мости от угла наклона измеряемой линии, благодаря чему происходит автоматическое определение горизонтальных проложений. Тахеометр ТВ снабжен компенсатором при алидаде вертикального круга и полуавтоматическим столиком типа «Карти». Расстояния до 60 м могут быть измерены без рейки путем наведения на удаленный вертикально стоящий местный предмет, а от 60 до 180 м — при помощи горизонтально расположенной рейки с базисом 60 м. Средняя относительная погрешность измерения расстояния от 1:500 до 1:1000.

### § X.3. Геодезическое обоснование тахеометрической съемки

Как правило, количество пунктов существующей геодезической сети недостаточно для тахеометрической съемки. Чтобы обеспечить необходимую плотность точек съемочной сети, дополнительно прокладывают тахеометрические ходы.

*Тахеометрические ходы* (как и теодолитные) — это система ломаных линий, концы которых отмечены на местности забитыми в землю кольями. Горизонтальные углы измеряются одним полным приемом. Вертикальные углы измеряются по правилам тригонометрического нивелирования (см. § VIII.6). Расстояния определяются дальномером в прямом и обратном направлениях с относительной погрешностью 1:400, а при съемке в масштабе 1:500 — землемерной лентой с относительной погрешностью — 1:1000.

Предельная длина тахеометрического хода зависит от масштаба съемки и необходимой точности получения отметок высоты точек (табл. X.2).

Тахеометрические ходы могут прокладываться в виде одиночных замкнутых или разомкнутых ходов или в ви-

Таблица X.2

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина линий, м	Максимальное число линий в ходе
1:5000	1200	300	6
1:2000	600	200	5
1:1000	300	150	3
1:500	200	100	2

де систем ходов. Съемочные тахеометрические ходы прокладываются по тем же правилам, что и теодолитные (см. § VII.1).

#### § X.4. Выполнение тахеометрической съемки

Съемка элементов ситуации и рельефа состоит в определении координат и высот пикетов снимаемого участка местности.

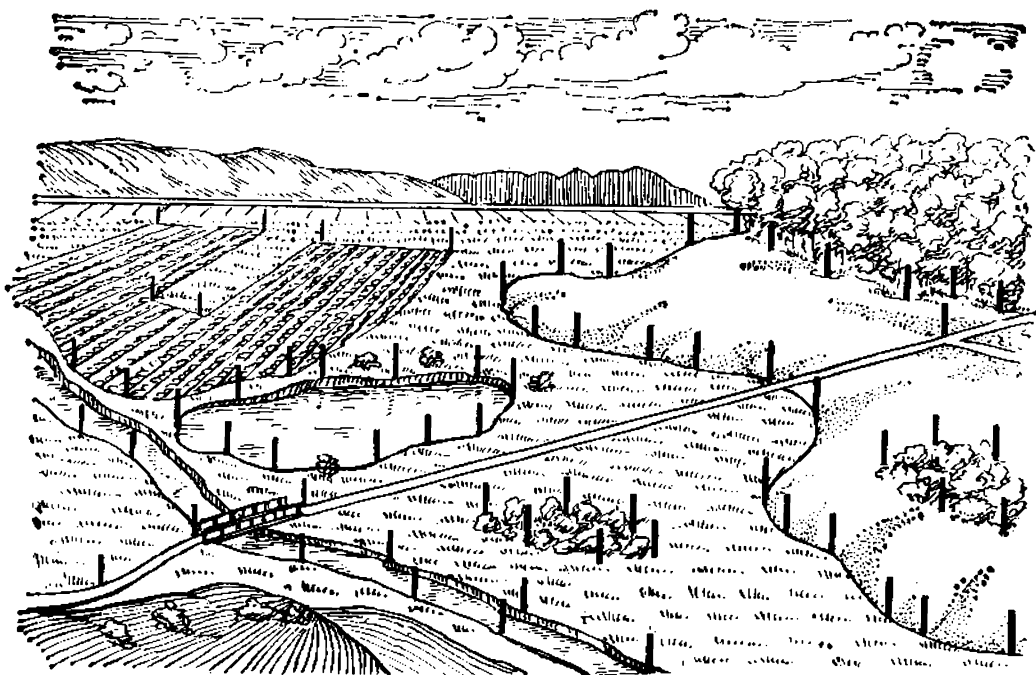


Рис. X.6 Выбор контурных пикетов

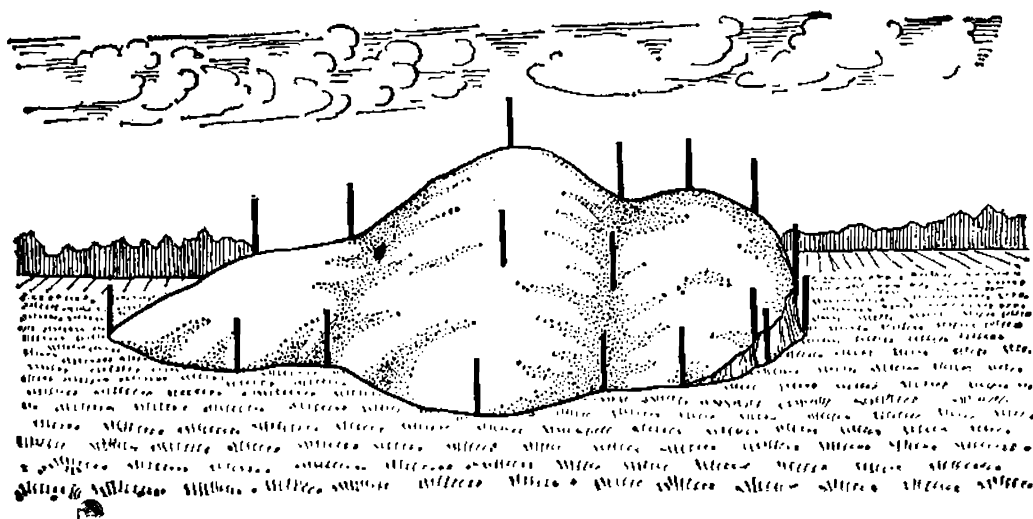


Рис. X.7. Выбор высотных пикетов

Пикеты, предназначенные для определения только элементов ситуации, называются *контурными* или *ситуационными* (рис. X.6), а для съемки рельефа — *орографическими*. Для того чтобы пикеты без пропусков и равномерно покрывали территорию съемки, перед началом работы проводят детальный осмотр местности, определяют характер и структуру рельефа, намечают положение съемочных пикетов на местности. Пикеты намечают по всем орографическим линиям и точкам рельефа: водоразделам, тальвегам, перегибам скатов, уступам и т. д. (рис. X.7).

Основной способ съемки подробностей местности — *полярный*. Съемка местности может выполняться одновременно с проложением тахеометрического хода или раздельно. Порядок выполнения работ на съемочной точке зависит от применяемых приборов и принятой технологии съемки. Если съемка выполняется теодолитом одновременно с прокладкой тахеометрического хода, то последовательность работ такая:

1. Устанавливают теодолит в точке хода, приводят в рабочее положение и измеряют его высоту (с точностью до 1 см).

2. По горизонтальному кругу измеряют угол между линиями хода, расстояние по дальномеру до задней и передней точек (по отношению к съемочной) и углы наклона по вертикальному кругу теодолита.

3. Ориентируют горизонтальный круг теодолита по одной из точек хода (задней или передней). Для этого на горизонтальном круге устанавливают отсчет, равный нулю (при положении трубы *КЛ*), скрепив алидаду с лимбом, визируют на одну из точек хода.

4. Оставляя лимб закрепленным до конца работы, ведут съемку подробностей местности с точки стояния прибора в такой последовательности: визируют трубу теодолита на рейку, установленную на каждом из пикетов (точка визирования соответствует высоте теодолита), и берут дальномерные отсчеты по рейке, отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам.

Если съемка выполняется после проложения тахеометрического хода, то теодолит центрируют над точкой хода с линейной ошибкой не более 10 см, горизонтируют его и ориентируют по направлению на точку съемочного обоснования (заднюю или переднюю вершину хода); работы выполняют при положении зрительной трубы — *КЛ*.

После окончания работы на съемочной точке проверяют ориентирование прибора, для чего зрительную трубу наводят на точку ориентирования, и берут контрольный отсчет. Изменение ориентирования за период съемки с данной точки не должно превышать 5'.

При съемке местности номограммными тахеометрами после установки прибора на съемочной точке и ориентирования горизонтального круга трубу тахеометра наводят на рейку так, чтобы вертикальная нить совпала с осью рейки, начальная (установочная) кривая была совмещена с изображением нуля рейки или с изображением точки, расположенных на высоте  $i$  над основанием рейки (см. рис. X.1).

Если тахеометр без компенсатора, то пузырек уровня при вертикальном круге приводят в нуль-пункт винтом наводящего устройства и определяют по кривым номограммы горизонтальное проложение и превышение.

При съемке пикетов обращается внимание на максимально допустимые расстояния от съемочных точек до пикетов и расстояния между пикетами, которые зависят от масштаба съемки и высоты сечения рельефа (табл. X.3).

Таблица X.3

Масштаб съёмки	Сечение рельефа, м	Максимальное расстояние между пикетами, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки при съёмке рельефа, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки при съёмке контуров, м
1:5000	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
	5,0	120	350	150
1:2000	0,5	40	200	100
	1,0	40	250	100
	2,0	50	250	100
1:1000	0,5	20	150	80
	1,0	30	200	80
1:500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60

Результаты измерений заносят в журнал тахеометрической съемки. В процессе ведения журнала при работе с теодолитами проводят вычисления места нуля вертикального круга, углов наклона и т. д. Параллельно с записью данных в журнале для каждой станции ведут *абрис* (рис. X.8) — схематический чертеж, на котором зарисовывают на глаз снимаемую ситуацию и

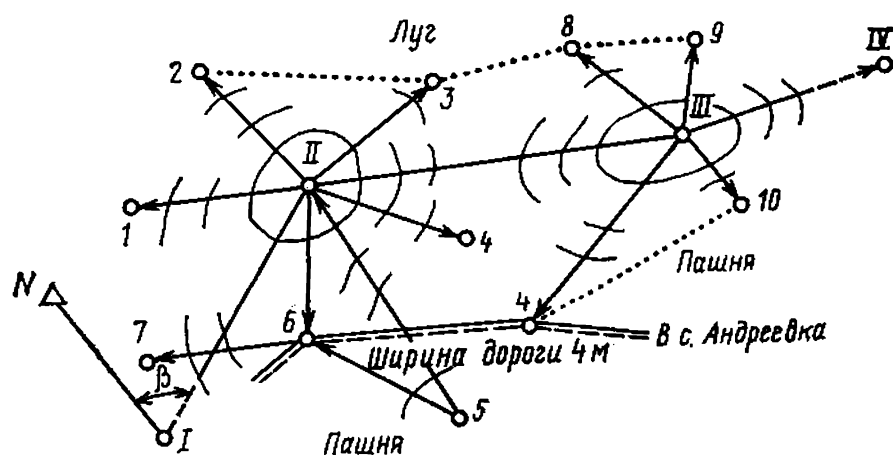
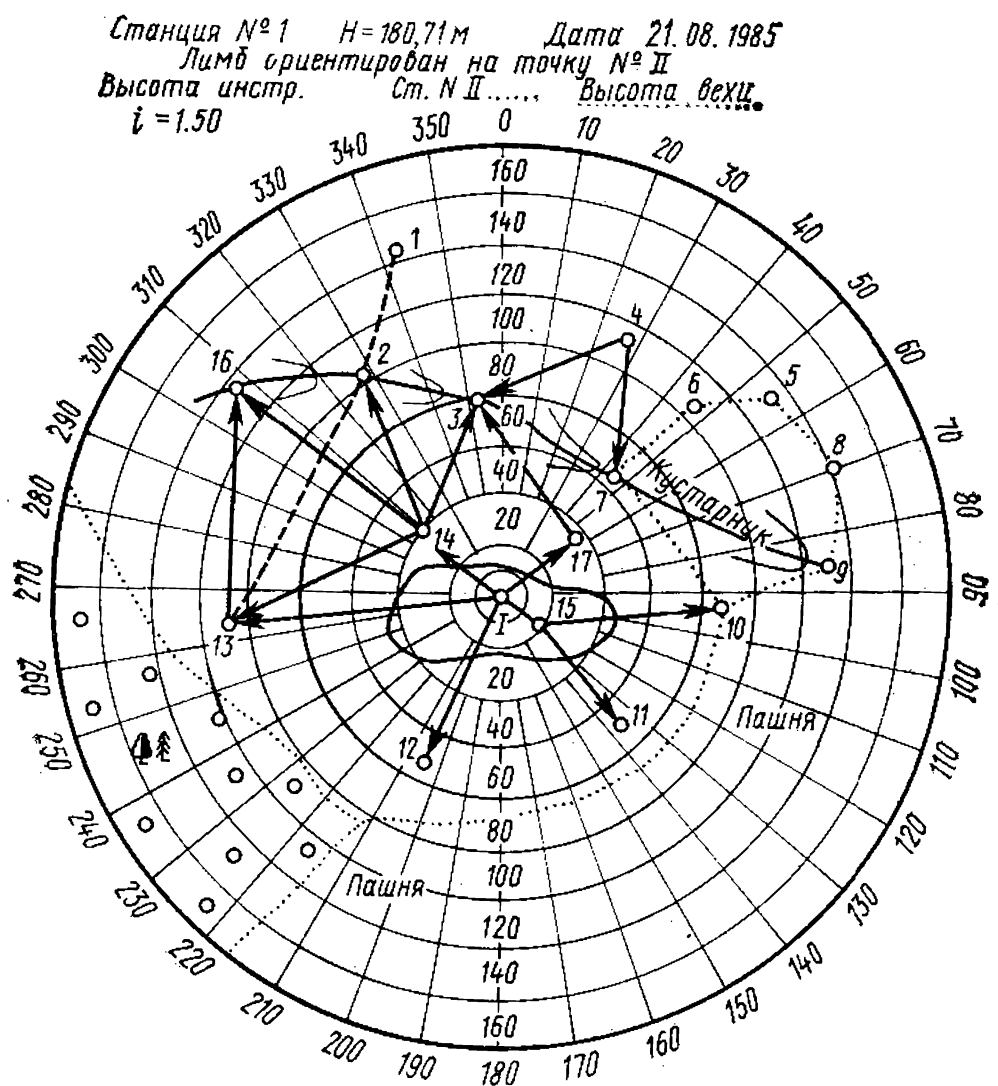


Рис. X.8. Абрис тахеометрической съемки



Журнал вел Иванов Д.И.

Наблюдатель Сидоров В.П.

Рис. X.9. Абрис тахеометрической съемки на специальном бланке

рельеф. Ситуацию местности отмечают соответствующими знаками. Пунктирными линиями показывают скелет рельефа с указанием направлений скатов между пикетами. Абрис удобно вести на листах бумаги с сеткой концентрических окружностей (например, через 0,5 см) и радиусов, образующих углы в  $10^\circ$  (рис. X.9). Для удобства составления абриса сетку следует вычерчивать бледно-синим цветом. На подготовленную сетку наносят положение съёмочной точки (в середине листа) и всех съёмочных пикетов, указывая их номера.

При работе с тахеометрами ТН, ТА и ТВ со столиком типа «Карти» отпадает необходимость заносить ряд результатов измерений в журнал и вести абрис съёмки, так как отдельные участки местности снимаются непосредственно в поле. Их размеры в масштабе съёмки должны быть не больше размеров чертежных столиков.

### § X.5. Камеральные работы

Камеральные работы при тахеометрической съёмке включают: проверку полевых журналов; вычисление плановых координат точек тахеометрического хода; вычисление отметок точек хода; вычисление отметок пикетов; построение топографического плана местности.

Проверка журнала необходима в том случае, если работы выполняются с помощью теодолитов. В этом случае проверяют правильность вычисления места нуля, вертикальных углов и др. Одновременно проводят вычисление горизонтальных проложений и превышений, используя тахеометрические таблицы (имеется много вариантов тахеометрических таблиц, правила работы с которыми описаны в объяснении к ним).

Вычисление плановых координат выполняется так же, как и для точек теодолитного хода (см. § VII.1). Дирекционные углы выписываются в ведомость с точностью до  $0,1'$ , а приращения координат и отметки высот — до 0,01 м. Допустимость угловой невязки тахеометрического хода определяется по формуле (VII.1). Допустимость линейной невязки (при измерении линии нитяным дальномером с точностью 1:400) может быть вычислена по формуле

$$f_{s_{\text{доп}}} = \Sigma S / (400 \sqrt{n}),$$

где  $\Sigma S$  — сумма измеренных линий в ходе, м;  $n$  — число измеренных линий в ходе.



Вычисление отметок точек тахеометрического хода и все контрольные вычисления выполняются в том же порядке и в той же последовательности, что при тригонометрическом нивелировании. Высотная невязка (в см) замкнутого и разомкнутого тахеометрического хода определяется по формулам тригонометрического нивелирования. Она не должна превышать величин, вычисленных по формуле  $f_{h \text{ доп}} = \pm 0,04 \Sigma S_{100} / \sqrt{n}$ , где  $\Sigma S_{100}$  — длина хода в сотнях метров.

На основании полученных отметок высоты точек тахеометрического хода и данных превышений между ними и соответствующими пикетами вычисляют отметки высоты каждого пикета. По окончании вычислений приступают к графической обработке полученных материалов, в результате которой должен быть построен топографический план местности. Работа ведется в определенной последовательности.

На листе плотной чертежной бумаги строят координатную сетку со сторонами 4, 5, 8 или 10 см. Построение сетки производится с помощью поперечного масштаба, штангенциркуля или специальных линеек: координатной линейкой Дробышева и ее разновидностями, а также линейкой ЛБЛ (линейка большая латунная).

Для построения координатной сетки штангенциркулем (или циркулем-измерителем) на листе бумаги проводят под произвольным углом две прямые и от точки их пересечения откладывают на них четыре равных отрезка. Концы отрезков соединяют между собой и получают прямоугольник  $ABCD$  (рис. X.10,а—г). На сторонах этого прямоугольника откладывают (рис. X.10,б) при помощи циркуля-измерителя (или штангенциркуля) равные отрезки — стороны квадратов (например, 5 или 10 см), которые соединяют прямыми линиями, и получают координатную сетку. Правильность построения сетки контролируется измерением каждой стороны квадрата и их диагоналей (диагонали квадрата со стороной 10 см равны 14,14 см). Отклонения от этих размеров не должны превышать  $\pm 0,2$  мм.

Координатную сетку удобно строить с помощью линейки Дробышева. Она имеет шесть окошек через каждые 10 см, внутренние скошенные края которых являются дугами окружностей с радиусами соответственно 10, 20, 30 и 50 см. На скошенном крае первого (левого) окошечка нанесен начальный штрих 0. Правый край линейки представляет дугу окружности радиусом

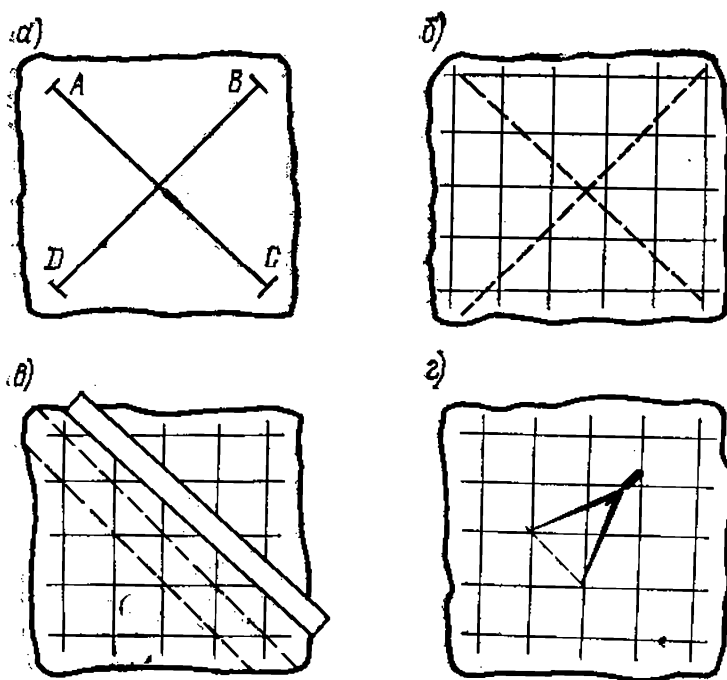


Рис. X.10. Построение координатной сети с помощью штангенциркуля и поперечного масштаба

50 см  $\sqrt{2}=70,711$  см и является диагональю квадрата со стороной 50 см.

Для построения координатной сетки (рис. X.11, а—е) кладут линейку (рис. X.11, а) на лист бумаги вблизи его края так, чтобы на листе поместилась вся координатная сетка. Вдоль скошенного ребра линейки проводят линию АВ. Накладывают на эту линию линейку, совмещив начальный штрих 0 с точкой А, прочерчивают карандашом дуги вдоль скошенных краев окошек. Повернув линейку около точки А примерно на  $90^\circ$ , также карандашом проводят дуги по скошенным краям окошек (рис. X.11, б) совмещают конец линейки начальным штрихом с точкой В (рис. X.11, в), засекают дугообразным концом линейки дугу С и получают левую верхнюю вершину квадрата. Аналогично получают и верхнюю правую вершину квадрата D. Для контроля совмещают начальный штрих с точкой С и смотрят, проходит ли дуга шестого окошечка через D (рис. X.11, ж). Если проходит, то через все скошенные края окошечек проводят дуги, а затем по скошенному краю линейки все линии координатной сетки.

Техника построения координатной сетки линейкой ЛБЛ не отличается от построения линейкой Дробыше-

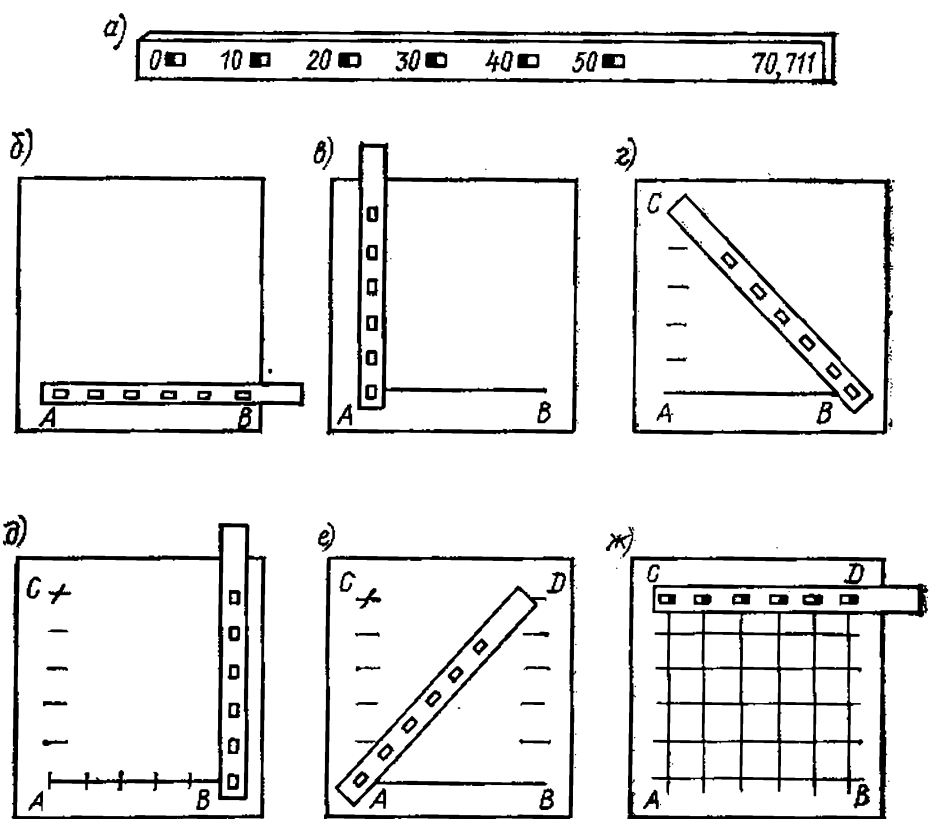


Рис. X.11. Построение координатной сетки с помощью линейки Дробышева

ва. Расстояния между вырезанными окошечками на линейке равны 8 см.

Контроль правильности построения координатной сетки с помощью линеек Дробышева и ЛБЛ производится так же, как при использовании штангенциркуля и циркуля-измерителя.

Координатные сетки строят также при помощи *координатографов*. Различают координатографы *полевые*, с помощью которых сетки строят в экспедиционных условиях, и *стационарные*, устанавливаемые обычно в цехах крупных геодезических и картографических предприятий. При помощи координатографов одновременно с построением координатной сетки можно по координатам наносить точки на план. В настоящее время в геодезическое и картографическое производство широко внедряются автоматические координатографы, которые представляют собой систему, состоящую из координатографа, вычислительной машины, вспомогательного оборудования (устройства ввода и вывода информации, пульта управления и др.) и исполнительных инструментов (чертежные перья, гравировальные резцы и др.).

Точность построения координатной сетки и нанесения точек по координатам обычным координатографом характеризуется средней квадратической погрешностью 0,05 мм, а высокоточным автоматическим координатографом — 0,03 мм.

Точки геодезического обоснования наносят по координатам автоматическим или обычным координатографом, а при отсутствии его — вручную, используя циркуль-измеритель и поперечный масштаб.

Для нанесения на планшет пикетных точек наиболее удобно использовать *круговой тахеометрический транспортир* (рис. X.12, а, б). Установив транспортир на съемочной точке, совмещают его нулевой диаметр с линией хода, по которой проводилось ориентирование лимба прибора, и намечают на окружности направления на пикетные точки. По этим направлениям откладывают соответствующие горизонтальные проложения и получают положение пикетных точек. Возле точек ставят их номер и отметку.

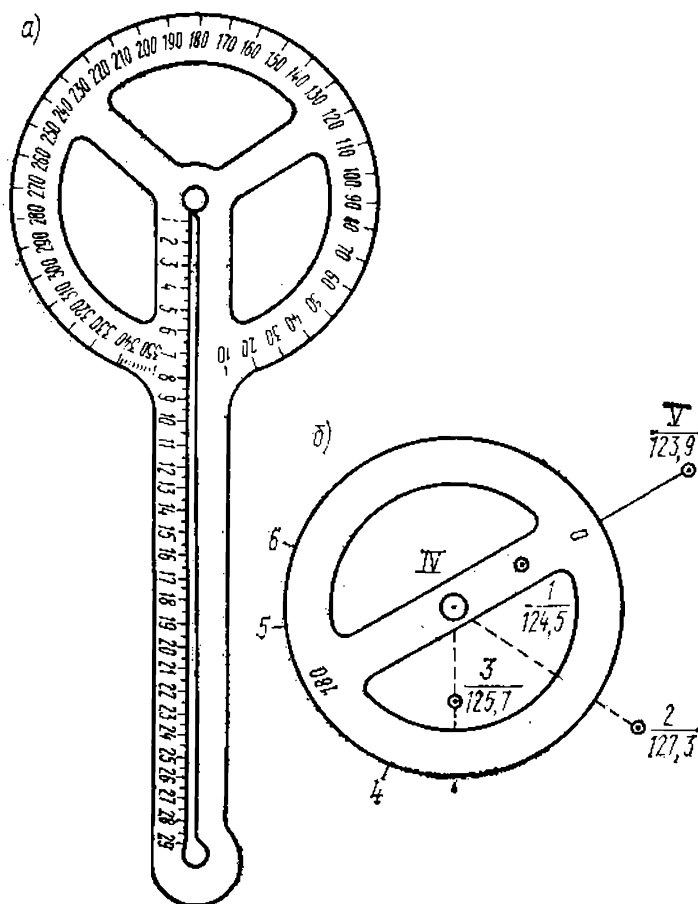


Рис. X.12. Круговой тахеометрический транспортир

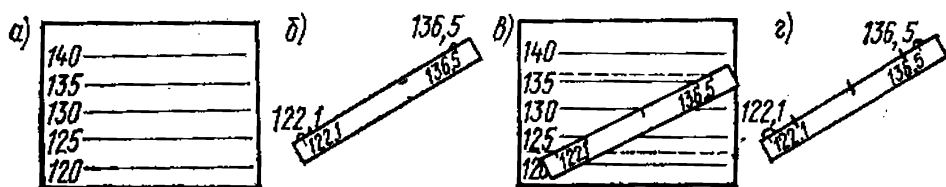


Рис. X.13. Пример построения шкалы высот на палетке и нахождения положения горизонталей

После нанесения пикетных точек приступают к проведению горизонталей методом графического интерполирования. Оно выполняется по направлениям ската, отмеченным в абрисе (см. рис. X.9).

Графический способ интерполяции основан на использовании различного вида палеток. Один из вариантов этих палеток представляет собой ряд параллельных равноотстоящих линий, прочерченных на бумаге. У линий палетки подписывают значения горизонталей, которые проводят на интерполируемом участке (их называют шкалой высот; рис. X.13).

Рассмотрим пример определения шкалы высот на палетке. Интерполирование с высотой сечения 5 м проводится между пикетами с отметками 122,1 и 136,5 м. Подбирают числа, кратные 5 и лежащие в интервале между указанными значениями высот, а также до и после них. Следовательно, шкала высот для интерполирования на рассматриваемом участке должна состоять из отметок 120, 125, 130, 135 и 140 м (рис. X.13,а).

Чтобы определить на плане положение точек, через которые будут проведены горизонталы, берут полоску бумаги, прикладывают ее к линии интерполирования, отмечают на ней положение пикетов и подписывают их высоты (рис. X.13,б). Затем прикладывают полоску к заранее подготовленной палетке, на которой дополнительно прочерчены линии с отметками, соответствующими высоте пикетов (на рис. X.13,в показаны пунктирной линией). Необходимо следить, чтобы положения пикетов, отмеченные на полоске, совпадали с одноименными линиями палетки. Намечают на полоске пересечения ее края с линиями палетки. Эти пересечения указывают положения горизонталей на интерполируемом участке. Вновь приложив полоску к линии интерполирования на плане, переносят на него намеченные точки (рис. X.13,г). Таким образом проводят интерполирование между всеми пикетами (рис. X.14,а). При этом может возникнуть необходимость использования палетки с

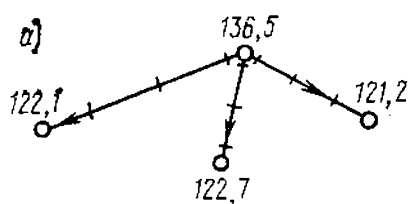


Рис. X.14. Пример интерполирования горизонталей

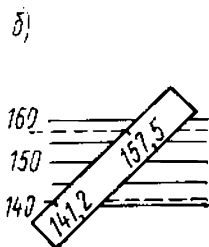
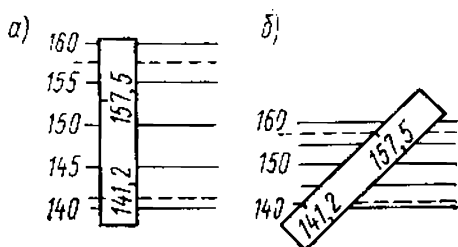
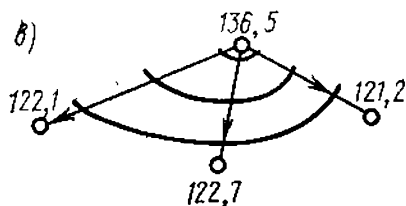
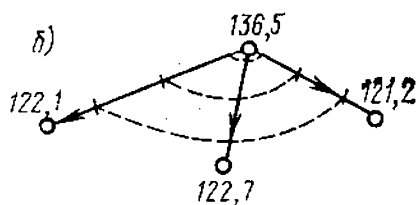


Рис. X.15. Пример необходимости использования палетки с измененным расстоянием между составляющими ее линиями

уменьшенным (по сравнению с первой) расстоянием между линиями (рис. X.15,а и X.15,б). На рис. X.15,а — палетка, на которой отрезок между нужными для интерполирования линиями больше расстояния между пикетами на плане, на рис. X.15,б — палетка, которую следует применить в данном случае. Перед интерполированием необходимо изучить размещение пикетов на плане и отметить характерные элементы рельефа (вершины, седловины и др.).

Работу по проведению горизонталей удобно начинать от вершин рельефа, так как ближайшие к ним намеченные точки по всем направлениям скатов имеют однозначные отметки и могут быть легко соединены одной горизонталью. Затем соединяют следующие одноименные точки и т. д.

После завершения интерполирования точки с однозначными отметками соединяют вначале схематично (см. рис. X.14,б), а затем производят так называемую укладку горизонталей — сглаживают угловатость, уточняют положение горизонталей по всем направлениям с тем, чтобы на скатах одинаковой крутизны расстояния между ними были равны (см. рис. X.14,в). Окончательное оформление плана проводится в соответствии с принятыми «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500».

# ГЛАВА XI

## МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

### § XI.1. Сущность мензульной съемки

Мензульная съемка — один из видов топографической съемки, при которой с помощью мензулы (столика на треноге) и кипрегеля (оптико-механического прибора) непосредственно на участке съемки создается топографический план (рис. XI.1). При мензульной съемке горизонтальные углы не измеряются прибором. Их получают путем графических построений на планшете (рис. XI.2), поэтому мензульную съемку называют также *углоначертательной (графической)*. Мензульная съемка проводится в основном в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.

Достоинство мензульной съемки в том, что план строится непосредственно на местности. Это дает возможность сравнить его с натурой, более точно в полевых условиях провести горизонтали, исключить камеральные вычислительные работы. К недостаткам мензульной съемки относятся зависимость ее от состояния погоды, относительно низкая производительность труда, а также сравнительная громоздкость съемочного оборудования.

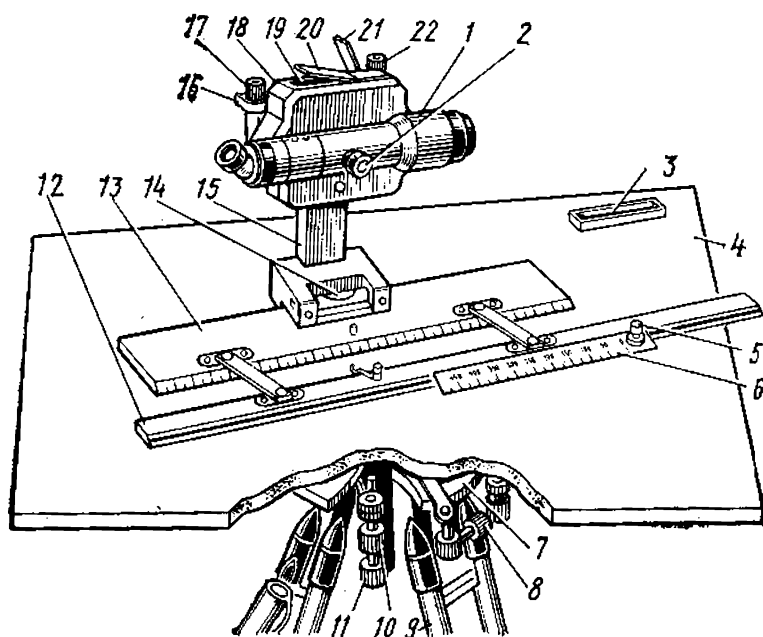


Рис. XI.1. Кипрегель КН

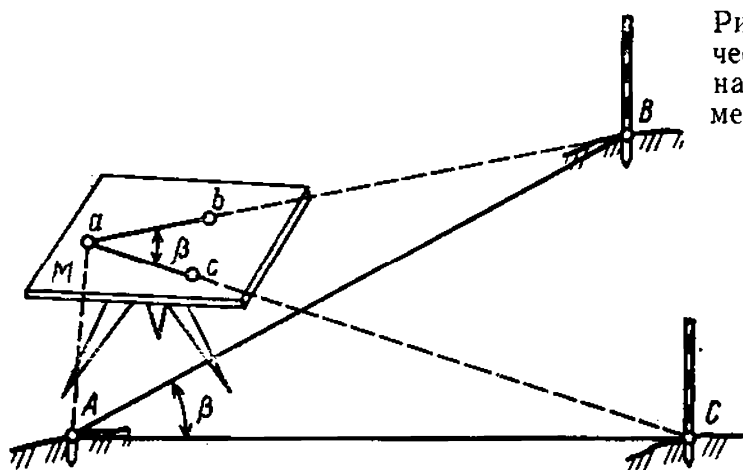


Рис. XI.2. Графические построения на планшете при мензальной съемке

## § XI.2. Приборы мензальной съемки

В мензальный комплект кроме мензулы и кипрегеля входит ориентир-буссоль, центрировочная вилка с ответом, две рейки.

*Мензула* состоит из трех основных частей: мензальной доски 4, подставки с установочными приспособлениями 7 и штатива 9 (см. рис. XI.1).

Мензальная доска служит для закрепления чертежного планшета и установления на ней кипрегеля. Доска изготавливается из сухого выдержанного дерева, пластических масс или легких сплавов в виде квадрата 600×600 мм. Планшет представляет собой лист алюминия или малодеформирующегося пластика, оклеенный плотной чертежной бумагой, на которой выполняют графические построения в процессе съемки. Его прикрепляют к доске мензулы медными гвоздями. Для защиты от загрязнения планшет покрывают калькой или тонкой бумагой («рубашкой»). Планшетом называют и мензальную доску с прикрепленной на ней жесткой основой, оклеенной чертежной бумагой.

С помощью подставки мензальная доска крепится к штативу. В настоящее время применяются два типа подставок: металлические и комбинированные. Металлическая подставка (рис. XI.3). состоит из двух частей — верхней и нижней. Верхняя часть подставки представляет собой коробку 1, в выступах которой размещены винты 2, скрепляющие подставку с мензальной доской. Нижняя цилиндрическая часть коробки опирается на три подъемных винта 3 и имеет закрепительный 6 и наводящий 4 винты. Подъемные винты проходят через пружину 5.



Комбинированная подставка 7 (см. рис. XI.1) соединена с доской. Ее верхняя часть представляет собой деревянный диск, фрикционно скрепленный с доской и снабженный наводящим устройством 8. Нижняя часть подставки состоит из подъемных 10 и станочного 11 винтов.

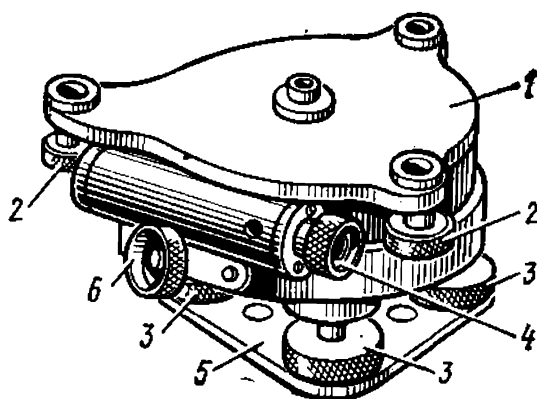


Рис. XI.3. Металлическая подставка мензульты

*Кипрегель* — прибор, служащий для визирования на объекты местности, подлежащие съемке; прочерчивания прямых линий в направлении визирования; определения расстояний и превышений. Конструктивные особенности прибора и принадлежностей рассмотрим на примере мензультного комплекта кипрегеля номограммного КН. *Кипрегель КН* позволяет определять расстояния и превышения, редуцированные (приведенные) на горизонтальную плоскость (т. е. горизонтальные проложения) при одном наведении зрительной трубы на вертикальную рейку. Он состоит (см. рис. XI.1) из зрительной трубы с вертикальным кругом 1, колонки 15 и линеек — основной 13 (выполняет роль основания прибора) и дополнительной 12.

Зрительная труба дает прямое изображение предмета. Увеличение трубы  $25\times$ , поле зрения  $1,5^\circ$ .

Вертикальный круг кипрегеля КН стеклянный, на его поверхность нанесены номограммы превышений и расстояний, которые системой призм передаются в поле зрения трубы и проектируются на изображение местности. Номограммы (рис. XI.4) представлены тремя парами кривых превышений с коэффициентами  $\pm 10$ ,  $\pm 20$ ,  $\pm 100$  и рассчитаны для углов наклона от  $-40$  до  $+40$ . Знак минус перед коэффициентом показывает понижение, а плюс — повышение. Номограммы редуцированных расстояний имеют коэффициенты 100 и 200. Под начальной (нулевой) кривой *H* расположена шкала лимба, оцифрованная через  $1^\circ$ . Одно деление лимба равно  $5'$ . Оцифровка дана в пределах от 0 до  $50^\circ$  в обе стороны (по ходу и против хода часовой стрелки) и сопровождается знаками плюс и минус, что соответствует



положительным или отрицательным углам наклона местности. Изображения номограмм появляются лишь при «круге лево».

Окуляр трубы снабжен диоптрийным кольцом. Фокусировка осуществляется вращением кремальеры 2 (см. рис. XI.1). Вертикальный круг снабжен цилиндрическим уровнем 18, за движением пузырька которого наблюдают с помощью зеркала 21. Цилиндрический уровень 19 с зеркалом 20 при трубе позволяет использовать кипрегель в качестве нивелира.

На дополнительной линейке 12 помещаются съемная масштабная линейка 6 и наколочный штифт 5 для нанесения на планшет пикетов. На колонке имеется наводящее устройство трубы 17, совмещенное с закрепительным винтом 16 рычажного типа, и наводящее устройство 22 вертикального круга, предназначенное для установки лимба на нулевой отсчет. В колонке прибора укреплен цилиндрический уровень 14 для приведения в горизонтальное положение плоскости планшета.

При работе с кипрегелем КН используются двухметровые рейки, которые имеют выдвижную пятку для установки нуля рейки на высоту прибора. При работе начальную кривую номограммы необходимо наводить на нуль рейки (рис. XI.4,б).

Для определения горизонтального проложения отсчитывают вдоль вертикальной линии сетки нитей число делений на рейке от начальной окружности  $H$  (рис. XI.4,а) до кривых горизонтальных проложений расстояний (с коэффициентами 100 и 200). Умножая полученный результат на 100 или 200, получают горизонтальное проложение (в см) от прибора до рейки. Определение превышений выполняется по кривым превышений аналогичным образом. Перед снятием отсчетов по рейке центр пузырька уровня 18 вертикального круга необходимо совмещать с нуль-пунктом ампулы.

Горизонтальное проложение и превышение (при использовании рейки с выдвижной пяткой) вычисляют по формулам:

$$s = k_s l_s; \quad h = k_h l_h,$$

где  $l_s$  — отсчет по кривой горизонтальных проложений, который равен расстоянию между начальной окружностью  $H$  и кривой горизонтальных проложений;  $l_h$  — отсчет по кривой превышений, который равен расстоянию между начальной окружностью  $H$  и кривой превышений,

$k_s$ ,  $k_h$  — коэффициенты кривых горизонтальных проложений и превышений.

Например, расстояние между начальной окружностью и кривой горизонтальных проложений равно 20 см (рис. XI.4, б). Следовательно,  $s = 20,0 \text{ см} \times 100 = 20,0 \text{ м}$  или  $s = 10,0 \text{ см} \times 200 = 20,0 \text{ м}$ .

Таким же образом определяют превышение, измеряя расстояние от начальной кривой до кривых превышений:  $h = -(10) \times 24 \text{ см} = -2,40 \text{ м}$  или  $h = -(20) \times 12 \text{ см} = -2,40 \text{ м}$ .

При определении расстояний и превышений можно использовать обыкновенные нивелирные рейки. В этом случае (если не наводят начальную кривую на высоту инструмента) горизонтальное проложение линий определяется по формуле  $s = k_s(l_s - l_H)$ , а превышение — по формуле  $h = k_h(l_h - l_H) + i - v$ , где  $l_H$  — отсчет по рейке с помощью начальной окружности,  $i$  — высота прибора. При наведении начальной кривой на высоту прибора ( $i = v$ ) горизонтальные расстояния и превышения находят по формулам

$$s = k_s(l_s - l_H); h = k_h(l_h - l_H).$$

Для ориентирования мензульной доски по магнитному меридиану служит ориентир-буссоль (см. рис. XI.1, рис. XI.2). Она имеет неполное градусное кольцо, заключенное в удлиненный корпус прямоугольной формы (см. рис. XI.8, а, б).

Достаточно широко в современной практике применяется кипрегель КА-2, устройство которого дано на рис. XI.5. Он имеет прямую зрительную трубу с внутренней фокусировкой. На стеклянном лимбе вертикального круга нанесены десятиминутные деления, оцифрованные через градус по ходу часовой стрелки, а также кривые номограмм, видимые в поле зрения трубы (рис. XI.6) при положении  $KL$ , в число которых входят: начальная кривая  $HЗ$ , кривые превышений 4 с коэффициентами  $\pm 10$ ,  $\pm 20$ ,  $\pm 100$ , рассчитанные для углов наклона от  $+35^\circ$  до  $-35^\circ$ . Изображения делений вертикального круга видны на горизонтальной части Г-образной посеребренной полоски 7, а номограммы кривых горизонтальных проложений и превышений — на вертикальной 2. При  $KL$  в поле зрения трубы кипрегеля КА-2, у края Г-образной пластинки, видны три коротких дальномерных штриха 6, награвированных на склеенной поверхности призмы-сетки с коэффициен-

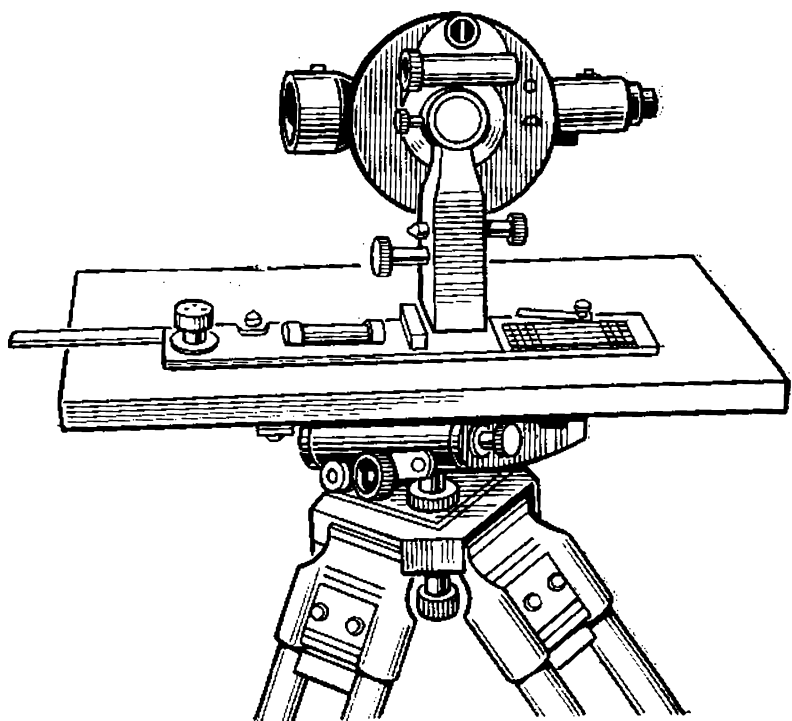


Рис. XI.5. Кипрегель КА-2

тами дальномера, равными 100, 200. Для определения горизонтальных проложений правую грань Г-образной посеребренной полоски совмещают с изображением рейки 1 (визирование производится на высоту инструмента), отсчитывают число делений на рейке от начальной кривой до кривой 5 горизонтальных проложений  $s$  и умножают на ее коэффициент, равный 100. Например,

на рис. XI.6  $s=0,174 \text{ м} \times 100=17,4 \text{ м}$ . Для определения превышения отсчитывают число делений на рейке от начальной кривой до соответствующих кривых превышений и умножают на их коэффициент. На рис. XI.6  $h=0,064 \text{ м} \times (+100)=+6,4 \text{ м}$  или  $h=0,315 \text{ м} \times (+20)=+6,4 \text{ м}$ .

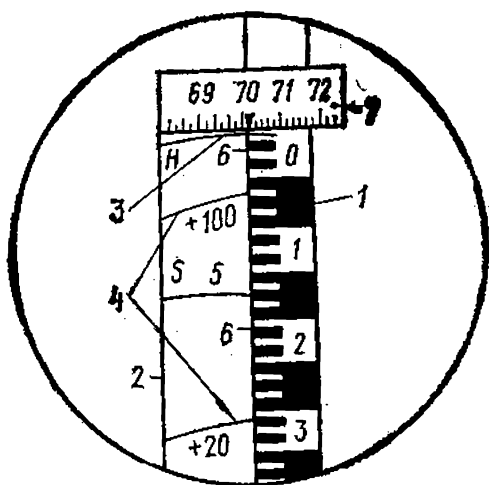


Рис. XI.6. После зрения кипрегеля КА-2

**Поверки мензулы и ее принадлежностей.** Мензула должна удовлетворять следующим требованиям.

1. *Мензула должна быть устойчива.* Для поверки устанавливают мензулу, ставят на нее кипрегель и наводят трубу кипрегеля на точку какого-нибудь удаленного предмета. Если после легкого нажатия рукой на планшет (снизу вверх, сверху вниз и с обоих боков) центр сетки трубы возвратится на первоначальную точку, то первое условие выполнено. При невыполнении условия следует проверить крепление доски к подставке, крепление подставки к головке штатива, крепление наконечников на концах ножек штатива. В случае необходимости регулируют вращение подъемных винтов и винты, которыми удерживается головка штатива.

2. *Верхняя часть доски должна быть плоскостью.* Выполнение этого требования устанавливается таким образом: если между ребром предварительно выверенной линейки кипрегеля, прикладываемой к планшету в разных направлениях, просветы не превышают 0,5 мм, то условие выполнено.

3. *Верхняя плоскость доски должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения подставки мензулы.* Тремя подъемными винтами приводят доску в горизонтальное положение по заранее выверенному цилиндрическому уровню на линейке кипрегеля, т. е. горизонтируют планшет. Вращая доску вокруг вертикальной оси, проверяют положение пузырька уровня. Если он отклоняется от нуля-пункта не более чем на 2 деления, то условие выполнено. Все выявленные недостатки мензулы исправляются в мастерской.

Одновременно проверяются принадлежности мензулы: центрировочная вилка и ориентир-буссоль. Мензульная вилка служит для центрирования точек планшета над соответствующими точками местности (рис. XI.7,а). При горизонтальном положении планшета указатель 1 на верхней планке должен находиться на одной отвесной прямой с точкой а прикрепления отвеса к нижней планке. Это условие проверяется при двух положениях вилки, показанных на рис. XI.7,б. Если острие отвеса проектируется в одну и ту же точку местности, условие выполнено, если нет, необходимо переместить шнур отвеса или отрегулировать наклон нижней планки вилки.

Ориентир-буссоль должна удовлетворять следующим условиям (рис. XI.8,а, б).

1. *Стрелка ориентир-буссоли должна быть уравновешена.* Буссоль ставят на горизонтальную поверхность,

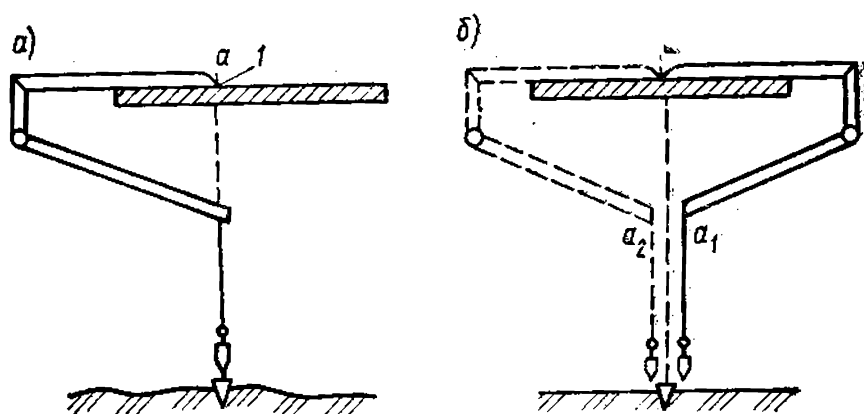


Рис. XI.7. Центрировочная вилка

открепляют арретир и наблюдают за стрелкой. Условие выполнено, если концы свободно подвешенной стрелки находятся в плоскости шкалы буссоли. Если один ее конец приподнят, на него надевают грузик.

2. Магнитная стрелка должна быть хорошо намагничена и обладать достаточной чувствительностью. Отпускают закрепительный винт арретира, делают отсчет по одному концу стрелки и выводят стрелку из равновесия. Если стрелка после незначительных колебаний устанавливается на прежнем отсчете, то условие выполнено. Проверку повторяют несколько раз.

3. Центр вращения стрелки должен проходить через центр градусного кольца буссоли. Отсчеты по двум

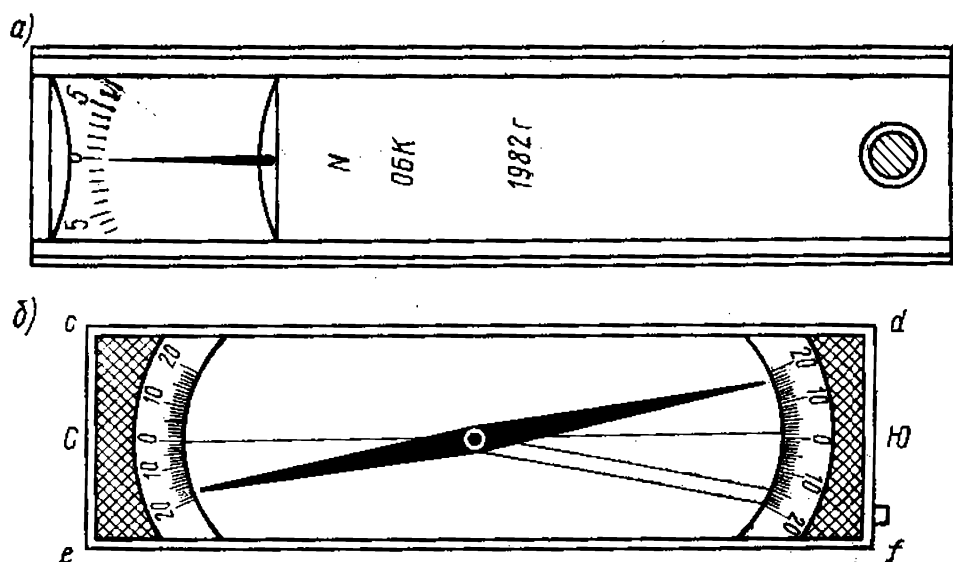


Рис. XI.8. Ориентир-буссоль

концам стрелки должны отличаться на  $180^\circ$  или быть одинаковыми (в зависимости от подписи кольца буссоли). Влияние эксцентриситета исключается при взятии отсчетов по обоим концам стрелки и определении из них среднего значения (рис. XI.8,б).

4. Нулевой диаметр буссоли должен быть параллелен боковому ребру  $ef$  или  $cd$  коробки буссоли. Проверка производится путем измерения расстояний между нулевыми штрихами и рабочим краем линейки. Расхождения не должны превышать 0,1 мм (рис. XI.8,б).

Основные геометрические условия, которым должен отвечать кипрегель, следуют из расположения его осей и плоскостей, показанных на рис. XI.9, где  $ZZ_1$  — отвесная линия: 1) ось цилиндрического уровня  $UU_1$ , укрепленного на линейке, должна быть параллельной нижней плоскости линейки  $LL_1$ ; 2) визирная ось зрительной трубы  $WW_1$  должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы  $HH_1$ ; 3) ось вращения трубы  $HH_1$  должна быть параллельна нижней плоскости линейки  $LL_1$ ; 4) коллимационная плоскость трубы (плоскость, описы-

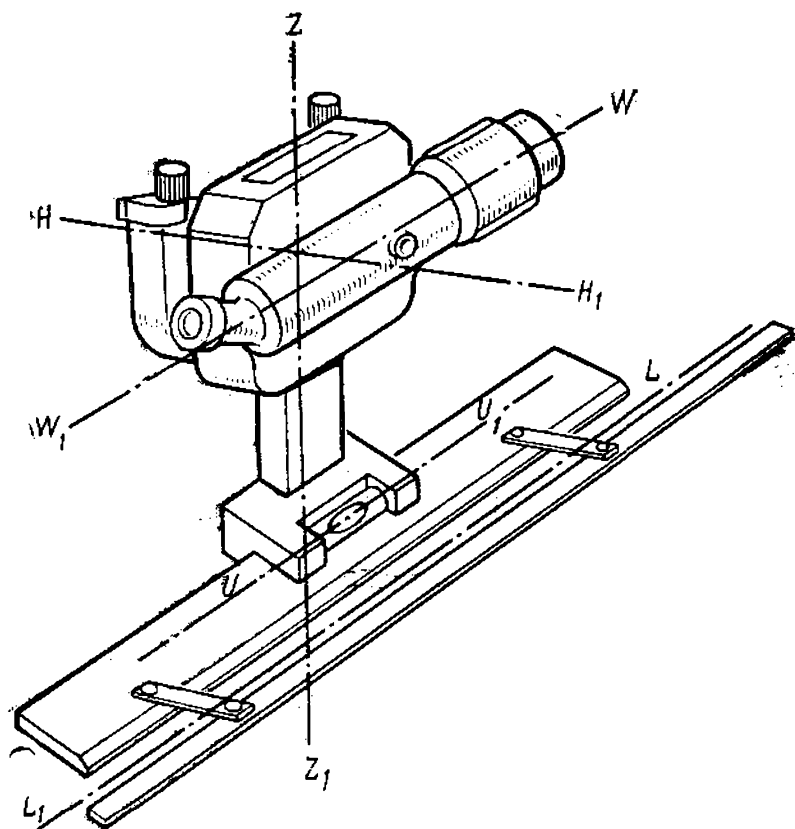


Рис. XI.9. Основные геометрические оси кипрегеля



ваемая визирной осью при вращении) должна быть параллельной к скошенному краю линейки.

**Поверки кипрегеля.** Они состоят в установлении соответствия перечисленным геометрическим условиям и делятся на общие и частные. Общие поверки кипрегеля следующие.

1. *Скошенное ребро линейки должно быть прямой линией, а нижняя поверхность ее должна быть плоскостью.* Для поверки этого условия необходимо провести карандашом линию на планшете вдоль ребра линейки. Повернув кипрегель на  $180^\circ$ , прикладывают линейку вдоль прочерчиваемой линии и снова прочерчивают линию. Если между линиями образуется просвет в 0,1 мм, линейку необходимо отремонтировать в мастерской. Нижняя поверхность линейки будет плоскостью, если при прикладывании линейки к какой-либо выверенной горизонтальной плоскости не будет просветов.

2. *Дополнительная линейка, находясь на разных расстояниях от основной линейки, должна оставаться параллельной ребру основной линейки.* Устанавливая дополнительную линейку на разных расстояниях от основной, проводят по ее скошенному ребру прямые. Если расстояния между прочерчиваемыми линиями и основной линейкой в разных местах будут различаться не более чем на 0,2 мм, то условие выполнено.

3. *Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля (в колонке трубы у КН) должна быть параллельна нижней плоскости линейки.* Для поверки этого условия ставят кипрегель на центр доски так, чтобы его линейка была параллельна двум подъемным винтам подставки, и прочерчивают по краю линейки линию. Подъемными винтами приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем переставляют кипрегель на  $180^\circ$  относительно прочерченной линии. Если пузырек уровня отклоняется от нуль-пункта более чем на одно деление, его перемещают исправительными винтами уровня на половину дуги отклонения, а другую половину перемещают подъемными винтами и повторяют поверку до тех пор, пока уровень не будет отклоняться от середины не более чем на одно деление.

4. *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы.* Приводят планшет в горизонтальное положение и визируют трубу кипрегеля на точку удаленного предмета при КП и КЛ, прочерчивая каждый раз линии на план-

жете вдоль линейки кипрегеля. Если обе линии совпадут или будут взаимно параллельны, то проверяемое условие выполнено. Несовпадение линий свидетельствует о наличии двойной коллимационной ошибки кипрегеля, которая выражается углом между линиями. У современных номограммных кипрегелей исправление коллимационной ошибки делается только в мастерской.

5. *Горизонтальная ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки.* Для проверки условия устанавливают мензулу в 20—30 м от какой-либо стены. Ставят кипрегель на планшет, приведенный в горизонтальное положение, и при *КП* визируют на отмеченную на стене точку *А*, которая должна быть выше горизонта кипрегеля. Затем опускают трубу до горизонта инструмента и отмечают на стене точку *А*<sub>1</sub>. Переведя трубу кипрегеля через зенит и переставив его на планшете на 180°, при *КЛ* вновь визируют на точку *А*, опускают трубу до горизонта инструмента и отмечают на стене точку *А*<sub>2</sub>. Если точки совпадут или будут расположены недалеко друг от друга (до 4 мм), то данное условие выполнено. Если это условие не соблюдается, то кипрегелем можно работать только при одном положении вертикального круга.

6. *Вертикальная нить сетки должна лежать в коллимационной плоскости кипрегеля.* Наводят вертикальную нить трубы (КА-2 — правый вертикальный край Г-образной пластинки) на отчетливо видимую точку предмета местности, вращая наводящий винт трубы вверх и вниз, следят за положением изображения точки по отношению к вертикальной нити. Если точка не сходит с вертикальной нити, то условие выполнено, если сходит, то производят исправление сетки нитей. Исправление положения вертикальной нити сетки выполняют в мастерской.

7. *Коллимационная плоскость трубы должна проходить через скошенный край линейки кипрегеля или быть ему параллельной.* Для проверки этого условия приводят планшет в горизонтальное положение и вкалывают в него отвесно две тонкие иглы на расстоянии 20—30 см одна от другой, затем прикладывают к ним скошенное ребро линейки кипрегеля. Поворачивая планшет, наводят трубу кипрегеля на точку удаленного предмета, которая хорошо видна и невооруженным глазом. Если точка предмета находится в створе иголок, то условие выполнено. Если нет, то исправление производится в

мастерской. Однако невыполнение этого условия не мешает работе при любом положении круга и может отразиться только на ориентировке планшета по буссоли.

8. Место нуля (МО) вертикального круга должно быть близким к нулю и постоянным (у кипрегелей КА-2 место нуля должно быть близким к  $90^\circ$ ). Проверка этого условия выполняется принципиально так же, как у теодолитов. Значения МО определяются по формулам:

для КН

$$МО = (КП - КЛ) / 2;$$

для КА-2

$$МО = (КП + КЛ - 180^\circ) / 2.$$

Погрешность значения места нуля не должна превышать  $1'$ . При значении МО больше  $1'$  проводят его исправление. Для этого наводят трубу на один из предметов при «круге право» и вращением наводящего винта вертикального круга устанавливают в поле зрения отсчет, соответствующий величине угла наклона. Угол наклона вычисляют по формулам:

$$\nu = (КП + КЛ) / 2 = КП - МО = КЛ + МО;$$

для КА-2

$$\nu = (КП - КЛ - 180^\circ) / 2 = КП - МО - 180^\circ = МО - КЛ.$$

Затем исправительными винтами уровня, соединенного с вертикальным кругом, приводят пузырек уровня в нуль-пункт, следя за тем, чтобы изображение предмета не сходило с горизонтальной нити. Это же исправление МО можно произвести и другим путем. Определяют МО, а затем приводят пузырек уровня вертикального круга в нуль-пункт и устанавливают в поле зрения трубы отсчет, равный МО, с помощью наводящего винта трубы. Затем вращением винта вертикального круга приводят отсчет в поле зрения трубы к нулю, после чего исправительными винтами уровня вертикального круга приводят пузырек уровня в нуль-пункт. После этого поверку следует повторить. Если МО будет изменяться сверх допустимого предела, то прибор следует отправить в мастерскую.

При приведении МО к нулю у кипрегеля КН отсчеты по КП и КЛ имеют разные знаки. Поэтому если МО приводят к нулю при КП, то МО вычисляют по формуле  $МО = (КП - КЛ) / 2$ , а если при КЛ, то по формуле  $МО = (КЛ - КП) / 2$ .

Непостоянство *МО* зависит от нарушения крепления вертикального круга с трубой, цилиндрического уровня с вертикальным кругом, а также от неизменного положения визирной оси трубы.

9. *Ось цилиндрического уровня на трубе должна быть параллельна визирной оси трубы.* Наводят трубу на рейку, расположенную на расстоянии 100—150 м, и, приведя пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт с помощью наводящего винта, делают отсчет по рейке при двух положениях вертикального круга. Среднее значение из двух отсчетов по рейке, на которое необходимо направить визирную ось трубы, соответствует горизонтальному положению оси трубы. Затем наводят на вычисленный отсчет трубу, а затем с помощью исправительных винтов цилиндрического уровня приводят его пузырек в нуль-пункт. При этом положении пузырька уровня отсчет по кругу должен быть равным  $90^\circ$ , а отсчет по кривой превышений — нулю.

Установка мензулы на каждой станции состоит из трех последовательных действий: *центрирования, приведения планшета в горизонтальное положение (горизонтирования) и ориентирования.* При центрировании добиваются установления изображения съёмочной точки над соответствующей точкой местности. Предварительно устанавливают мензулу над съёмочной точкой при высоте планшета, удобной для работы на нем, и производят приближенное ориентирование планшета по буссоли или опорным пунктам, а затем перемещают всю мензулу или только подставку до тех пор, пока точка на планшете не окажется над соответствующей точкой местности.

Работа по установке мензулы проводится, как правило, в два приема: сначала «на глаз», затем точно с помощью кипрегеля и принадлежностей мензульного комплекта.

Мензулу центрируют над данной точкой с помощью центрировочной вилки. Погрешность центрирования не должна превышать 5 см для масштабов 1:500, 1:1000; 10 см для масштаба 1:2000 и 25 см для масштаба 1:5000.

Приведение планшета в горизонтальное положение выполняется с помощью уровня при линейке кипрегеля. Установив линейку по направлению двух подъемных винтов и вращая их, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем переставляют кипрегель по направлению

третьего подъемного винта и, вращая его, снова приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Если при повторении этих действий пузырек уровня отклоняется от нуль-пункта не больше чем на два деления, то приведение планшета в горизонтальное положение выполнено.

Ориентирование планшета в точке *A* по линии местности (см. рис. XI.2) производят таким образом. Приложив скошенное ребро линейки кипрегеля к линии *ab* и, вращая планшет, визируют на точку *B* местности. Закрепив планшет и действуя наводящим винтом подставки, уточняют проведенное предварительное визирование на точку *B*. После ориентирования по выбранной линии *ab* кипрегель прикладывают к другой линии *ac* и определяют видимость точки *C* в поле зрения трубы. Если точка видна, то ориентирование выполнено правильно. Если нет, то необходимо проверить ориентирование по первоначальной линии.

При ориентировании планшета по буссоли прикладывают край буссоли к одной из вертикальных линий координатной сетки и поворачивают планшет до совмещения северного конца стрелки с отсчетом по шкале буссоли, равным поправке направления *П* (см. § IV.10). Чтобы ориентировать планшет по географическому меридиану, необходимо северный конец стрелки установить против отсчета, равного склонению магнитной стрелки.

Ориентировать планшет по линии точнее, чем по буссоли.

### **§ XI.3. Геодезическое обоснование мензульной съемки**

Съемочное обоснование мензульной съемки включает пункты государственной геодезической сети, сетей сгущения и съемочных сетей. Густота пунктов съемочного обоснования должна быть при масштабе съемки 1:5000 12—22 точки на 1 км<sup>2</sup>; 1:2000—22—50 точек; 1:1000—48—80 точек и при масштабе съемки 1:500—80—140 точек. Наименьшее число точек берется при несложных ситуации и рельефе, наибольшее — при съемке застроенных территорий или сложном рельефе.

Сгущение точек планового съемочного обоснования выполняется аналитическим и графическим методами.

При *аналитическом методе* создания съемочного обоснования на открытой местности прокладываются съемочные триангуляционные сети и проводятся раз-

личные засечки, а на закрытой местности прокладываются теодолитные ходы. При этом способе координаты точек получают вычислением.

*Графический способ* создания планового съемочного обоснования заключается в построении на планшете системы точек геометрической сети при помощи прямой, обратной или комбинированных графических (мензульных) засечек. Определить положение съемочных точек на планшете можно также в результате проложения мензульных ходов, которое, как правило, осуществляется в закрытой местности. Рекомендуемая длина мензульных ходов приведена в табл. XI.1.

Таблица XI.1

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина линий, м	Максимальное число линий в ходе
1:5000	1000	250	5
1:2000	500	200	5
1:1000	250	100	3
1:500	200	100	2

Отметки точек всех видов геодезического обоснования определяют проложением ходов геометрического и тригонометрического нивелирования.

#### § XI.4. Мензульные засечки

Мензульные засечки могут быть прямыми, обратными и комбинированными.

**Прямая засечка.** Она выполняется с точек, используемых в качестве исходных. Для определения на планшете точки  $s$ , соответствующей точке местности  $C$  (рис. XI.10), последовательно устанавливают мензулу в известных точках  $A$  и  $B$ . В точке  $A$  планшет ориентируют по направлению  $ab$ , прикладывают к точке  $a$  скошенное ребро линейки кипрегеля, визируют на точку  $C$  и прочерчивают направление  $am$ . Затем переходят с мензулой на точку  $B$  и ориентируют планшет по направлению  $ba$ . Прикладывая скошенное ребро линейки кипрегеля к точке  $b$ , визируют на точку  $C$  и прочерчивают линию  $bn$ . В точке  $s$ , полученной в результате пересечения линий  $am$  и  $bn$ , находится определяемая точка местности.

**Обратная засечка.** К этой засечке прибегают при недоступности исходных точек. Пусть на планшете даны

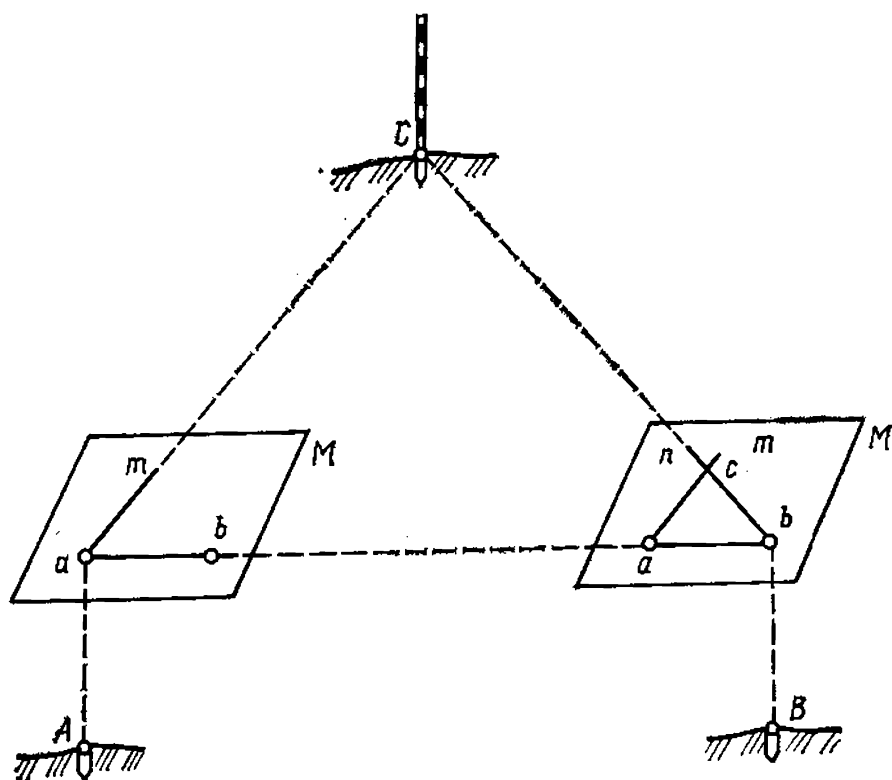


Рис. XI.10. Прямая графическая засечка

точки  $a$  и  $b$ , соответствующие точкам местности  $A$  и  $B$  (рис. XI.11). Для решения задачи мензулу устанавливают в определяемую точку местности  $C$  и ориентируют планшет по буссоли. Приложив линейку кипрегеля к точке  $a$  планшета, визируют на точку  $A$  местности и прочерчивают линию  $am$  «на себя». Аналогично прочерчивают линию  $bn$ . Точка пересечения этих направлений  $c$  будет представлять точку  $C$  местности.

**Комбинированная засечка.** Положение точки на планшете можно определить комбинированной засечкой, например прямой засечкой с двух пунктов и с одного-двух пунктов обратной засечкой.

Положение точки, полученное прямой или обратной засечкой с двух точек, бесконтрольно. Для контроля засечки следует проводить минимум с трех точек. Положение точки на планшете определяется надежно, если три направления, прочерченные на планшете, пересекаются в одной точке. Способ определения четвертой точки по трем данным описывается в специальной литературе как задача Снеллиуса — Потенота и имеет много аналитических и графических решений. При мензурной съемке эта задача решается графическим путем

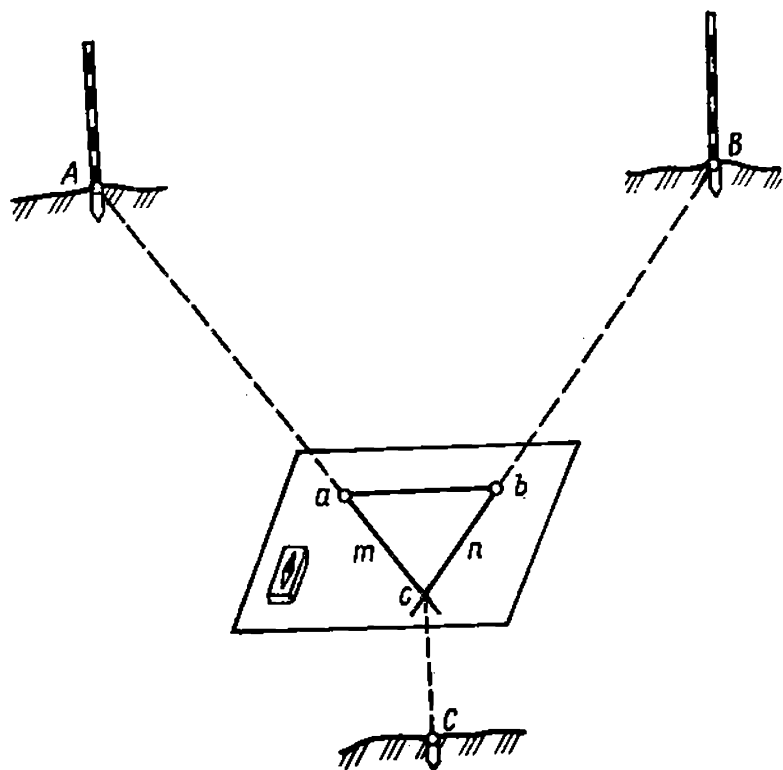


Рис. XI.11. Обратная графическая засечка

(рис. XI.12). Определяемая точка  $d$  по отношению к трем известным точкам  $A$ ,  $B$  и  $C$  может занимать одно из шести мест:  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$ ,  $d_5$ ,  $d_6$ . В зависимости от этого задача решается в первом случае надежно, во втором точно (положение точки определяется комбинированной засечкой), в третьем и пятом — ненадежно (короткая ориентирная линия), в четвертом не решается, так как длина ориентировочной линии равна нулю,

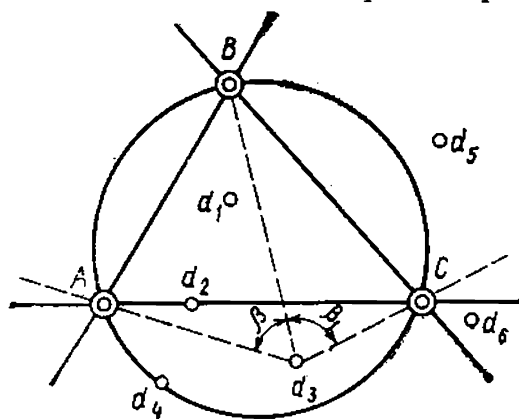


Рис. XI.12. Пример положения определяемой точки по отношению к трем известным

в шестом — задача решается надежно — ориентировочная линия большой длины.

Для графического решения на мензульном планшете задачи Снеллиуса — Потенота предложено несколько способов. Рассмотрим два из них.

*Способ Бологова.* Устанавливают мензулу в определяемой точке  $M$



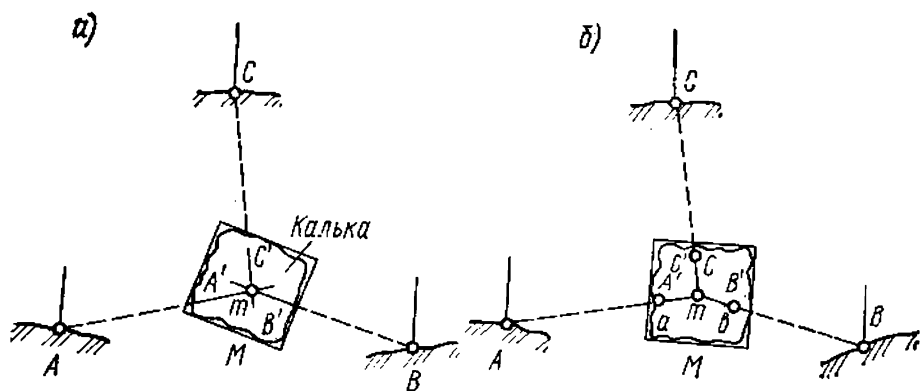


Рис. XI.13. Способ Болотова

местности. На планшет мензулы предварительно нанесены точки  $a$ ,  $b$  и  $c$ , соответствующие точкам местности  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Накладывают на планшет лист прозрачной бумаги (кальки, восковки). Закрепив лист кальки на планшете, намечают на нем произвольную точку  $m$ , расположенную примерно над искомой точкой  $M$  местности, визируют кипрегелем последовательно на точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  местности и прочерчивают три линии  $AA'$ ,  $BB'$  и  $CC'$  (рис. XI.13,а). Открепив кальку, перемещают ее по планшету до тех пор, пока прочерченные три линии  $AA'$ ,  $BB'$  и  $CC'$  на кальке не пройдут через точки  $a$ ,  $b$  и  $c$  на планшете. После этого перекалывают точку  $m$  на планшет (рис. XI.13,б). Полученную на планшете искомую точку  $m$  проверяют: ориентируют планшет мензулы по линии, соединяющей точку  $m$  с одной из трех наиболее удаленных точек, и уточняют ориентировку по другим точкам.

*Способ поворотов планшета.* Решение задачи сводится к нахождению на мензульном планшете отрезка линии, при помощи которого можно ориентировать планшет (рис. XI.14).

Устанавливают мензулу над точкой  $M$ , положение которой необходимо определить на планшете (рис. XI.14,1). Положение трех точек на местности  $A$ ,  $B$ ,  $C$  соответствует точкам  $a$ ,  $b$  и  $c$  на планшете. Затем строят при правой точке  $c$  левый угол  $\beta$  (см. рис. XI.12). Для этого, приложив ребро линейки кипрегеля к линии  $ac$  (точка  $A$  должна быть впереди), поворачивают планшет и ориентируют по точке  $A$ . Закрепив планшет, прикладывают ребро линейки кипрегеля к точке  $c$  и, наведя зрительную трубу в точку  $B$  местности, прочерчивают на планшете по ребру линейки линию. В результате при точке  $c$  получают угол  $\beta$ .

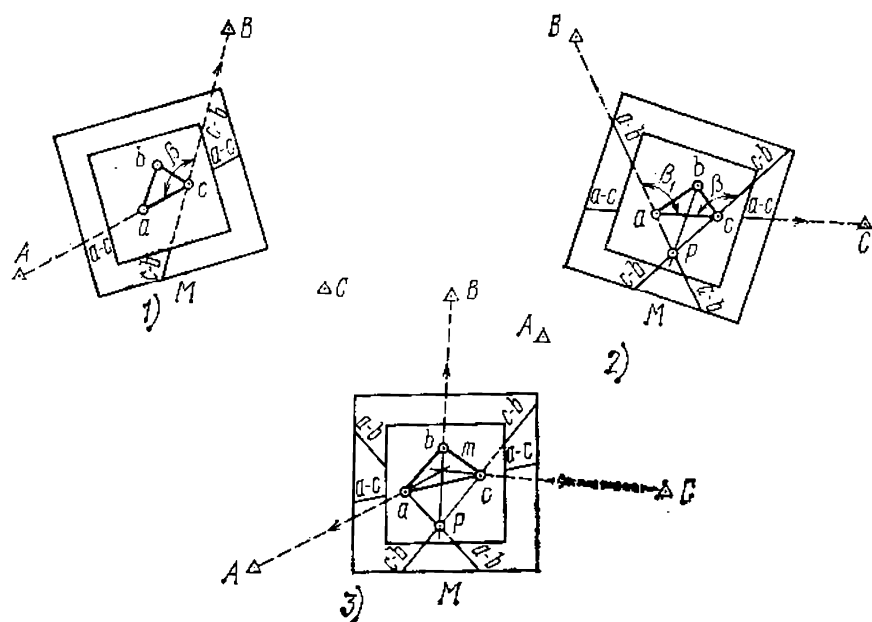


Рис. XI.14. Способ поворотов планшета

Для построения правого угла  $\beta_1$  при левой точке  $a$  (см. рис. XI.14,2) прикладывают ребро линейки кипрегеля к линии  $ac$ , поворачивают планшет и визируют на пункт  $C$ . Закрепив планшет, прикладывают ребро линейки кипрегеля к точке  $a$ , наводят трубу в точку  $B$  и прочерчивают второе направление. Таким образом, при точке  $a$  получают правый угол  $\beta_1$ .

В результате пересечения двух прочерченных направлений получают линию  $br$ , на которой лежит искомая точка  $m$ . Эта линия позволяет ориентировать планшет в направлении  $mb$ . Приложив ребро линейки кипрегеля к точкам  $p$  и  $b$ , поворачивают планшет, визируют на пункт  $B$  местности и закрепляют планшет (рис. XI.14,3). В результате планшет будет ориентирован по линии  $pb$ . Приложив ребро линейки кипрегеля поочередно к точкам  $a$  и  $c$ , визируют соответственно на пункты  $A$  и  $C$  местности. Прочерчивают «на себя» линии  $Aa$  и  $Ac$  и получают положение искомой точки  $m$ , которая лежит на пересечении трех линий  $Aa$ ,  $Ac$  и  $Bp$ . Если три линии не пересекутся в одной точке, то задачу надо решать заново. Точки проектируют на земную поверхность при помощи вилки или на глаз и закрепляют колом.

## § XI.5. Геометрическая сеть

Геометрическую сеть как один из видов съемочного обоснования строят для сгущения геодезической сети,

если существующих пунктов триангуляции, полигонометрии и теодолитных ходов недостаточно для съемки местности. Положение точек геометрической сети определяется *методом графических засечек* не менее чем с трех известных пунктов (§ XI.6). Длины сторон треугольников геометрической сети составляют примерно одну десятую знаменателя численного масштаба съемки, выраженную в метрах. Если строится сеть в масштабе 1:10 000, то длина стороны треугольника геометрической сети примерно равна 1 км, а в масштабе 1:5000 — 0,5 км. Геометрическая сеть треугольников, получаемых графическим построением, может быть применена для масштаба 1:5000 на малых участках при наличии густой сети исходных пунктов, нанесенных на планшет по координатам. В масштабе 1:2000 и крупнее геометрическую сеть обычно не строят. Количество точек геометрической сети зависит от масштаба съемки и характера рельефа местности, но их не должно быть больше норм, предусмотренных в § XI.5. Отметки вершин геометрической сети получают тригонометрическим нивелированием. Графическое определение планового положения точек геометрической сети и измерение их превышений выполняются одновременно.

Для съемки небольших участков местности (размещаемых на одном планшете) при отсутствии в районе работ пунктов или точек, определенных аналитически, геометрическая сеть строится на основе одного базиса. Базис выбирается в центре снимаемой территории на ровном месте, позволяющем производить измерения стальной лентой. Длина базиса устанавливается в зависимости от масштаба плана и должна быть не менее  $\frac{1}{4}$  длины снимаемого участка (в масштабе плана не менее 5—10 см).

Работа по созданию геометрической сети состоит из трех этапов: 1) выбор точек (рекогносцировка) и закрепление их на местности, 2) построение сети на планшете, 3) определение высот точек сети.

При рекогносцировке точки геометрической сети намечают на возвышенных местах и обозначают вехами. Выбранные точки закрепляют на местности кольями, вбитыми вровень с землей.

Для определения плановых и высотных положений точек геометрической сети устанавливают мензулу на одном из пунктов геодезической сети (например, а на рис. XI.15) и ориентируют планшет по наиболее уда-

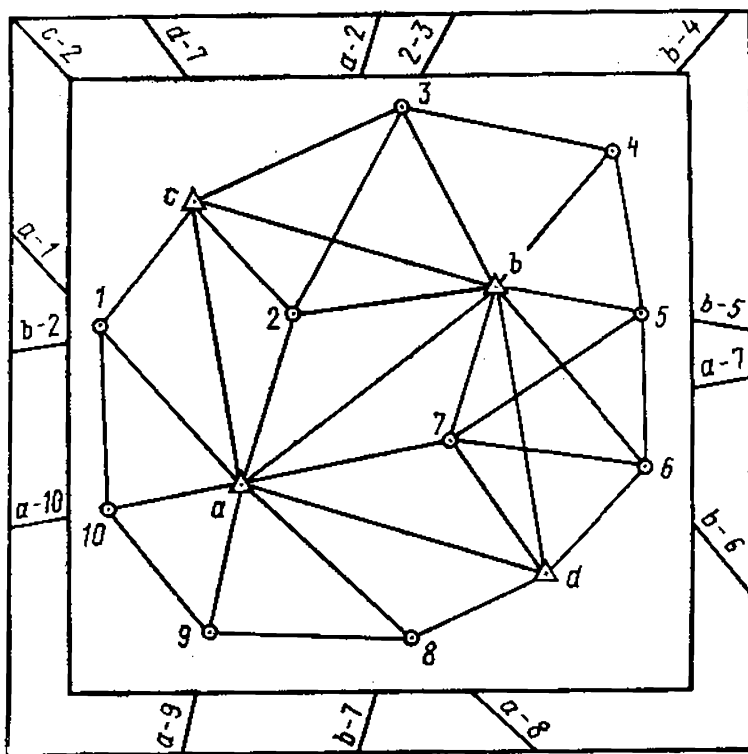


Рис. XI.15. Определение положения точек геометрической сети

ленной точке. Ориентирование планшета проверяют по другим видимым точкам. Кипрегелем визируют и проводят направления на все точки геометрической сети, которые видны с данного пункта. Все прочерченные направления продолжают за рамку планшета и на них делают надпись: с какого и на какой пункт идет данное направление. После прочерчивания направлений проверяют ориентирование планшета и переходят на другую точку (например,  $b$ ), повторяя указанные действия. Точки пересечения (1—10) направлений на вехи с разных пунктов определяют положение точек геометрической сети. По окончании наблюдения на все точки геометрической сети, видимые с данного пункта, переводят трубу через зенит и, последовательно визируя на точки, высоты которых определяют, берут отсчеты по вертикальному кругу при  $KП$ , а потом при  $KЛ$ . При этом следят за постоянством места нуля, которое не должно колебаться более чем на удвоенную точность отсчитывания по вертикальному кругу. Превышения вычисляют по каждой стороне сети в прямом и обратном направлениях. Расхождение между прямым и обратным значе-

ниями превышения не должно быть более 4 см на каждые 100 м горизонтального проложения. Среднее из прямых и обратных превышений выписывают на схематический чертеж со знаком, соответствующим прямому направлению хода. Превышения определяют в такой последовательности, чтобы был обеспечен контроль вычислений. Для этого точки геометрической сети обычно связывают между собой так, чтобы образовалась сеть треугольников или многоугольников, а иногда тех и других.

## § XI.6. Мензульные ходы

В закрытой местности (лесной, застроенной и др.) съемочное обоснование можно создавать также проложением *мензульных ходов*. Ход прокладывается между двумя точками, положение которых определено в плановом и высотном отношении. Количество точек хода и его длина устанавливаются с учетом сложности рельефа (см. табл. XI.1).

В зависимости от способа ориентирования планшета различают мензульные ходы с ориентированием по прочерченным линиям и по буссоли (буссольные мензульные ходы).

Работу по проложению мензульного хода начинают на пункте съемочного обоснования. На начальной точке  $A$  мензульного обоснования мензулу центрируют, горизонтируют и ориентируют по известной линии  $AM$  и всем видимым пунктам обоснования, а затем прикладывают кипрегель к точке  $a$  плана и наводят трубу на первую точку хода местности  $B$ , прочерчивают вдоль скошенного ребра линейки линию  $ab$ , продолжая ее за рамку съемочного планшета (рис. XI.16). Измеряют кипрегелем расстояние  $AB$  и превышение  $h_{ab}$ . Затем мензулу переносят в точку  $B$ , ориентируют планшет по линии  $ba$ . Вторично измеряют то же самое расстояние  $BA$  и превышение  $h_{ba}$ . Если расстояние между точками мензульного хода, измеренное в прямом и обратном направлениях, не превышает  $1/200$  длины стороны хода, а превышение 10 см при длине линии до 250 м, вычисляют среднее расстояние и среднее превышение. Определенное среднее расстояние стороны  $ab$  откладывают на планшете по масштабу на прочерченной линии и накалывают точку. Прикладывают кипрегель к точке  $b$  пла-

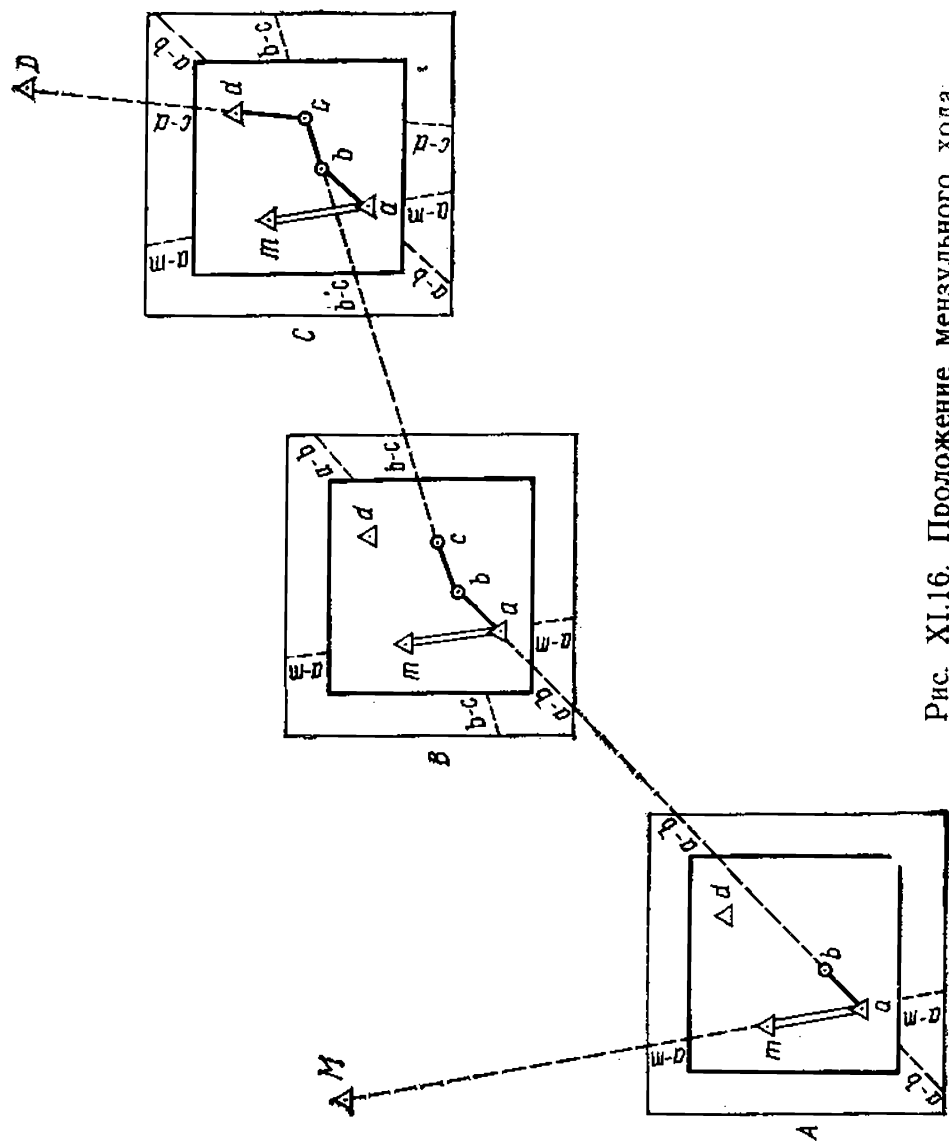


Рис. XI.16. Проложение мензульного хода

на, наводят трубу на следующую точку хода  $C$  и прочерчивают линию  $bc$ . Такую работу продолжают до конечной точки  $D$ . Отложив на планшете последнюю точку, выявляют невязку в периметре хода. Если относительная невязка в мензультном ходе менее  $1/300$  общей длины хода, а линейная невязка не превышает 0,8 мм на плане, то ее распределяют по методу параллельных линий.

Высоты точек мензультного хода определяют кипрегелем или теодолитом при двух положениях вертикального круга. При работе номограммным кипрегелем дважды меняют высоту визирования при  $KЛ$ . Высотная невязка в мензультном ходе  $[f_h = \sum h_{изм} - (H_{кон} - H_{нач})]$ , где  $\sum h_{изм}$  — алгебраическая сумма измеренных превышений по ходу;  $H_{кон}$  и  $H_{нач}$  — соответственно известные отметки конечной и начальной точек хода] не должна превышать допусков, приведенных в табл. XI.2.

Таблица XI.2

Сечение рельефа, м	Допустимая невязка, м
0,25	0,08
0,5	0,15
1,0	0,20
2,0	0,50
5,0	1,0

Если невязка допустима, ее распределяют на превышения пропорционально квадратам расстояний, а затем по исправленным превышениям вычисляют высоты точек мензультного хода. Чтобы получить необходимую точность положения точек мензультных ходов, допускают длины ходов не более 1000, 500 и 250 м при съемке в масштабах соответственно 1:5000, 1:2000 и 1:1000. При съемке в масштабе 1:500 расстояния в мензультных ходах измеряются лентой или дальномерными насадками.

## § XI.7. Переходные точки

*Переходными* называют дополнительные точки, используемые для съемки территории, которая не может быть заснята с точек основного съемочного обоснования. Места для переходных точек выбирают так, чтобы с каждой из них можно было снять окружающую мест-

ность в радиусе до 300 м. Переходные точки мензульных ходов определяют прямыми, обратными и комбинированными засечками, а также промерами лентой по линии створа между пунктами геодезической основы.

Высоты переходных точек мензульных ходов и съемочных пикетов при съемках с сечением рельефа 0,25, 0,5 и 1 м определяют геометрическим нивелированием, а при съемках сечением 2 и 5 м высоты можно определять методом тригонометрического нивелирования.

С полученной полярным способом переходной точки разрешается определять таким же способом еще одну переходную точку.

## § XI.8. Съемка ситуации и рельефа

Съемка ситуации и рельефа проводится со всех точек съемочного обоснования, а также со всех пунктов триангуляции или полигонометрии, имеющих на планшете. Рельеф снимается одновременно со съемкой ситуации. Съемка характерных точек рельефа, контуров угодий и элементов ситуации ведется, как правило, полярным способом с определением расстояний и превышений от станции до пикетных точек при помощи номограммы кипрегеля. Метод выбора съемочных точек тот же, что и при тахеометрической съемке. Вместо измерения полярного угла в данном случае направление на снимаемую точку представлено скошенным краем линейки кипрегеля, вдоль которого откладывают горизонтальное расстояние до точки.

Для съемки контура местности  $A, B, C, D$  (рис. XI.17) надо линейку кипрегеля приложить к точке  $m$  станции на плане, навести трубу кипрегеля на рейку, установленную в точке  $A$ , определить по номограмме расстояние  $s$ , по ребру линейки в масштабе от точки  $m$  отложить расстояние  $s$  и получить на плане точку  $a$ . Одновременно с расстоянием по номограмме определяют и превышение определяемой точки. Отметка пикетной точки  $a$  подписывается на плане. Аналогично проводят съемку точек  $B, C, D$  и т. д.

На плане точки контура соединяют сплошной линией. Высоты определяют и подписывают на характерных точках и линиях рельефа: вершинах, водоразделах, перегибах скатов, седловинах, тальвегах, разветвлениях, вершинах и устьях лощин, в котловинах, ямах, ворон-



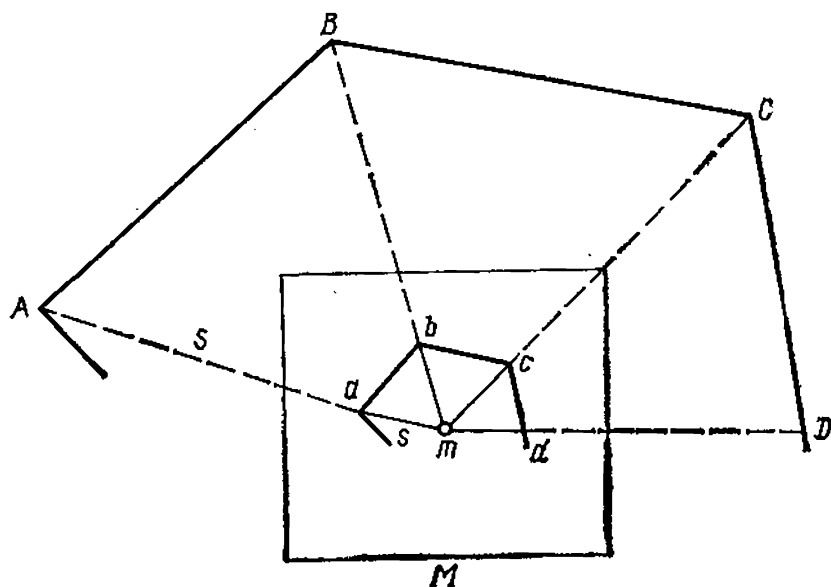


Рис. XI.17. Определение положения пикетов при плановой съемке

ках и по краям их, у рек, ручьев на уровне воды (урезы), у подошв возвышенностей и т. д.

Урезы воды определяют дважды горизонтальным или наклонным лучом в зависимости от угла наклона местности и записывают в журнал и на план с указанием даты определения. Урезы определяются на плане через каждые 10—12 см.

В зависимости от принятого сечения рельефа расстояния между пикетами и расстояния от прибора до рейки не должны быть больше принятых в табл. X.3. При сечении рельефа 1 м и более высоты пикетов вычисляют до 0,01 м и выписывают на план с округлением до 0,1 м. При сечениях рельефа меньше 1 м высоты пикетов вычисляют и выписывают на план до 0,01 м.

На каждой точке снимают и рисуют на оригинале планшета только ту часть рельефа и ситуации снимаемого участка, которая видна непосредственно с данной станции (не более 250—300 м).

По нанесенным на планшет пикетным точкам выполняют интерполирование и проводят горизонтالي. Эта работа ведется на месте стояния инструмента в поле. Проведенные горизонтали сличают с рельефом местности.

Если основные формы рельефа горизонталями не выражены, проводят полугоризонтالي и вспомогательные

горизонтالي на произвольной высоте. На участках с плоским рельефом ( $v=0,5^\circ$ ) горизонтали можно заменить отметками точек.

По окончании полевых работ на планшете вычерчивают тушью соответствующими условными знаками для топографического плана в масштабе съемки все заснятые в поле объекты ситуации и рельефа. Вычерчивание планшета начинают с мелких контуров и внесмасштабных условных знаков, с населенных пунктов и подписей их названий. Затем вычерчивают дороги, реки, ситуацию, элементы рельефа, изображаемые условными знаками, и горизонтали.

Над северной стороной рамки указывают номенклатуру листа плана (карты), год съемки, а под южной стороной рамки — численный, именованный и линейный масштабы, высоту сечения рельефа.

Планшеты мензульной съемки вычерчивают, строго соблюдая требования к условным знакам. Все полевые оригиналы мензульной съемки вычерчивают в туши в следующих цветах: контуры, подписи и зарамочное оформление — черным, рельеф — коричневым, гидрография и солончаки — зеленым, водные пространства — голубым, площади с твердым покрытием (асфальт и др.) — розовым.

Если оригиналы топографической съемки не вычерчиваются в полевых условиях в туши, во избежание ошибок при камеральном вычерчивании планшетов мензульной съемки составляют кальки высот и контуров. В случаях малой контурности и несложного рельефа разрешается высоты и контуры нанести на одну кальку. На кальку контуров наносят точки геодезической основы и съемочного обоснования, отдельные предметы и контуры ситуации, элементы рельефа, не изображающиеся в горизонталях (промоины, обрывы и др.). Вместо условных знаков можно писать названия угодий.

На кальку высот наносят опорные и съемочные точки с надписями их названий или номеров и высот, пикетные точки с отметками, особенности рельефа (орографические линии).

Стороны замкнутых высотных полигонов съемочного обоснования показывают красной тушью, а геометрической сети и основных ходов — черной.

## ГЛАВА XII

### ДРУГИЕ ВИДЫ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

#### § XII.1. Нивелирование поверхности для построения крупномасштабного плана

*Нивелирование поверхности* применяют при крупномасштабной съемке местности для изображения рельефа с малой высотой сечения. Крупномасштабные планы необходимы для составления проектов строительных площадок, осушения болот, детального обследования поймы реки и др. Выбор способа нивелирования поверхности зависит от характера снимаемой территории и назначения работ.

На равнинной или слегка всхолмленной местности применяют *способ параллельных линий*. Он состоит в проложении теодолитных и нивелирных ходов с поперечниками по характерным линиям рельефа.

На открытых участках со слабо выраженным рельефом применяют *способ нивелирования поверхности по квадратам*. Размеры разбиваемых на местности квадратов (со стороной от 10 до 100 м) зависят от характера рельефа снимаемой территории, назначения съемки, заданной высоты сечения, а также площади участка. Порядок построения сети квадратов следующий.

Выбирают основную линию  $AB_1$  (рис. XII.1) и устанавливают в точке  $B_1$  веху. С помощью теодолита строят прямой угол  $B_1AD_1$ . Закрепив точку  $D_1$  вехой, откладывают на сторонах угла от точки  $A$  землемерной лентой или рулеткой отрезки заданной длины — стороны квадратов. Полученные точки закрепляют колышками, забитыми вровень с землей, и сторожками с подписью номеров точек. Установив в точке  $A$  веху, переносят теодолит в точку  $B$  — концевую точку разбивки квадратов — и строят прямой угол  $ABC$ . На стороне угла  $BC$  также маркируют отрезки заданной длины. Аналогично разбивают на отрезки линию  $CD$ . Створным методом находят положения всех внутренних вершин квадратов и закрепляют их колышками. При разбивке квадратов параллельно выполняют съемку ситуации, обычно несложного характера.

На небольших участках вместо теодолита может быть применен нивелир с горизонтальным кругом

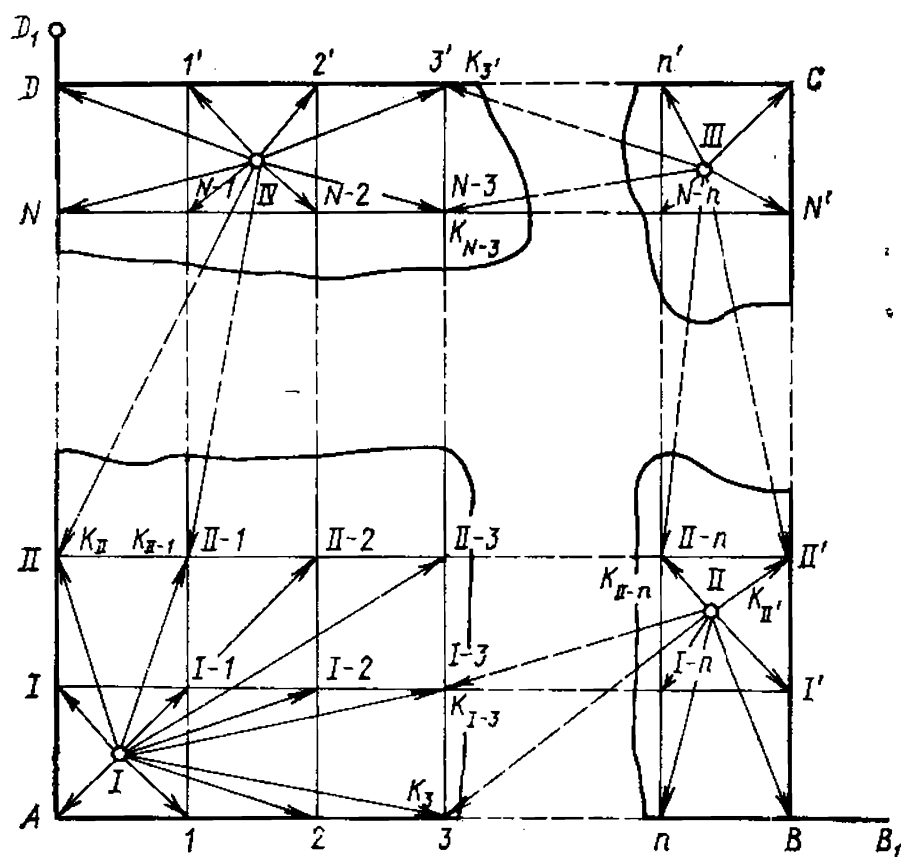


Рис. XII.1. Схема сети квадратов и направлений нивелирования с отдельных станций

(Н10Л, Н10КЛ и др.). Нивелирование квадратов может быть выполнено с одной станции техническим нивелированием по двусторонним рейкам, а отметки вершин вычислены по горизонту прибора, переданному с пункта государственной нивелирной сети.

При нивелировании с нескольких станций для ряда точек (на рис. XII.1 они обозначены буквой *K*) берут отсчеты по рейкам с двух соседних станций. Такие дважды отnivelированные точки называются *связующими*.

Отсчеты по рейкам на связующих точках берут по черной и красной сторонам реек, на остальных вершинах квадратов (называемых промежуточными точками) — только по черной стороне. Журналом служит схема квадратов (рис. XII.2), на которой у соответствующих вершин записывают отсчеты. Перегибы скатов и характерные точки рельефа отмечают плюсовыми точками, положение которых определяют способом ординат относительно сторон квадратов.

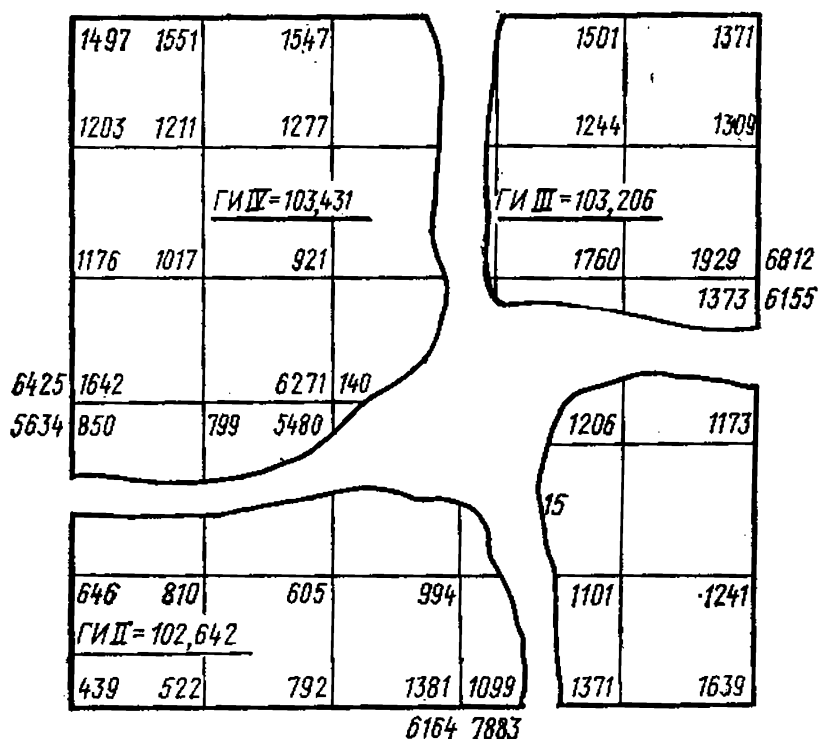


Рис. XII.2. Журнал нивелирования поверхности

Связующие точки образуют замкнутый нивелирный полигон, предельную погрешность которого определяют по формуле

$$f_h = 30 \sqrt{L} \text{ (мм)}.$$

После уравнивания превышений хода вычисляют отметки высоты связующих точек. Предварительно для одной из них определяют высоту относительно ближайшего нивелирного знака. Эта высота может быть условной.

Отметки промежуточных точек вычисляют способом горизонта прибора. Горизонт прибора вычисляют, прибавив к отметке связующей точки отсчет по стоявшей на ней рейке. Полученные результаты подписывают у соответствующих вершин на вычерченном в заданном масштабе плане квадратов с нанесенной ситуацией. Стороны квадратов интерполируют по заданной высоте сечения рельефа и проводят горизонтали (рис. XII.3).

## § XII.2. Буссольная съемка

Буссольную съемку применяют в географических исследованиях для получения планов малонаселенных

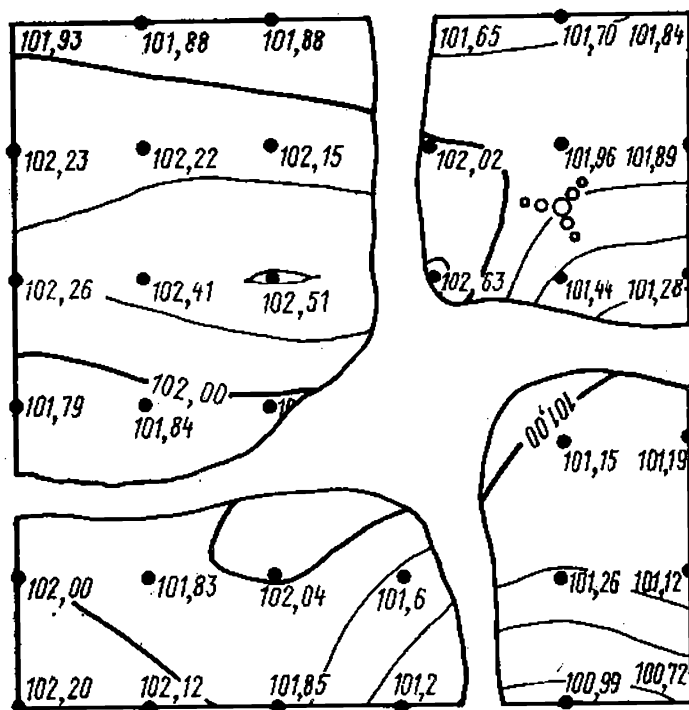


Рис. XII.3. План участка по данным нивелирования поверхности

и залесенных территорий. Ее называют *полуинструментальной*, так как для съемки используют только ручные буссоли и землемерные ленты (рулетки). Буссоли служат для измерения магнитных азимутов направлений на местные предметы. Удобно использовать для этого буссоли с усовершенствованной системой отсчета и приспособлением для визирования.

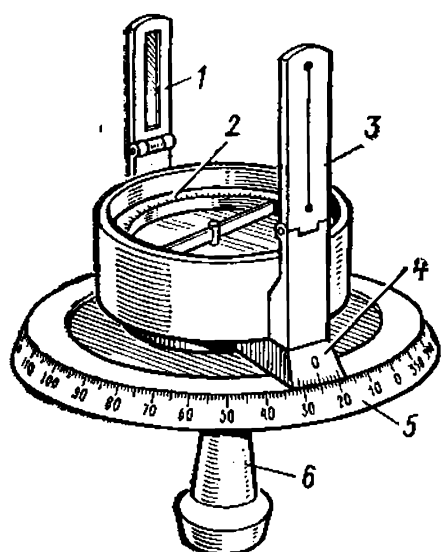


Рис. XII.4. Буссоль Стефана

Буссоль Стефана (рис. XII.4) снабжена для визирования двумя складными диоптрами 1 и 3, укрепленными на выступах основания алидады, имеющей диаметрально противоположные друг другу верньеры 4. Устройство прибора обеспечивает свободное вращение алидады с буссолью относительно лимба 5. На кольцевой поверхности корпуса буссоли нанесена шкала румбов 2. Прибор навинчивается на втулку 6. За втул-

ку прибор держат в руке во время работы или надевают втулку на кол.

Для приведения буссоли в рабочее положение открепляют арретир и дают остановиться магнитной стрелке, затем совмещают с ее концами нулевой диаметр кольца румбов. Измерения удобно начинать с нулевого отсчета по лимбу, тогда процесс измерения сводится к визированию на местный предмет сквозь щель диоптра 3 нитью диоптра 1 и снятия отсчетов по верньерам. Перед началом работ буссоль проверяют и при необходимости юстируют (см. § II.2). Измерение длин линий землемерной лентой подробно рассмотрено в гл. IV.

Буссольную съемку начинают с построения обоснования в виде буссольного полигона или хода, с точек которого производится съемка. В процессе рекогносцировки подлежащего съемке участка намечают точки полигона. Точки выбирают так, чтобы соединяющие их линии проходили приблизительно по границам снимаемого участка. Точки хода закрепляют колышками и вехами для обеспечения взаимной видимости концов линии.

Магнитные азимуты и длины линий полигона измеряют в прямом и обратном направлениях, результаты записывают в журнале. Одновременно с измерением линий азимутов с точек и линий полигона ведут съемку местных предметов. С точек полигона съемку проводят способом азимутальных засечек (основной метод), а с линий полигона (в процессе измерения длин линий) — способом перпендикуляров (см. § IX.3). При съемке составляют абрис со схематическим изображением местных предметов, с подписью измеренных расстояний и магнитных азимутов.

Для составления плана буссольной съемки наносят точки обоснования (точки полигона) по магнитным румбам и длинам линий в масштабе плана.

Наименьшая погрешность построения полигона достигается следующим образом. Посередине листа прочерчивают вертикальную линию, принимаемую за направление магнитного меридиана. Намечают положение точки 1 (рис. XII.5) таким образом, чтобы весь полигон разместился посередине листа (для этого целесообразно построить предварительно схему полигона в заданном масштабе). Для прочерчивания направления стороны 1—2 в средней части вертикальной линии намечают точку О, прикладывают к линии транспортир

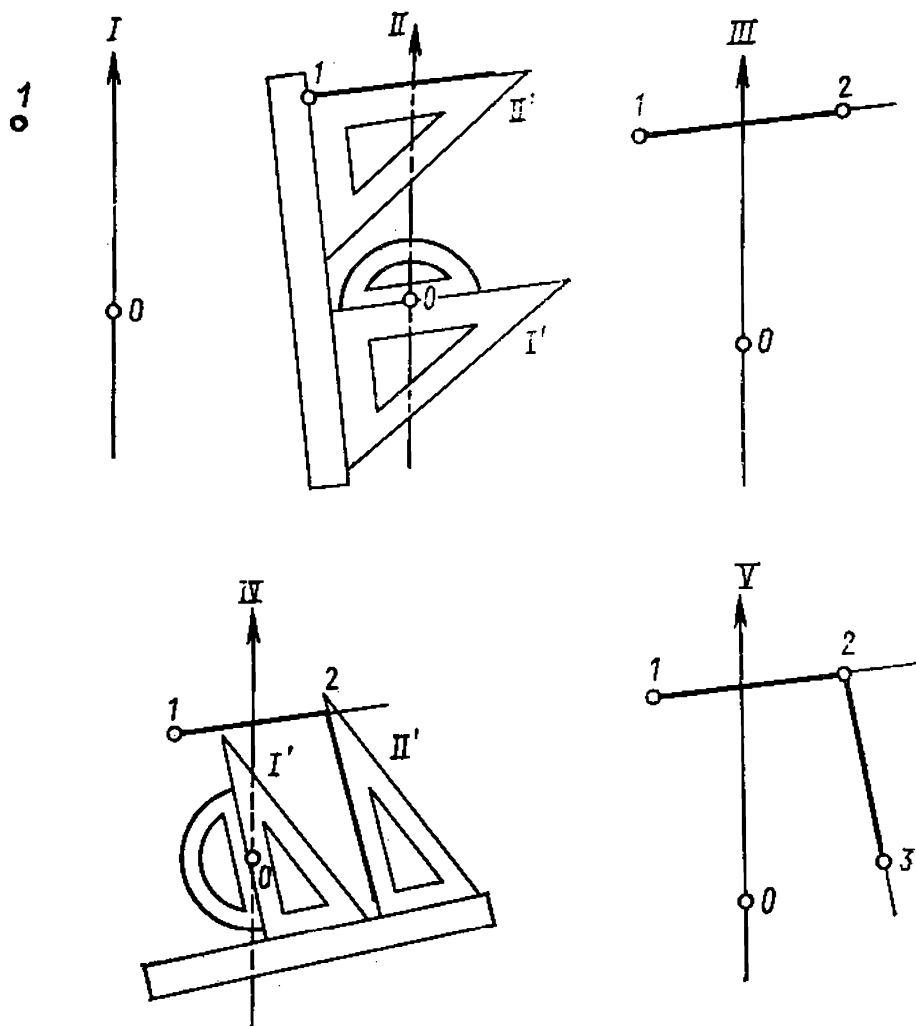


Рис. XII.5. Построение полигона по румбам и длинам линий так, чтобы его центр совместился с точкой  $O$ , поворачивают транспортир вокруг точки  $O$  до тех пор, пока отсчет по его дуге, соответствующий величине откладываемого румба, не совместится с вертикальной линией. С помощью линейки и передвигаемого по ней треугольника (из положения  $I'$  в положение  $II'$ ) проводят карандашом направление к точке  $1$  (рис. XII.5,  $I$ ,  $II$ ).

На прочерченной линии откладывают в масштабе построения длину стороны  $1-2$ , получают таким образом положение точки  $2$  (рис. XII.5,  $III$ ). Затем указанным способом наносят линии  $2-3$  (рис. XII.5,  $IV$  и  $V$ ) и все последующие стороны полигона.

Из-за погрешностей в проведении направлений и откладывании длин сторон возможно несовпадение начальной (точки  $1$ ) и конечной (точки  $1'$ ) точек полигона. Величина несовпадения называется *графической невязкой*. Она считается допустимой, если ее длина в мас-



штабе построения не превышает  $\frac{1}{200}$ — $\frac{1}{300}$  периметра полигона. [Например, при построении полигона периметром 940 м в масштабе 1:1000 графическая невязка составила 2 мм. В указанном масштабе она равна 2 м;  $\frac{1}{200}$  периметра равна 4,7 м ( $940 \text{ м} : 200 = 4,7 \text{ м}$ ). Следовательно, полученная невязка не превышает допустимую.]

Исправление положения точек полигона (распределение графической невязки) проводят *способом параллельных линий*. Для этого на прочерченной горизонтальной линии в произвольном масштабе откладывают стороны полигона (рис. XII.6). Из точки 1 восставляют перпендикуляр, равный по длине невязке в масштабе построения полигона, и прочерчивают прямую 1—1'. Из каждой точки, намеченной на прямой 1—1, восставляют перпендикуляры до пересечения с линией 1—1'. Их величины между прямыми 1—1 и 1—1' являются графическими поправками в положения соответствующих точек полигона на плане.

Чтобы исправить построенный полигон, через каждую его точку проводят линии, параллельные невязке 1—1'. Вдоль этих линий откладывают графические поправки в направлении, по которому следует сместить точку 1' до ее совпадения с точкой 1. После этого выполняют чистовое оформление построения (на рис. XII.6 исправленный полигон дан утолщенной линией). Затем при помощи транспортира производится накладка на план элементов ситуации определенными азимутальными засечками. При этом нуль-пункт транспортира устанавливается в точку полигона, с которой производилась засечка, а ребро транспортира должно быть параллельно вертикальной линии, прочерченной посередине листа бумаги. Местные предметы, снятые способом перпендикуляров, наносят на план при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки, сообразуясь с данными абриса.

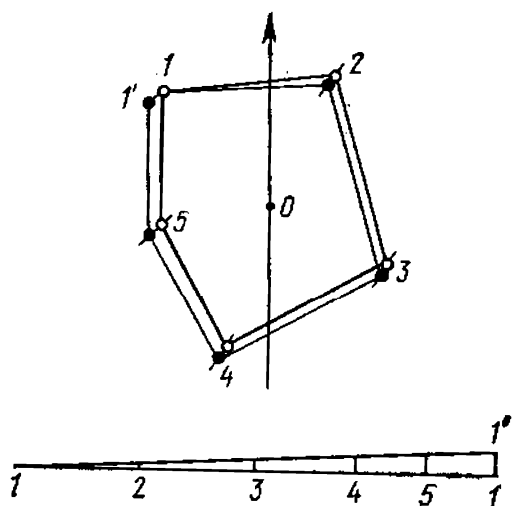


Рис. XII.6. Распределение графической невязки полигона

### § XII.3. Глазомерная съемка

*Глазомерной съемкой* называют упрощенную топографическую съемку для быстрого получения наглядного, но приближенного по точности плана участка местности. Такие планы составляются в процессе географических обследований местности, на которую отсутствуют карты, для составления плана организации работ на участке и для других целей. Навыки глазомерной съемки полезны для составления абриса участка (например, при тахеометрической съемке).

Глазомерная съемка может осуществляться по «скелету», составленному со старой или мелкомасштабной карты (например, по выкопировке с карты основных линий дорог, границ прямолинейных контуров) и на чистой основе.

Для глазомерной съемки необходимы компас, или малая буссоль, и трехгранная визирная линейка. Съемку выполняют на планшете-папке или листе фанеры (картона) размерами  $30 \times 40$  см. Элементы ситуации изображают в условных знаках соответствующего масштаба.

В процессе подготовки к съемке необходимо: а) прикрепить компас в углу планшета-папки или листа фанеры так, чтобы диаметр его лимба  $0—180^\circ$  был расположен параллельно одной из сторон листа бумаги, наклеенного на планшет; б) построить на планшете (в южной его части) масштаб шагов.

*Масштабом шагов* называют линейный масштаб, по которому на планшете откладывают расстояние, измеренное на местности шагами. Цену основания масштаба выражают не в метрах, а в шагах. Например, нужно построить масштаб шагов, соответствующий численному масштабу  $1:5000$ . Для упрощения счета шаги считают парами. Пара шагов (п. ш.) человека среднего роста равна 1,5 м. Приняв основание масштаба равным 50 п. ш., отыщем его метрическое выражение:  $1,5 \text{ м} \times 50 \text{ п. ш.} = 75 \text{ м}$ . Следовательно, на плане масштаба  $1:5000$  основание масштаба шагов составит 1,5 см. Пользуются масштабом шагов аналогично линейному метрическому масштабу.

Для повышения точности съемки определяют цену деления пары шагов съемщика. Для этого на ровной местности при помощи рулетки отмеряют 100 м и по

результатам многократного прохождения отмеренного отрезка вычисляют среднее значение личной пары шагов.

Глазомерную съемку начинают с рекогносцировки снимаемого участка, в процессе которой намечают точки и линии обоснования съемки. Стараются намечать линии по дорогам, просекам, линиям связи, контурным линиям и другим элементам, а точки — по выдающимся ориентирам, которыми служат отдельные деревья, кусты, столбы, перекрестки и др.

Съемку ведут в процессе обхода участка по намеченным во время рекогносцировки линиям, называемым *ходовыми*. Точки поворота ходовых линий играют роль съемочных точек или станций.

Положение первой станции намечают на планшете так, чтобы снимаемый участок удобно разместился на плане. Ходовую линию прочерчивают после более тщательного ориентирования планшета по компасу. Длину ходовой линии измеряют по прямой от станции к станции парами шагов. Расположенные на линии элементы ситуации наносят на план по результатам непосредственного промера, а находящиеся вблизи от нее снимают способом перпендикуляров.

Съемку на станции производят преимущественно полярным способом или способом кругового визирования. Работу начинают с ориентирования планшета, выполняемого по ходовым линиям (см. § XI.4), или при помощи компаса, затем приставляют визирную линейку скошенным краем к изображению станции на плане и визируют по верхнему ребру линейки на предмет. Расстояния до элементов ситуации, определяемые «на глаз» или парами шагов, откладывают по краю линейки циркулем-измерителем, пользуясь соответственно линейным метрическим или шаговым масштабам.

Выделяющиеся элементы ситуации (высоковольтные столбы, башни, пункты триангуляции) снимают с двух-трех станций прямой угловой засечкой. Элементы ситуации могут быть нанесены на план также обратной засечкой.

При глазомерной съемке наносят *способом заметок* (условного изображения) элементы рельефа, имеющие значение ориентиров. Например, вершину изображают одной горизонталью, обрисовывающей ее форму, тальвег и водораздел — линиями, показывающими их направление в натуре, седловину — пунктиром, и т. д.

Обход участка заканчивают в исходной точке. При определении направления последней ходовой линии и прочерчивании ее на планшете может быть графическое несовпадение первой станции, нанесенной до и после обхода, которое называют *невязкой хода*. Если невязка не превышает  $1:50$  длины хода, ею пренебрегают. Если невязка больше  $1:50$ , вводят поправки в положение станций на планшете способом параллельных линий (см. § XII.2).

Снятые с соответствующих станций местные предметы также смещают по параллельным линиям, но «на глаз». На рис. XII.7 представлен рабочий планшет глазомерной съемки.

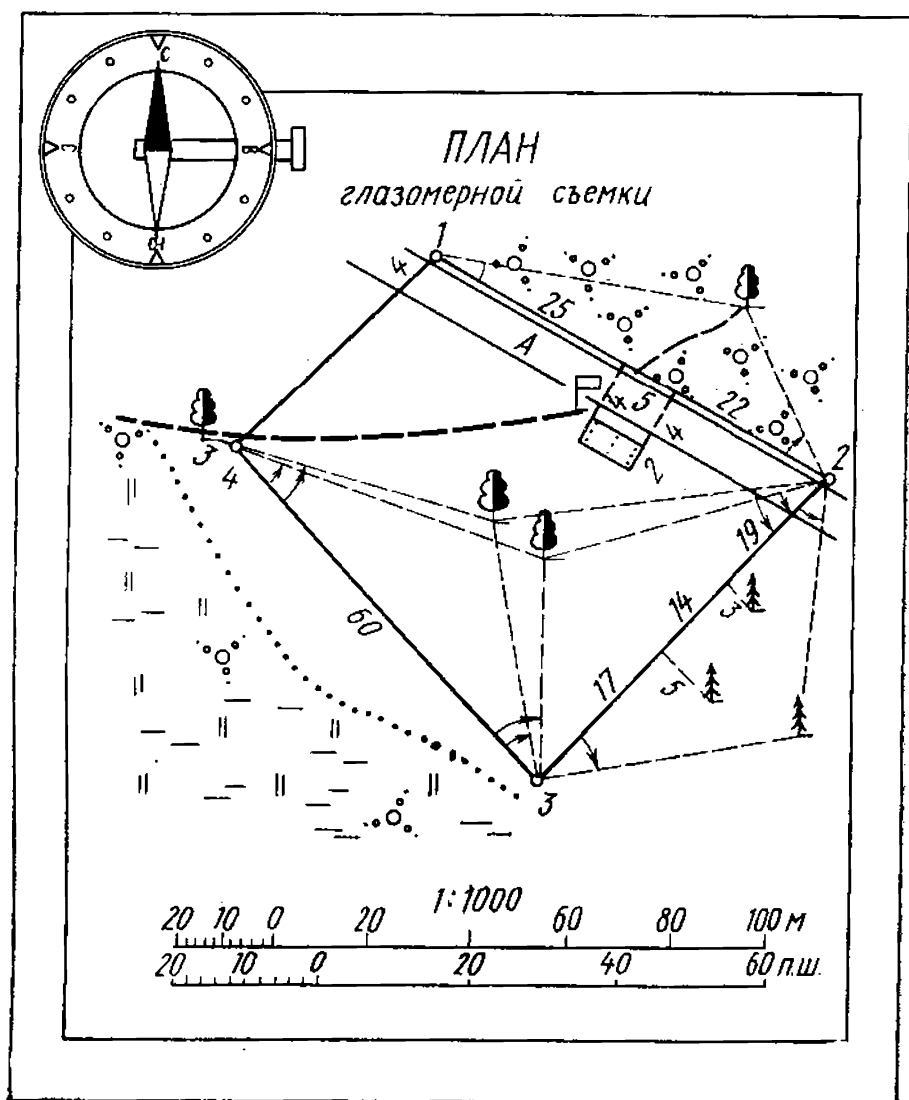


Рис. XII.7. Планшет глазомерной съемки

## § XII.4. Топографическая съемка шельфа

Особенности *топографической съемки шельфа* обусловлены в первую очередь тем, что поверхность, подлежащая съемке, покрыта слоем воды. Следовательно, невозможно применение обычных (наземных) методов съемки. Водная толща мало проницаема для световых волн и совсем не проницаема для радиоволн.

Комплекс работ по съемке шельфа включает: создание геодезической опорной сети, уровенные наблюдения, съемку донной поверхности. Схема топографического изучения шельфа представляет собой сеть примерно одинаково удаленных одна от другой точек, пространственные координаты которых определяют в процессе съемки. Положение каждой из точек сети не совпадает с характерными формами скрытого от глаз человека рельефа, однако закономерности изменения их характеристик отражают в целом достаточно верную картину особенностей дна. Задача съемочных работ сводится к определению планового положения отдельных точек на водной поверхности и измерению в этих точках глубин относительно так называемой мгновенной (рабочей) уровенной поверхности. Такими точками являются места нахождения съемочного судна или другого технического средства, на котором установлены необходимые для работы приборы. Положение точек определяется направлениями движения судна (галсом), их частотой.

Для определения плановых координат съемочного судна на водной поверхности (акватории) применяют различные радиогеодезические системы (см. § V.5). При съемке прибрежной части шельфа допускается применение теодолитов различных типов и некоторых других средств, позволяющих определять положение судна прямой и обратной засечками. Для определения глубин используют главным образом различные гидроакустические приборы, иногда ручные лоты и др.

Плановое съемочное обоснование представляет собой сеть опорных точек в прибрежной зоне и на воде, где они закрепляются геодезическими вехами или знаками и другими способами. Места таких точек выбираются на мелководьях, отдельных скалах и в других местах, где могут быть установлены также приборы для регистрации уровня водной поверхности. Данные этих приборов позволяют определить значение, от кото-

рого затем отсчитывают отметки дна (мгновенный уровень). Точки уровенных наблюдений составляют высотное обоснование съемки шельфа. Отметки уровней в точках привязаны методом геометрического нивелирования к государственной нивелирной сети. Это позволяет вычислять отметки дна в Балтийской системе высот.

Съемочные работы шельфа включают: съемку рельефа дна, съемку подводной и надводной ситуаций, съемку донных отложений (грунтов) и растительности. Основной метод съемки рельефа — *метод промера*. Частота промеров зависит от применяемых приборов, характера подводного рельефа, масштаба съемки. Если применяются приборы, непрерывно регистрирующие профиль дна по пути движения судна, устанавливается только межгалсовое расстояние. При измерении глубин ручным лотом устанавливают также расстояния между точками промеров по направлению галсов. По взаимному расположению и отношению к опорным пунктам различают галсы поперечные, косые и продольные (рис. XII.8, соответственно *а*, *б*, *в*). В процессе движения съемочного судна через примерно равные промежутки времени определяют его координаты. Временные промежутки устанавливают с таким расчетом, чтобы точки определения местоположения судна отстояли на карте не более чем на 4 см друг от друга. Эти же моменты времени отмечают на эхограммах (записях дна по данным акустического прибора). К акустическим приборам, используемым при съемке шельфа, относятся эхолоты, метрические гидролокаторы и др. Рассмотрим принцип действия эхолота.

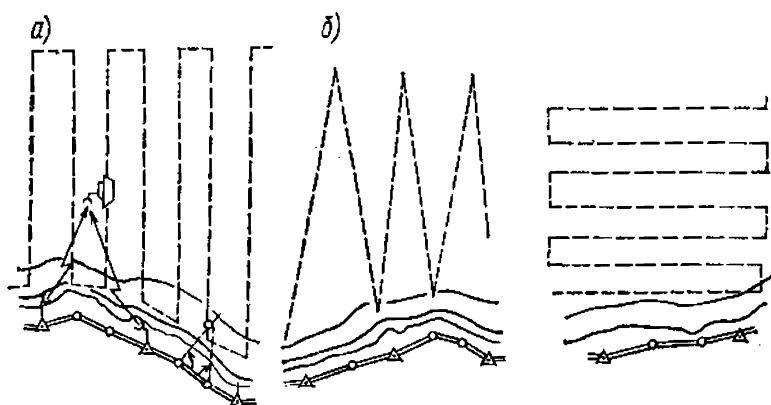


Рис. XII.8. Виды галсов

Если в точке  $A$  (рис. XII.9) расположить излучатель звука, а в точке  $B$  — приемник, то отметка глубины может быть получена по формуле

$$H = \sqrt{\left(\frac{v_{зв}\tau}{2}\right)^2 - L^2},$$

где  $v_{зв}$  — скорость распространения звука в воде (приблизительно 1500 м/с);  $\tau$  — время между посылкой и приемом звукового сигнала,  $v\tau = AC + CB$ ;  $L$  — половина расстояния между излучателем и приемником.

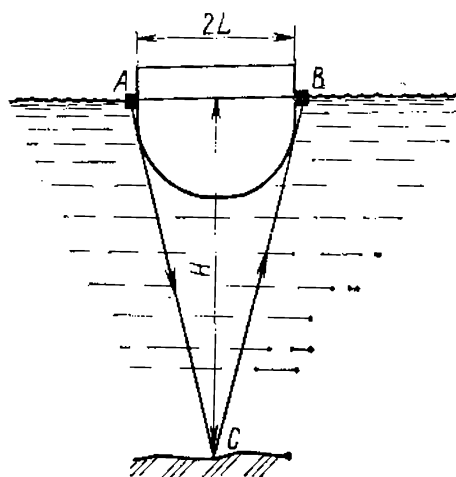


Рис. XII.9. Принцип действия эхолота

Съемка рельефа дна на мелководье может быть выполнена с помощью аэрофотосъемки.

Съемка донных отложений и растительности выполняется, как правило, методом отбора проб грунтодобывающими приборами. Частота отбора проб зависит от степени однородности грунта, народнохозяйственного значения района съемки. Определение характера донных отложений и растительности может быть проведено с помощью фотосъемки, телевидения и др. Дополнительно используются водолазные обследования на характерных участках. С помощью гидролокаторов определяют положение подводных объектов и коммуникаций.

## ГЛАВА XIII

### ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА МЕСТНОСТИ

#### § XIII.1. Методы фототопографических работ

*Фототопография* — дисциплина, изучающая способы создания топографических карт и планов с использованием материалов фотосъемки. Фотографирование местности может быть выполнено или с самолета, или с точек земной поверхности. В связи с этим различают два вида фототопографических съемок — *аэрофототопографическую* и *наземную фототопографическую* (или *фототеодолитную*).

**Аэрофототопографическая съемка.** Это основная съемка государственного картографирования больших территорий. В отличие от мензульной и наземной фототопографической съемки она наиболее полно отвечает современным высоким требованиям, предъявляемым к картографированию больших территорий. Аэрофототопографическая съемка кроме топографо-геодезического производства находит широкое применение при географических и гидрологических исследованиях, в геологии, при землеустроительных и лесоустроительных работах, в строительстве.

В комплекс работ, составляющих аэрофототопографическую съемку, входят: аэрофотосъемка, топографо-геодезические и фотограмметрические работы. Область знаний, изучающая способы определения размеров, формы и пространственное положение предмета по фотоснимкам, называется *фотограмметрией*. Фотограмметрические методы измерения фотоснимков являются теоретической основой фототопографии.

**Наземная фототопографическая съемка.** Она применяется при картографировании небольших участков, главным образом горных районов, которые на наземных снимках изображаются лучше, чем на аэроснимках. Наземная съемка применяется также при изучении движения ледников, оползней, при съемке карьеров и для решения ряда инженерных задач. По методам получения и обработки снимков местности и по характеру создаваемой продукции различают следующие виды съемок:

1. Комбинированная съемка.
2. Стереотопографическая съемка.
3. Наземная фототопографическая съемка.

## **§ XIII.2. Комбинированная аэрофототопографическая съемка**

Комбинированная аэрофототопографическая съемка представляет собой сочетание фотограмметрической обработки одиночного аэроснимка с мензульной съемкой. Контурную часть карты получают по аэроснимкам путем создания топографического фотоплана, а изображение рельефа местности наносится на фотоплан в результате измерений на местности.

Комбинированная съемка имеет значительное преимущество перед топографической съемкой, так как



большой объем работ выполняется в камеральных условиях, а оставшая часть, приходящаяся на долю полевых работ, облегчается благодаря наличию фотоплана. Комбинированный метод применяется для съемки равнинных районов со слабо выраженным рельефом местности. Общая технологическая схема комбинированного способа аэрофототопографической съемки содержит ряд технологических процессов: 1) аэрофотосъемка; 2) планово-высотная привязка аэроснимков; 3) фотограмметрическое сгущение опорной сети; 4) изготовление фотоплана; 5) создание высотного съемочного обоснования и съемка рельефа на фотопланах; 6) дешифрирование фотопланов.

**Аэрофотосъемка местности.** Она осуществляется с помощью специальных топографических аэрофотоаппаратов (АФА) — полностью автоматизированных приборов, управляемых электрическими командными приборами.

Во время съемочного полета включенный через командный прибор АФА автоматически осуществляет полный аэрофотосъемочный цикл: экспонирование (открытие и закрытие затвора АФА), перематывание пленки для нового кадра, выравнивание пленки в плоскость. В результате повторения цикла получается непрерывный аэрофильм, представляющий собой ряд смежных аэронегативов.

Аэросъемка участка местности производится по маршрутам, прокладываемым с запада на восток и обратно параллельно друг другу (рис. XIII. 1). Фотографирование местности осуществляется через определенные интервалы с таким расчетом, чтобы аэрофо-

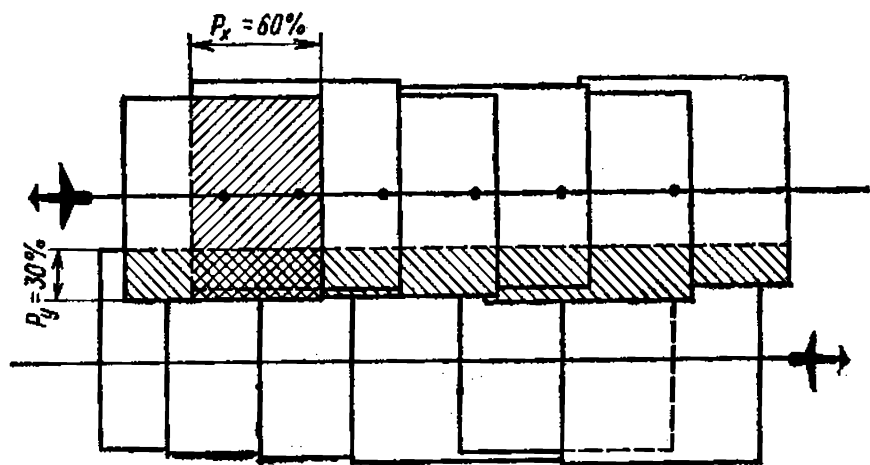


Рис. XIII.1. Схема аэросъемочного залета

тоснимки в маршруте перекрывали друг друга. Тогда на каждом следующем аэрофотоснимке частично изображается площадь, полученная на предыдущем. Перекрытие двух смежных снимков в одном маршруте называется *продольным перекрытием аэроснимков*  $p_x$ , его значение по условиям дальнейшей обработки снимков должно быть не менее 60% от размера снимка. Расстояние между маршрутами устанавливается таким образом, чтобы между снимками соседних маршрутов тоже получилось перекрытие, называемое *поперечным перекрытием снимков*  $p_y$ ; оно должно быть не менее 30%.

Если аэрофотосъемка выполняется при отвесном положении оптической оси АФА или ее отклонение от вертикали не превышает  $3^\circ$ , то такая съемка называется *плановой*, а аэрофотоснимки — *плановыми*. В настоящее время применяются гиросtabilизирующие установки для АФА, обеспечивающие отклонение оптической оси АФА от вертикали в пределах  $15—30'$ . Аэрофотоснимки, полученные АФА с гиросtabilизирующих установок, условно считаются горизонтальными, они позволяют выполнять ряд измерительных расчетов с достаточной точностью.

Аэроснимок, используемый для создания топографической карты, представляет собой *центральную проекцию местности*, в которой лучи от точек местности проходят через одну точку  $S$  — центр проекции и в пересечении с картинной плоскостью в позитивном или негативном изображении образуют проекции точек местности (рис. XIII. 2). Если участок местности го-

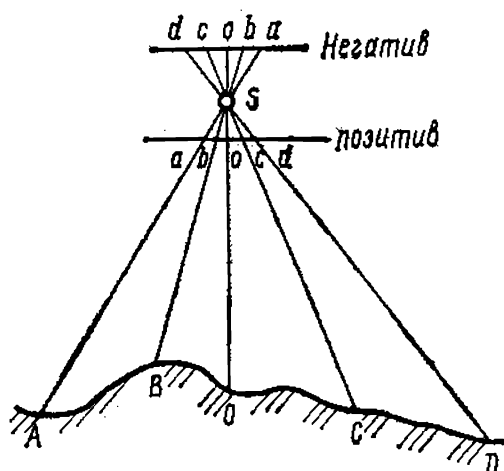


Рис. XIII. 2 Центральная проекция аэрофотоснимка

ризонтален и аэрофотосъемка производилась при отвесном положении оптической оси АФА, то изображение на аэроснимке будет подобно местности, и следовательно, совпадает с ортогональной проекцией — планом. В этом случае масштаб изображения местности на аэроснимке будет постоянен для всех частей аэроснимка и равен отно-

шению фокусного расстояния аэрофотокамеры  $f_h$  к высоте фотографирования, т. е.  $1/m = f/H$ . Масштаб перспективного снимка, полученного при значительном угле наклона оптической оси, заметно меняется в пределах аэроснимка. Удаленные линии местности имеют на аэроснимке более мелкий масштаб, чем линии, расположенные ближе к центру проектирования  $S$ . На плановом снимке, так же как и на перспективном, масштаб не постоянен, так как фотографируемые участки местности из-за неровностей земной поверхности и из-за угла наклона снимка в момент аэрофотосъемки изобразятся искаженно, т. е. точки аэроснимка получатся смещенными за счет влияния рельефа местности и угла наклона аэроснимка. Изображение местности на таких аэроснимках не подобно ортогональной проекции соответствующего участка местности и не является планом местности.

**Планово-высотная привязка аэроснимков.** Она заключается в определении координат и высот опознаков, необходимых для создания топографической карты.

*Плановый опознак* — это контурная точка, выбранная на местности и опознанная на аэрофотоснимке, для которой в результате геодезических измерений определены плановые координаты  $X$  и  $Y$ . Процесс определения плановых координат называется *плановой привязкой аэроснимков*.

Для создания высотной части карты по аэроснимкам на них должны быть точки с известными высотами. Определение высот этих точек — *высотных опознаков* — и опознавание их на аэрофотоснимках называется *высотной привязкой аэрофотоснимков*. В зависимости от способа создания топографических карт используют плановые, высотные или совмещенные планово-высотные опознаки. При комбинированном методе съемки плановые опознаки используют для создания фотопланов, высотные опознаки — для съемки рельефа в поле с помощью мензульной съемки.

В настоящее время производят не сплошную плановую привязку аэроснимков, а разреженную плановую привязку, т. е. плановые опознаки получают не на каждом аэроснимке, а через несколько, например через шесть-восемь снимков, а остальные опознаки для каждого аэроснимка получают в процессе камеральных работ путем планового фотограмметрического сгущения. Густота и размещение опознаков зависят от масштаба

создаваемой карты, масштаба аэрофотосъемки и фотограмметрического метода сгущения.

Плановые, высотные и совмещенные планово-высотные опознаки проектируют в середине поперечного перекрытия аэроснимков, так чтобы каждый опознак был расположен на наибольшем числе аэроснимков из обоих маршрутов. Если на местности нет в нужных местах контуров, опознаваемых на аэрофотоснимках, то применяют маркирование опорных точек. В этом случае опорные точки обозначают на поверхности земли различными геометрическими фигурами, чтобы их легко можно было распознать на аэрофотоснимках. Маркирование опорных точек выполняется до аэрофотосъемки.

При составлении проекта размещения планово-высотных опознаков необходимо учитывать способ геодезических измерений и последующих вычислений.

Основные методы плановой привязки аэроснимков — прямые, обратные и комбинированные засечки, причем количество направлений должно обеспечивать получение не менее двух независимых решений. Так, прямую засечку выполняют не менее чем с трех геодезических пунктов, обратную — не менее чем на четыре геодезических пункта. Для привязки можно использовать и полярный способ, метод триангуляции, в залесенной местности — теодолитные ходы.

Высоты опознаков при съемке с сечением 0,5 и 0,1 м определяют геометрическим нивелированием, при съемке с сечением 2,5 и 5,0 м допускается применение тригонометрического нивелирования. При выполнении высотной привязки опознаков определяют также отметки урезов воды в реках и водоемах.

**Фотограмметрическое сгущение опорной сети.** Это камеральный метод сгущения планового обоснования при помощи аэроснимков, называемый *фототриангуляцией*. Она может выполняться различными способами в зависимости от принятого метода создания топографических карт. При комбинированном методе создания карт выполняется плановая или плоскостная фототриангуляция, в результате которой определяется плановое положение трансформационных точек, необходимых для трансформирования аэроснимков и создания по аэроснимкам фотопланов.

Для того чтобы использовать плановые аэрофотоснимки для создания топографических карт, необходи-

мо устранить на аэроснимках искажения точек, вызванные углом наклона оптической оси, т. е. преобразовать наклонные аэроснимки в горизонтальные. Одним из способов устранения искажений планового аэрофотоснимка является *трансформирование аэрофотоснимков*. Задача трансформирования — исключить влияние угла наклона аэроснимка и привести все снимки к масштабу составляемого плана. Трансформирование аэроснимков может выполняться различными способами: графическим, фотомеханическим и оптико-графическим.

*Графическое трансформирование* не требует применения сложных приборов, поэтому оно применимо в экспедиционных условиях для решения некоторых задач по дополнению или обновлению мелкомасштабных топографических карт. Графическое трансформирование выполняется по опорным точкам. В результате получают чертеж участка карты на чистой основе или в виде дополнений на уже имеющейся карте.

*Фотомеханический способ трансформирования аэрофотоснимков* получил наиболее широкое применение в аэрофотогеодезическом производстве. При фотомеханическом способе используют специальные приборы — *фототрансформаторы*, на которых трансформированное изображение аэроснимка строится на фотобумаге. Трансформирование аэрофотоснимков заключается в том, что рабочими движениями прибора добиваются совмещения проекций трансформационных точек, наколотых на негативе, расположенном в кассете прибора, с этими же точками, нанесенными в заданном масштабе на планшет, помещенный на экране фототрансформатора.

Фотомеханический способ используют для создания фотопланов средних и крупных масштабов местности с небольшими превышениями рельефа, так как на трансформированном фотоснимке остаются искажения, возникающие из-за влияния рельефа местности. Для исключения влияния рельефа используют специальную технологию — трансформирование по зонам, позволяющую ослабить искажения из-за рельефа местности.

В последнее время применяется *аналитический метод трансформирования аэроснимков*, при котором координаты точек, измеренные на снимках, преобразуют с помощью ЭВМ в координаты точек местности.

**Монтаж фотопланов.** Он заключается в последовательном соединении трансформированных аэроснимков по трансформационным точкам на одну общую основу

в пределах трапеции соответствующего масштаба. Фотопланы монтируют на плотной основе (фанера или алюминий), на которой нанесены координатная сетка, рамка и все опорные точки. Трансформационные точки и центры аэроснимков пробивают специальным приспособлением — пуансоном. Снимки укладывают помаршрутно на планшет, совмещая центры пробитых отверстий с соответствующими точками на планшете. Отклонения не должны превышать 0,4 мм. Одновременно проверяют сходимость контуров в зоне продольного перекрытия. Отклонения допускаются до 0,7 мм.

Смонтированные снимки прижимают грузиками и разрезают аэроснимки вдоль продольных и поперечных перекрытий. Затем снимки окончательно приклеивают на основу и выполняют графическое оформление фотоплана.

**Создание высотного съемочного обоснования и съемка рельефа на фотопланах.** При комбинированном методе аэрофототопографической съемки полевые работы включают: создание высотного съемочного обоснования, съемку рельефа и дешифрирование фотопланов.

Высотное съемочное обоснование необходимо для определения высот точек стояния мензулы путем продолжения основных и съемочных высотных ходов. В зависимости от принятой высоты сечения рельефа отметки точек высотных ходов определяют техническим нивелированием, нивелированием горизонтальным лучом теодолита или кипрегеля и тригонометрическим нивелированием.

При съемке с сечением рельефа через 0,25; 0,5; 1 м основные высотные ходы должны прокладывать техническим нивелированием и опираться на пункты государственной нивелирной сети I—IV классов. При сечении 0,25; 0,50; 1,0 м длины ходов не должны превышать соответственно 2, 8, 10 км. При съемке с сечением рельефа 2,5 и 5,0 м основные высотные ходы прокладывают тригонометрическим нивелированием при допустимой длине ходов 6 и 12 км. Допускается прокладывать основные высотные ходы в виде систем ходов, образующих узловые точки и замкнутые полигоны.

Высоты съемочных точек определяют проложением съемочных ходов между точками основных высотных ходов и пунктами государственной нивелирной сети. Предельные ошибки высот съемочных точек не должны превышать  $\frac{1}{5}$  высоты сечения рельефа.

Положение точек всех основных и съёмочных высотных ходов показывают на схеме в журнале топографической съёмки. Уравнивание высотных ходов выполняют по методу узловых точек или отдельных полигонов. Увязывание высот точек производят до 0,01 м, отметки в каталог выписывают с точностью до 0,1 м.

После увязки высотных ходов составляют кальку высот, на которую копируют все точки планового и высотного обоснования с обозначениями в числителе их названий или номера, в знаменателе — отметки центра знака (красной тушью), отметки земли с точностью до 0,1 м (черной тушью).

Точки высотных ходов должны быть, как правило, опознаны на фотоплане. Их предпочтительнее намечать на четких, хорошо опознаваемых контурах или в местах, где эти точки могут быть легко нанесены на фотоплан методом «створов»; промерами от ближайших контурных точек или обратной засечкой по пунктам геодезической основы.

Съёмку рельефа на фотопланах выполняют главным образом с помощью мензулы и кипрегеля. Фотопланы для съёмки печатают на матовой фотобумаге, наклеенной предварительно на жесткую основу. Ориентирование фотоплана на местности выполняют по хорошо опознаваемым контурным точкам.

Если планшет установлен над какой-либо контурной точкой, его можно ориентировать по любой другой контурной точке, видимой на местности и изображаемой на фотоплане. Наличие на фотоплане изображения гидрографической сети и таких элементов рельефа, как тальвеги, бровки оврагов, обрывы, улучшает качество рисовки и уменьшает необходимое количество пикетных точек.

Отметки пикетов определяют с точек основных и съёмочных ходов, в равнинной местности — горизонтальным лучом с помощью кипрегеля или нивелиром, устанавливаемым рядом с мензулой.

Расстояния до пикетов определяют нитяным дальномером или (если пикет совмещен с контурной точкой) по фотоплану. Если пикетная точка совмещена с видимым контуром, то отметку пикета можно определить без рейки. Для этого вертикальный угол измеряют непосредственно наведением дальномера на контур, а расстояние — по фотоплану.

Рельеф местности изображают на фотоплане горизонталями и условными знаками (обрывы, промоины). Для

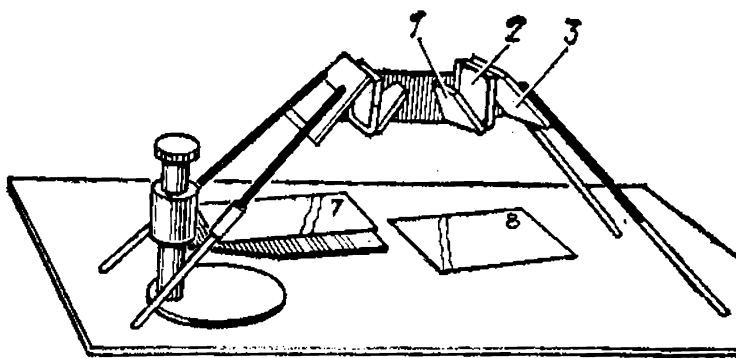


Рис. XIII.3. Стереоскоп

этого определяют высоты пикетов, расположенных на характерных перегибах ската.

Количество пикетов зависит от расчлененности рельефа и высоты сечения рельефа. Все горизонтالي проводят в поле, непосредственно на каждой съемочной точке, сопоставляя соответствие нарисованных горизонтальными рельефа с местностью.

В закрытой местности рельеф рисуют на отдельных аэроснимках при стереоскопическом рассматривании модели местности. Для этого используют полевые стереоскопы (рис. XIII.3) — оптические приборы, позволяющие по двум смежным перекрывающимся аэроснимкам, составляющим стереопару, получить объемную модель местности (см. § XIII.3). Стереоскопическое рассматривание аэроснимков позволяет также составить проект плано-высотной привязки аэроснимков и наметить план работ по съемке рельефа местности.

**Дешифрирование фотопланов.** Дешифрирование — это опознавание объектов местности на аэроснимках, установление их качественных и количественных характеристик и обозначение соответствующими условными знаками. В зависимости от назначения дешифрирование может быть топографическим, почвенным, сельскохозяйственным, лесным и т. д. *Топографическое дешифрирование* — наиболее универсальный вид дешифрирования, охватывающий гидрографическую сеть, растительность всех видов, населенные пункты, железные и автогужевые дороги, линии передач, границы и др. Дешифрирование может выполняться камеральным и полевым способом. При аэрофотосъемке в крупных масштабах большинство предметов и контуров местности могут быть выявлены по их изображению в камеральных условиях. Для правильного распознавания предметов используют их де-



шифровочные признаки, к которым относятся форма и размер объекта, тон и структура изображения, тень, отбрасываемая объектом. Это так называемые *прямые дешифровочные признаки*. *Косвенные дешифровочные признаки* основаны на многообразных взаимосвязях объектов. Частично эти признаки представляют собой зафиксированные на фотоснимках другие черты естественных и культурных ландшафтов, а частью вообще не связаны с изображением местности на аэроснимках (объекты, замаскированные другими, объекты, находящиеся под землей, и объекты, проявляющиеся только в определенный сезон).

При *камеральном дешифрировании* для правильного распознавания объектов используют альбомы-эталонны дешифрирования, составленные из ряда типовых для данной местности аэроснимков, на которых опознаны наиболее важные и характерные элементы ситуации. Сравнивая изображение предмета на аэроснимке и эталоне, можно по аналогии опознать тот или иной объект.

Однако существуют предметы, которые трудно различить на аэроснимке — небольшие мосты, дорожные трубы, колодцы и др. Кроме того, числовые характеристики, географические названия, административные границы и ряд других элементов карты вообще не может быть изображен на аэроснимках. Поэтому камеральное топографическое дешифрирование дополняется *полевым дешифрированием*, в процессе которого фотографическое изображение аэроснимка сопоставляется непосредственно с натурой. При *полевом дешифрировании* на местности проектируют маршруты дешифрирования таким образом, чтобы каждый маршрут охватил как можно большую территорию. Маршруты должны проходить по таким местам, дешифрирование которых в натуре обеспечит камеральное распознавание контуров на всей остальной территории съемки и получение характеристик объектов, не определяемых на приборах.

*Дешифрирование по маршрутам* выполняется в полосе средней шириной 250 м в лесах и от 500 до 1000 м на открытом пространстве. Станции наблюдения и эталонные площадки выбирают в местах, наиболее типичных или сложных для дешифрирования данного ландшафта. В пределах каждой станции детально изучают все структуры изображения для уста-

новления взаимозависимости между топографическими объектами и изображением их на аэроснимках.

За последние годы при маршрутном дешифрировании труднодоступных районов все большее применение получают аэровизуальные наблюдения с легких самолетов и вертолетов (АН-2, МИ-1).

### § XIII.3. Стереотопографическая съемка

При комбинированном методе съемки контурную часть карты — фотоплан получают в результате фотограмметрической обработки аэроснимков. Наиболее трудоемкий процесс — съемка рельефа — осуществляется обычными приемами мензульной съемки, поэтому все недостатки мензульной съемки (ограниченность летнего периода в северных районах страны, сложность полевых топографо-геодезических работ в таежных и труднодоступных горных районах) и в данном методе имеют место, в силу чего комбинированный метод нашел применение в основном в районах с большим полевым периодом и в равнинных районах.

Применение стереотопографической съемки позволило существенным образом уменьшить объем полевых топографо-геодезических работ, ограничивая их задачами создания государственной геодезической сети, определения геодезических координат ограниченного числа опорных точек на каждом аэроснимке и дешифрирования. При стереотопографической съемке по сравнению с комбинированной большое число производственных процессов перенесено из полевых условий в камеральные. Это позволило значительно повысить эффективность топографо-геодезических работ. Дальнейшие работы направлены на разработку способов фотограмметрического сгущения, при которых число опорных точек, определяемых в полевых условиях, можно уменьшить до минимума и работу выполнять с помощью современных высокоточных универсальных стереофотограмметрических приборов и ЭВМ. Поэтому стереотопографическая съемка в настоящее время является основным методом при создании топографических карт средних и крупных масштабов (1:10 000—1:100 000). Она находит все более широкое применение и при составлении топографических планов масштаба 1:5000 и др.

В основе стереотопографической съемки лежит стереоскопическое зрение, т. е. способность глаза наблюдателя воспринимать объемную форму предметов и их пространственное положение. Это явление называется *естественным стереозффектом*, а бинокулярное зрение (зрение двумя глазами), при котором ощущается стереозффект, называется *стереоскопическим*.

Для получения объемной модели местности по аэроснимкам используют стереопару аэроснимков, т. е. два смежных перекрывающихся аэроснимка, и специальные приборы, позволяющие выполнить разделение зрения. При рассматривании двух изображений одного и того же объекта в стереоскопических приборах левым глазом наблюдается левое изображение, правым — правое. Такое рассматривание двух перекрывающихся снимков позволяет получать пространственную (стереоскопическую) модель местности, а также измерять эту модель с высокой точностью.

Простейшими приборами для стереоскопических наблюдений являются *стереоскопы*. Широкое распространение получил *складной зеркально-линзовый стереоскоп ЛЗ* (см. рис. XIII.3), предназначенный для рисовки рельефа на аэроснимках по известным высотным точкам, для дешифрирования аэроснимков, составления проекта планово-высотной привязки аэроснимков и т. д.

В стереоскопе имеются две пары параллельных зеркал, расположенных под углом  $45^\circ$  к плоскости снимков (1), (3). Между зеркалами установлены сменные линзы (2), позволяющие изменять увеличение рассматриваемых аэроснимков, а также рассматривать разномасштабные аэроснимки.

Для получения стереоскопической модели аэроснимки располагают на столе под большими зеркалами прибора таким образом, чтобы одноименные точки на смежных аэроснимках лежали на линиях, параллельных зрительному базису (линии, соединяющей центры глаз наблюдателя) и передвигают их вдоль этого направления до получения отчетливого стереозффекта.

Стереофотограмметрическую обработку аэроснимков, т. е. измерение стереоскопической модели по аэроснимкам, можно выполнять двумя методами — дифференцированным и универсальным.

**Дифференцированный метод.** При дифференцированном методе стереотопографической съемки состав-

ление планов расчленяется на ряд этапов — процессов, каждый из которых выполняется на отдельных приборах. К ним относятся определение элементов ориентирования, высот точек местности и рисовка рельефа, составление по аэроснимкам плана.

Технологическая схема основных процессов при составлении топографических карт дифференцированным методом следующая: 1) аэрофотосъемка; 2) плановая и высотная привязка аэроснимков, дешифрирование; 3) изготовление фотопланов; 4) стереоскопическая рисовка рельефа на топографических стереометрах; 5) перенос горизонталей и результатов дешифрирования со снимков на фотоплан. Выполнение аэросъемки, плановой и высотной привязки аэроснимков, составление фотопланов выполняется так же, как и при комбинированной аэросъемке.

Проектом выполнения плановой и высотной привязки так же, как и при комбинированной аэросъемке, должно быть предусмотрено определение планового положения и высот опознаков, расположенных по углам стереопары для последующей обработки снимков на стереофотограмметрических приборах.

Составление высотной части карты — рисовка рельефа, определение высот отдельных точек переносится в камеральные условия и выполняется на специальных приборах.

Предварительно необходимо определить значение элементов ориентирования аэроснимков (элементы, определяющие положение аэроснимков в пространстве в момент аэрофотосъемки), которое выполняется аналитическим путем на основе измеренных на стереокомпараторе (рис. XIII.4) координат ряда точек перекрывающихся аэроснимков.

Взаимные превышения точек местности относительно средней высоты фотографирования данной территории  $H$  определяют по формуле

$$h = \frac{\Delta p}{b + \Delta p} H,$$

где  $\Delta p$  — измеренная на приборе разность продольных параллаксов точек (продольный параллакс точки на снимке — это разность абсцисс одноименной точки на смежных снимках,  $p = x_{\text{л}} - x_{\text{п}}$ ),  $b$  — базис фотографирования в масштабе снимка.

Так как на плановых аэроснимках есть искажения,

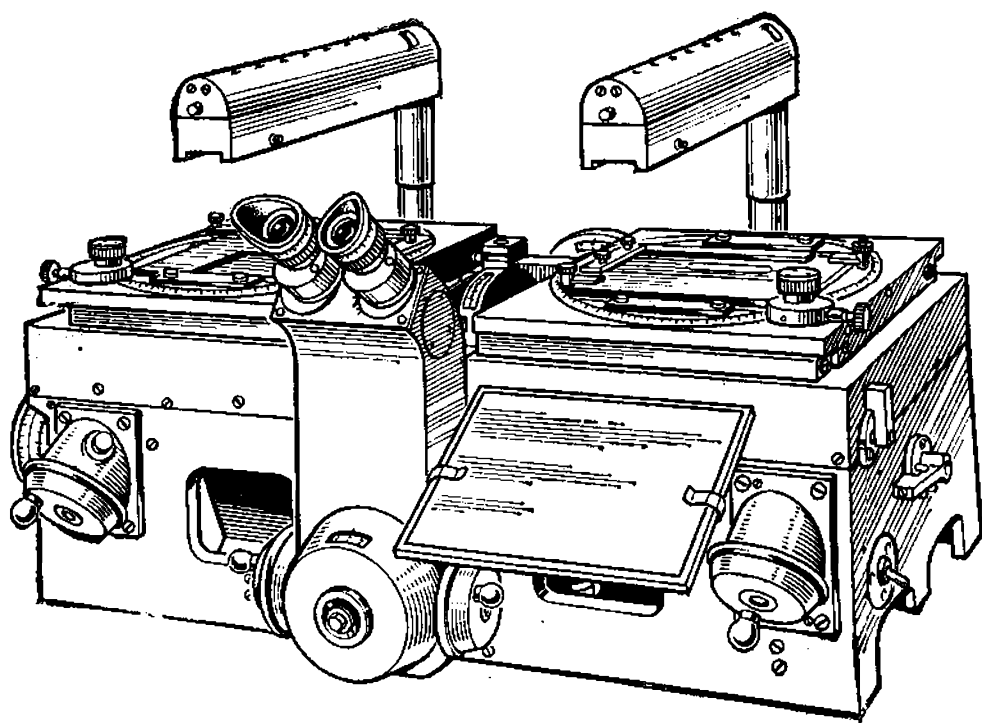


Рис. XIII.4 Стереокмпаратор Стеко-1818

вызванные углами наклона снимка и базиса фотографирования, то измеренные на приборе разности продольных параллаксов несут в себе погрешности, вызванные влиянием элементов ориентирования. Для исключения искажений разностей продольных параллаксов и превышений точек местности в стереометре предусмотрены устройства, называемые *корректорами*, которые автоматически вводят поправки в измеренные разности продольных параллаксов за счет влияния элементов ориентирования, что позволяет преобразовывать их в соответствующие величины идеального случая съемки (случай съемки при отвесном положении оптической оси и горизонтальном базисе).

Основным прибором дифференцированного метода съемки является *топографический стереометр Дробышева* (рис. XIII.5), позволяющий выполнять рисовку рельефа на плановых аэроснимках. Благодаря своим конструктивным особенностям и малым габаритам, этот прибор используется и при других видах измерительной обработки материалов воздушных стереосъемок, особенно в практике геолого-географических исследований.

На станине 6 прибора укреплены левая 8 и правая 2 кассеты, на которых укрепляются аэроснимки. При по-

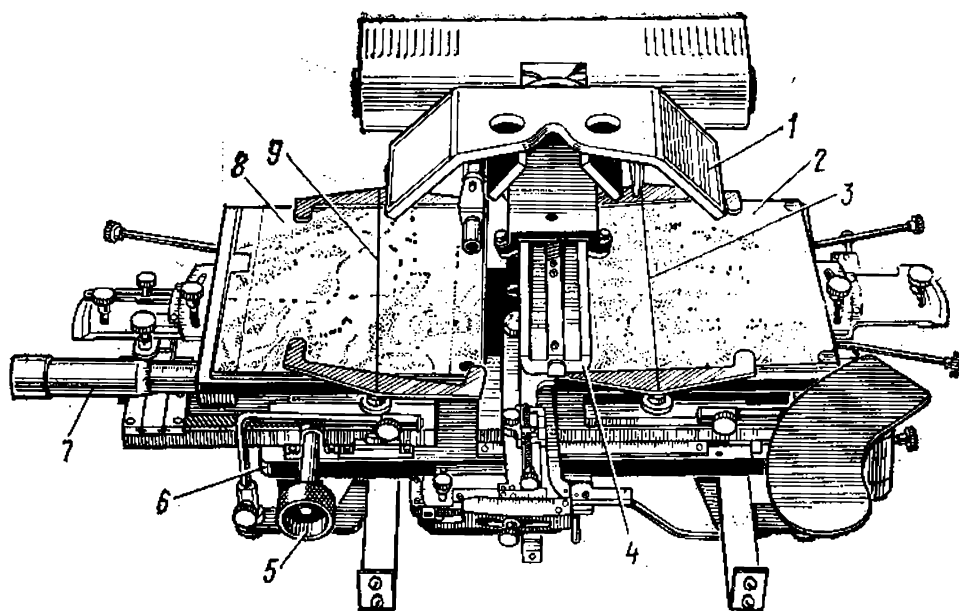


Рис. XIII.5. Стереометр Дробышева

мощи кремальеры 5 кассеты перемещаются вдоль оси абсцисс прибора. Левая кассета дополнительно перемещается вдоль оси абсцисс, величина которого измеряется винтом продольных параллаксов 7 с точностью 0,01 мм. По направляющим 4, принятым за ось ординат прибора, перемещается наблюдательная система 1, представляющая собой линзово-зеркальный стереоскоп с увеличением  $1,8\times$ .

Для того чтобы коррекционные устройства автоматически вводили поправки в разности продольных параллаксов, их необходимо установить в соответствии с углами наклона аэроснимков. Коррекционные устройства можно установить в нужное положение непосредственно в процессе ориентирования снимков, используя шесть стандартно расположенных точек с известными высотами. В каждой из этих точек измеряют разности продольных параллаксов и сравнивают их с теоретическими значениями, вычисленными по известным превышениям. Изменяя установку коррекционных устройств, добиваются, чтобы измеряемые разности продольных параллаксов этих точек совпали с вычисленными. Все последующие измерения параллаксов будут свободны от ошибок за наклон снимков и их разномасштабность.

После ориентирования аэроснимков по высотным точкам стереометр используется для рисовки рельефа.

Для этого рассчитывают значения разностей продольных параллаксов для всех горизонталей, попадающих на площадь данной стереопары.

Горизонтالي рисуют с помощью нитей 3 и 9, натянутых над каждым аэроснимком. Перемещая основную каретку стереометра по оси абсцисс, а наблюдательную систему по оси ординат, на правом аэроснимке отмечают места касания нити поверхности модели и получают положение соответствующей горизонтали. Аналогично проводят все горизонтали для данной стереопары снимков, а также определяют отметки характерных точек рельефа местности.

При дифференцированном методе стереотопографической съемки заключительным этапом является создание рабочего оригинала карты по аэрофотоснимкам, на которых отдешифрированы контуры и нарисованы горизонтали. Создание оригинала карты осуществляется в двух вариантах: на фотоплане и чертежной бумаге. Первый вариант применяется при съемке равнинной местности с большим количеством контуров. При этом элементы дешифрирования и горизонтали с аэроснимков на фотоплан переносятся по контурам визуально или с использованием стереоскопа.

Графический оригинал карты на холмистую и горную местность создается по отдельным аэрофотоснимкам при помощи оптического проектора. Для этого предварительно изготавливают уменьшенные диапозитивы с аэроснимков, на которых вычерчены горизонтали и контуры. Диапозитивы закладывают в проектор и проектирующиеся трансформационные точки совмещают с их положением на основе путем перемещения проектора по высоте, перемещения основы на экране и поворотов проектора на продольный и поперечный углы. Как только совмещение точек достигнуто, перерисовывают карандашом горизонтали и контуры на основу в пределах выбранной зоны. Переход в следующую зону осуществляется изменением высоты проектора (если смежная зона выше начальной, то проектор понижается и наоборот). Перерисовку контуров и горизонталей делают аналогично и в границах новой зоны, а затем вновь переходят в другие, смежные зоны. Закончив перенос горизонталей с одного аэроснимка, приступают к трансформированию смежных фотоснимков и переносу с них контуров и горизонталей. В результате создается рабо-

чий оригинал карты в пределах рамки трапеции, нанесенной на основу.

**Универсальный метод стереотопографической съемки.** Универсальный метод создания топографических карт отличается от комбинированного и дифференцированного сведением к минимуму объема полевых работ и большей точностью, так как основан на строгих геометрических связях. Все процессы по созданию карты выполняются на одном высокоточном универсальном приборе, поэтому и метод получил название *универсального*.

В отличие от комбинированного и дифференцированного методов, в которых измерения производятся непосредственно на аэроснимках, в универсальном методе по аэрофотоснимкам восстанавливается пространственная модель сфотографированной местности, которая затем измеряется с высокой степенью точности.

Если участок местности сфотографировать из двух центров проекций  $S_1$  и  $S_2$  (рис. XIII.6,а), то каждая точка местности будет находиться как бы в пересечении двух проектирующих лучей, лежащих в одной плоскости, называемой *базисной*. (Любая плоскость, содержащая базис фотографирования, является базисной плоскостью.) Эту пространственную засечку сфотографированных точек местности можно восстановить на универсальных приборах.

В две проектирующие камеры, аналогичные съемочным, универсального прибора закладывают стереопару аэроснимков и освещают их (рис. XIII.6,б). Тогда от каждой точки снимка через центр проекции  $S'$  пройдет

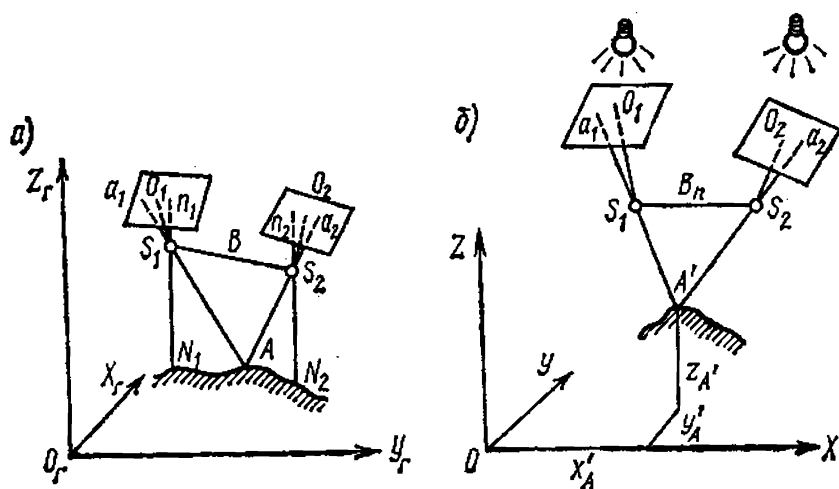


Рис. XIII.6. Схема получения геометрической модели местности:

а — при аэрофотосъемке, б — в универсальных приборах



световой проектирующий луч. Лучи  $S'_1a_1$  и  $S'_2a_2$ , идущие от одноименных точек  $a_1$  и  $a_2$  двух снимков, пересекаясь в пространстве, образуют точку  $A'$  геометрической модели местности. Изменяя положение проектирующих камер относительно пространственной системы координат прибора ( $OXYZ$ ), аналогичной геодезической системе координат местности ( $O_TX_TY_TZ_T$ ), можно придать им такое же положение, какое занимали съемочные камеры в момент фотографирования местности. Таким образом строится геометрическая модель на всей площади зоны двойного перекрытия аэроснимков.

Для измерения модели в универсальном приборе имеется измерительная марка  $M$ , перемещающаяся в пространстве модели вдоль координатных осей прибора, снабженных шкалами. Совместив измерительную марку с той или иной точкой геометрические модели, определяют по шкалам одновременно все три ее координаты  $X, Y, Z$ . Проектируя результаты измерений на экран прибора, получают план местности, который строится всегда в ортогональной проекции.

При универсальном методе съемки используются сложные приборы, на которых выполняются все процессы создания карт по аэроснимкам: взаимное ориентирование снимков, внешнее или геодезическое ориентирование, рисовка рельефа и контуров, а также фотограмметрическое сгущение опорной сети.

По форме восстановленных проектирующих лучей различают универсальные приборы, предназначенные для обработки аэроснимков с подобной связкой проектирующих лучей, и приборы, позволяющие обрабатывать снимки с преобразованными связками проектирующих лучей. В первом случае в универсальных приборах используются проектирующие камеры, подобные съемочным, т. е. сохраняется подобие значений фокусных расстояний съемочной  $f_k$  и проектирующей  $F_n$  камер. Это дает высокую точность построения моделей, но ограничивает применение таких приборов, так как на них нельзя обрабатывать аэроснимки, полученные другими АФА.

Советскими учеными разработана теория и созданы универсальные приборы, позволяющие обрабатывать аэроснимки с преобразованными связками проектирующих лучей. В этом случае фокусные расстояния проектирующих камер не идентичны аэрофотосъемочным ( $F_n = f_k$ ) и на них можно обрабатывать аэроснимки, по-

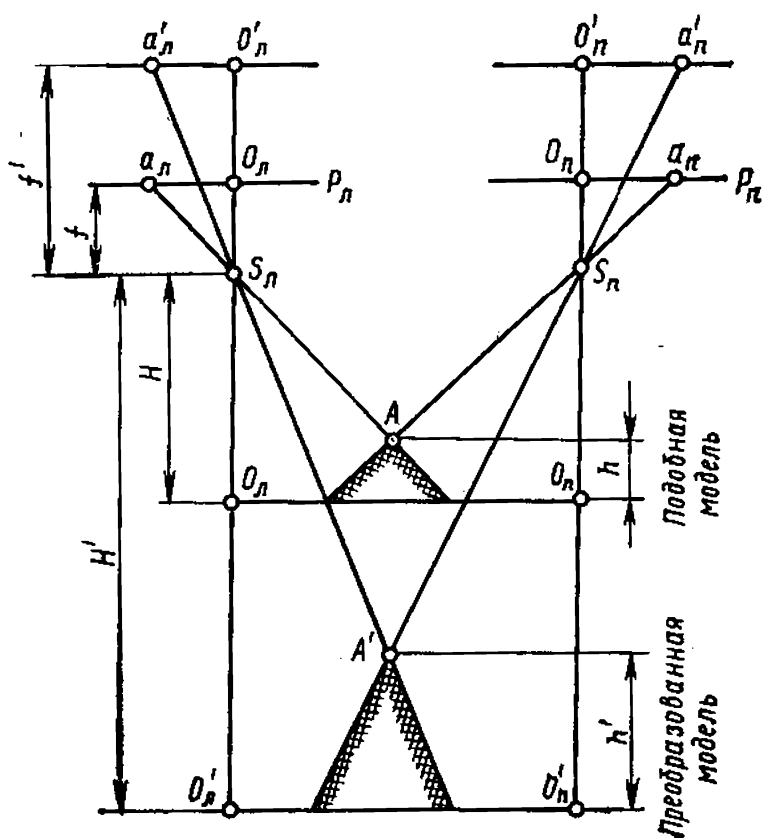


Рис. XIII.7. Схема получения подобной и преобразованной модели местности

лученные АФА с различными фокусными расстояниями (от 36 до 350 мм). При восстановлении модели местности по преобразованным связкам плановые координаты  $X$  и  $Y$  не изменяются, поэтому подобная и преобразованная модели имеют одинаковый горизонтальный масштаб ( $1/M_{\Pi} = 1/M_{\text{пр}}$ ) (рис. XIII.7).

Вертикальный масштаб модели  $1:M_v$  и горизонтальный масштаб  $1:M_r$  преобразованной модели не равны друг другу и связаны зависимостью

$$\frac{1}{M_v} = K \frac{1}{M_r},$$

где  $K$  — коэффициент преобразования связок или коэффициент аффинности, равный отношению  $F_{\Pi}/f_K$ .

Особенностью применяемых в СССР приборов с преобразованными связками проектирующих лучей является то, что результаты измерений наклонных снимков приводятся к горизонтальному случаю съемки, т. е. трансформируются с помощью специальных коррекционных устройств. К таким приборам относятся стереопроектор Романовского — СПР (рис. XIII.8) и стерео-

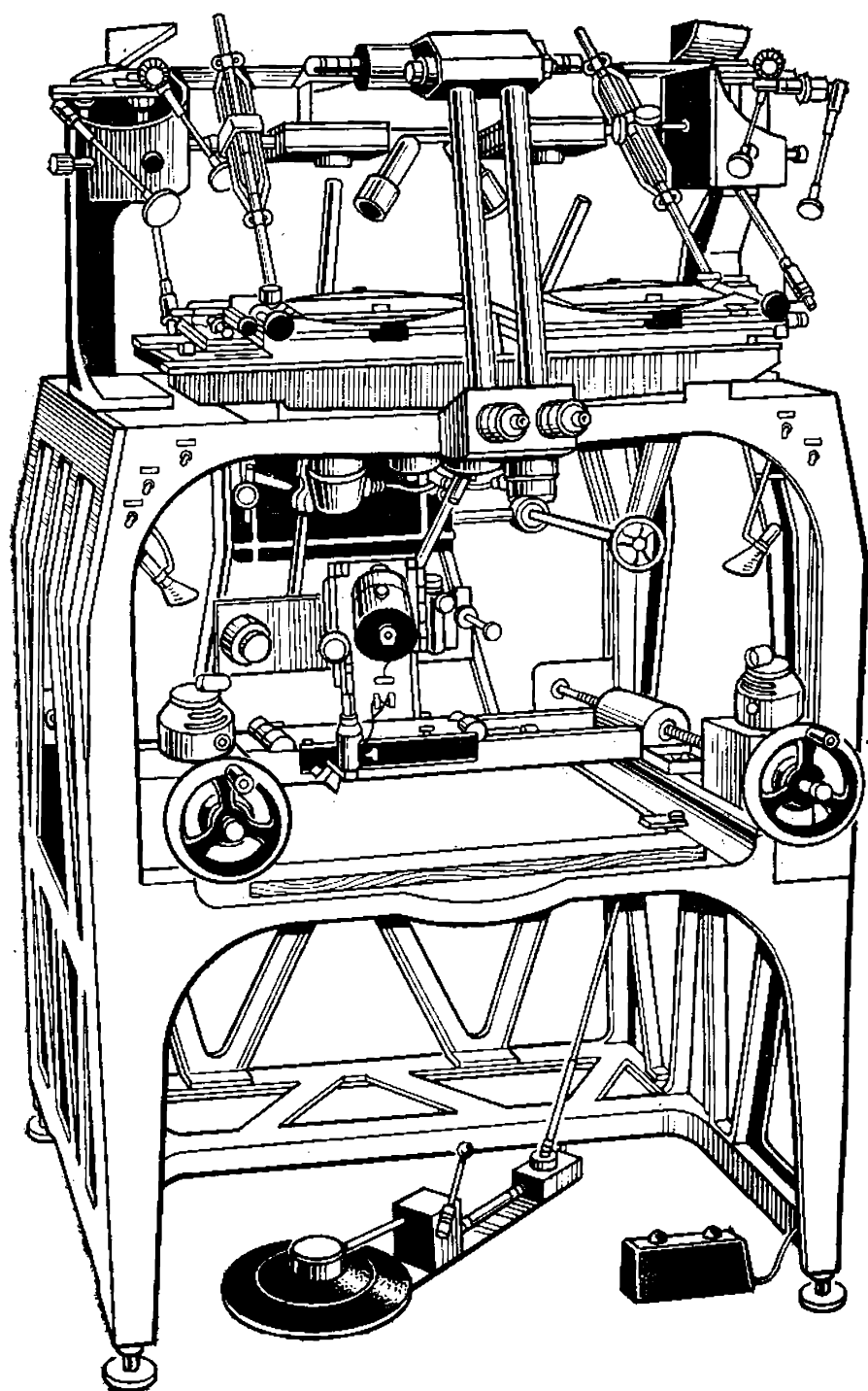


Рис. XIII.8. Стереопроектор Романовского

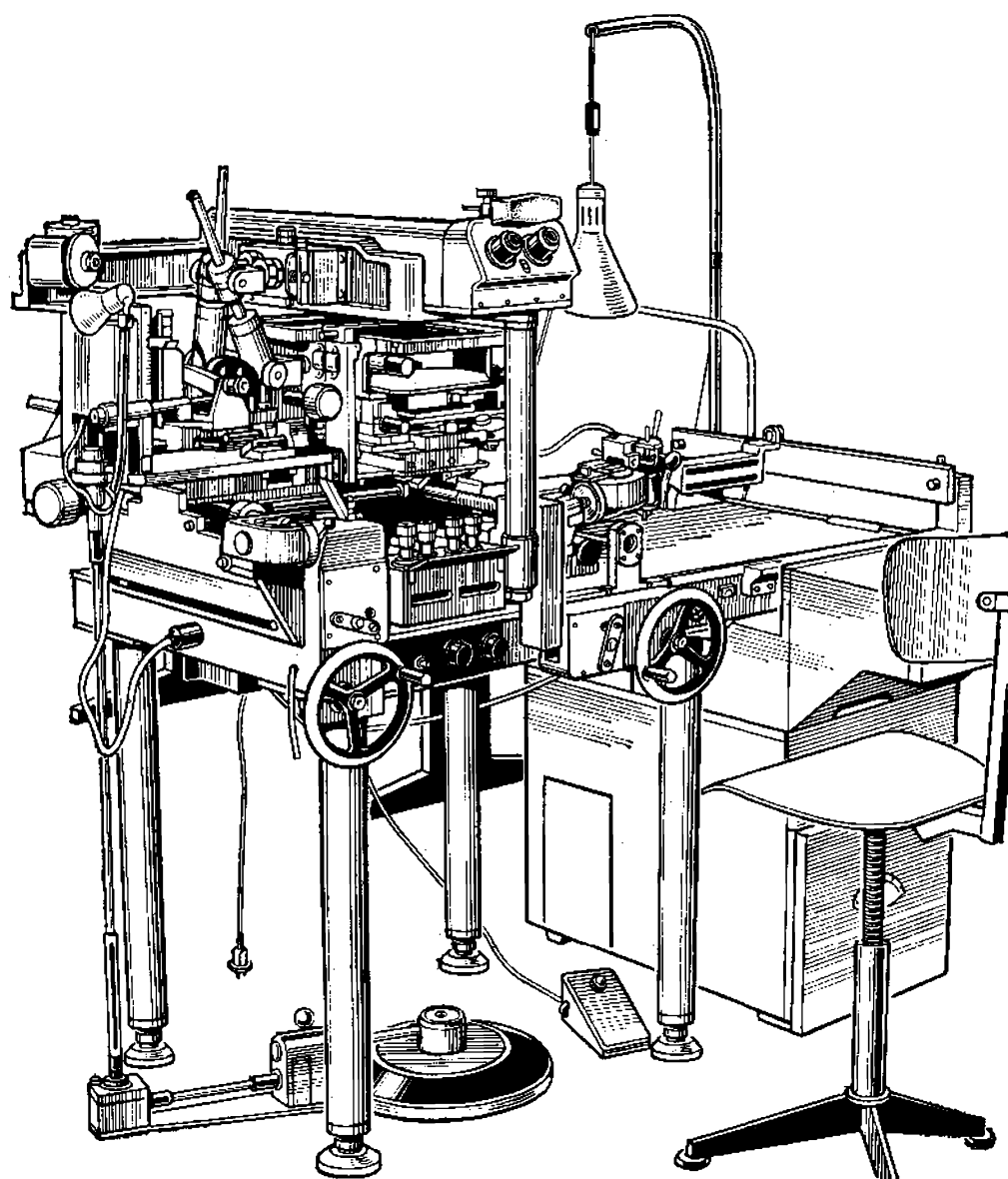


Рис. XIII.9. Стереограф Дробышева

*граф Дробышева СД* (рис. XIII.9). Эти приборы позволяют определять превышения точек стереомодели местности с точностью  $1 : 8000$  высоты фотографирования при отношении масштаба аэроснимка к масштабу составляемой карты от 0,5 до 3,0.

#### § XIII.4. Наземная фототопографическая съемка

Создание топографических карт, а также определение пространственных координат точек местности по фотографическим ее изображениям, полученным при

фотографировании с земной поверхности, называется *наземной фототопографической съемкой*.

Наземная фототопографическая съемка применяется для создания топографических и специальных карт, для изучения динамических природных явлений и процессов, а также для решения ряда научных и инженерно-технических задач. Наибольшее применение наземная съемка получила при создании крупномасштабных планов горных районов. Наземную фототопографическую съемку применяют тогда, когда аэрофотосъемку проводить нецелесообразно или технически невозможно. При картографировании труднодоступных горных районов, картографировании в средних и мелких масштабах для сокращения объема полевых работ комбинируют наземную съемку с воздушной.

Наземная фототопографическая съемка выполняется специальным прибором — *фототеодолитом* (рис. XIII.10), представляющим собой сочетание теодолита с фотокамерой в совместном или раздельном исполнении. К таким приборам относятся фототеодолиты «Геодезия» (СССР), Фотео-19/1318 («Карл Цейсс»), фототеодолит С-3в («Карл Цейсс») и др.

Фототеодолит служит для фотографирования местности, а также для измерения горизонтальных и вертикальных углов с целью определения геодезических координат станций установки фототеодолита.

Для получения пространственного положения снимаемого объекта наземную съемку выполняют фототеодолитом с двух концов базиса и получают стереоскопические пары фотоснимков, которые измеряются на *стереокомпараторах*, если нужно определить координаты отдельных точек местности, или на специальных приборах — *стереоавтографах*, если создается графический план местности.

Для фотографирования выбирают станции с хорошим обзором местности, чтобы при съемке было как можно меньше «мертвых» зон (объекты ближнего плана закрывают дальний план). Фотографирование ведется на фотопластинках, что значительно уменьшает деформацию фотоматериала.

Кроме фотографирования местности в поле выполняют также геодезические работы. Привязку станции к пунктам геодезической основы производят обратными или прямыми засечками. Контрольные точки, необходимые для ориентирования снимков на приборах, засека-

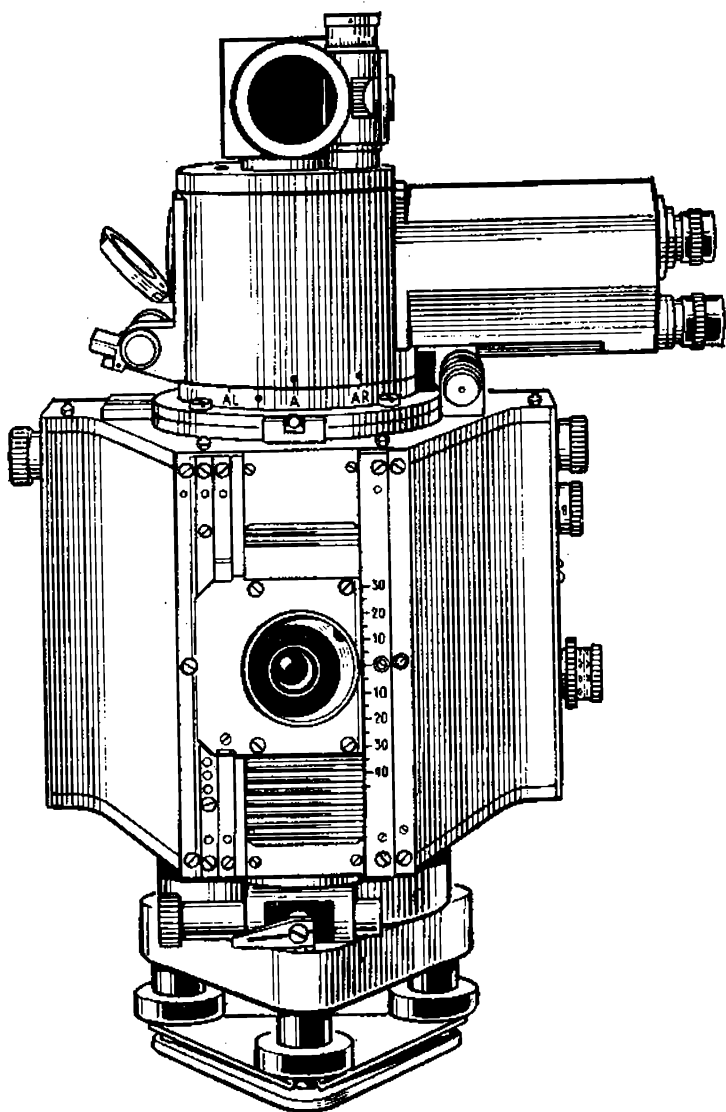


Рис. XIII.10. Фототеодолит Фотео 19/1318

ются с базисов или пунктов опорной геодезической сети. Определяют также дирекционный угол базиса фотографирования, координаты левой точки базиса и превышение правой точки над левой.

**Основные случаи съемки.** При съемке оптическая ось фотокамеры может занимать различное положение относительно горизонта и линии базиса. Наиболее часто используют два случая съемки: нормальный и равномерно-отклоненный.

При *нормальном случае съемки* (рис. XIII.11,а) оптические оси левой и правой фотокамер устанавливаются горизонтально и перпендикулярно к базису  $B$ , плоскость снимка занимает отвесное положение. Нормальный слу-

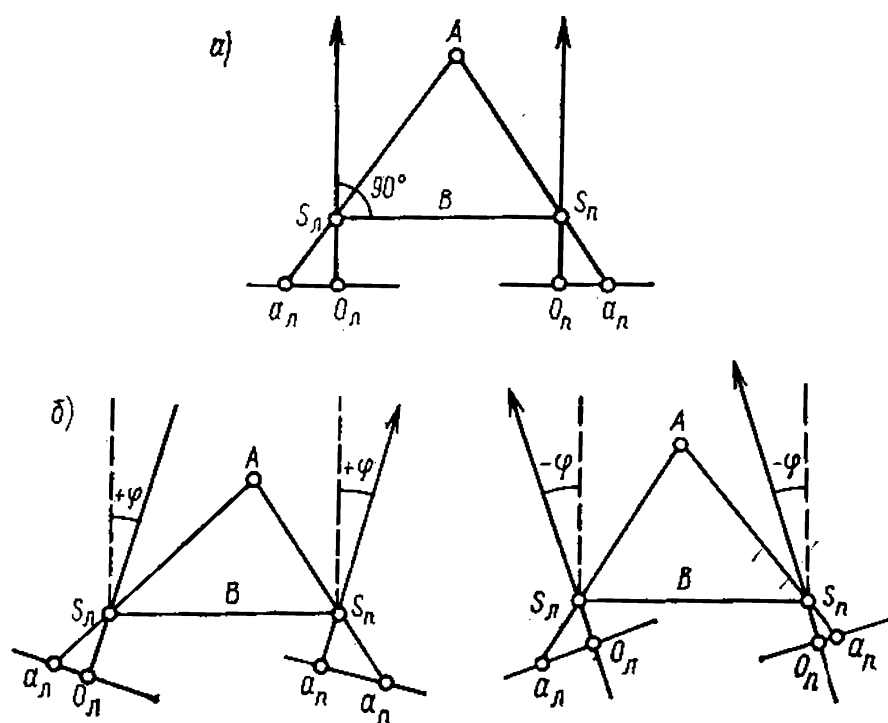


Рис. XIII.11. Основные случаи наземной фототопографической съемки:

*a* — нормальный случай, *б* — равномерно-отклоненный

чай съемки применяется чаще, так как он обеспечивает наиболее точные результаты и математическая обработка снимков наиболее проста.

При *равномерно-отклоненном случае* съемки оптические оси левой и правой фотокамер отклоняются вправо или влево на один и тот же угол для расширения горизонтального угла охвата снимаемого объекта (рис. XIII.11,б). В результате этого с одного базиса можно получить три стереоскопические пары снимков: стереопару для нормального случая съемки и стереопары со скосом влево и вправо.

**Основные формулы фототеодолитовой съемки.** Пространственные координаты точек объекта при фотограмметрических измерениях по одиночному снимку определяют по формулам:

$$X = Y \frac{x}{f} = xM, \quad (\text{XIII.1})$$

$$Z = Y \frac{z}{f} = zM, \quad (\text{XIII.2})$$

где  $x$ ,  $z$  — координаты точек, измеренные на снимках,

$Y$  — расстояние от центра проекции до определяемой точки,  $f$  — фокусное расстояние фотокамеры,  $M$  — знаменатель масштаба изображения на снимке определяемой точки.

При нормальном случае съемки пространственные координаты точек объекта по стереопаре снимков определяют по формулам:

$$Y = B \frac{f}{p}, \quad (\text{XIII.3})$$

$$X = B \frac{x}{p}, \quad (\text{XIII.4})$$

$$Z = B \frac{z}{p}, \quad (\text{XIII.5})$$

где  $B$  — горизонтальное проложение базиса фотографирования,  $p = x_{\text{п}} - x_{\text{л}}$  — продольный параллакс определяемой точки,  $x, z$  — координаты точки на левом снимке.

Формулы (XIII.1) — (XIII.2) показывают, что при фотограмметрическом определении координат  $X, Y, Z$  необходимо измерить в натуре расстояние  $Y$  до определяемой точки или определить масштаб изображения по соотношению отрезков на снимке и на объекте  $1/M = l/L$ .

Формулы (XIII.3) — (XIII.5) показывают, что при стереофотограмметрическом определении координат необходимо на местности измерить базис съемки  $B$ , а на снимках — координаты точек снимка  $x, z$  и продольный параллакс  $p$ .

Координаты точек местности по стереопаре снимков, полученных при равномерно-отклоненном случае съемки, определяют по формулам:

$$\begin{aligned} Y &= B \frac{f}{p} \left( \cos \varphi + \frac{x_{\text{п}}}{f} \sin \varphi \right), \\ X &= B \frac{x_{\text{л}}}{p} \left( \cos \varphi + \frac{x_{\text{п}}}{f} \sin \varphi \right), \\ Z &= B \frac{z_{\text{л}}}{f} \left( \cos \varphi + \frac{x_{\text{п}}}{f} \sin \varphi \right), \end{aligned}$$

где  $x_{\text{л}}, x_{\text{п}}, z_{\text{л}}$  — координаты определяемой точки на левом и правом снимках,  $\varphi$  — угол отклонения оптической оси, или угол скоса.



Переход от пространственной фотограмметрической системы координат к геодезической выполняется по формулам:

$$X_r = X_{s_l} + Y \cos A - X \sin A,$$

$$Y_r = Y_{s_l} + Y \sin A + X \cos A,$$

$$Z_r = Z_{s_l} + Z + (k + r),$$

где  $X_{s_l}$ ,  $Y_{s_l}$ ,  $Z_{s_l}$  — геодезические координаты левого центра проекции;  $A$  — дирекционный угол оси  $Y$  фотограмметрической системы координат;  $(k + r)$  — поправка за кривизну Земли и рефракцию.

### § XIII.5. Методы автоматизации фототопографической съемки

С развитием электроники и вычислительной техники появилась возможность автоматизировать многие процессы фотограмметрической обработки различных съемок. Автоматизация фототопографических съемок в настоящее время выполняется по следующим основным направлениям: 1) автоматизация стереоизмерений снимков; 2) создание аналитических универсальных приборов с использованием ЭВМ для составления карт, ортофотоснимков и фотокарт; 3) автоматизация дешифрования аэроснимков; 4) разработка технологии создания цифровых моделей местности и способов их использования для решения картографических задач.

Автоматизация стереоизмерений направлена на ускорение процесса съемки контуров и рельефа местности, дешифрирования снимков и подготовку составительского оригинала к изданию при обработке снимков на универсальных приборах. Разработана теория и созданы *автоматические стереоприборы*, в которых фотоизображение стереопары преобразуется в электрические сигналы. Это осуществляется путем одновременного сканирования левого и правого снимков световым пятном электронно-лучевой трубки. Интенсивность света, прошедшего через снимок, неодинакова и зависит от плотности фотоизображения сканируемых участков снимка. Пройдя снимок, световые лучи попадают на фотоэлемент, преобразующий световую энергию в электрические сигналы (видео-сигналы). Интенсивность видеосигналов зависит также от плотности фотографического изображения. С по-

мощью коррелятора видеосигналы преобразуются в новый сигнал, который приводит в движение мотор, перемещающий экран измерительного столика.

Сканирующая и корреляционная система автоматических универсальных стереоприборов определяют высоту точек местности и ее наклон с помощью заложенных в вычислительное устройство программ управления. Эти программы объединяют в единую систему все четыре устройства: наблюдательное, вычислительное, сканирующее и корреляционное.

Для фотограмметрического сгущения опорной сети и обработки снимков наземной фототопографической съемки необходимы координаты большого количества точек, поэтому измерения снимков выполняются на *прецизионных стереокомпараторах*. Они позволяют измерять снимки с точностью 1—2 мкм и автоматически регистрировать результаты измерений, которые вводятся в ЭВМ для определения координат точек местности. К таким приборам относятся отечественные *стереокомпараторы* СКА-18, СКВ-1 и *стекометр* («Карл Цейсс») (рис. XIII.12).

Для автоматизации составления топографической

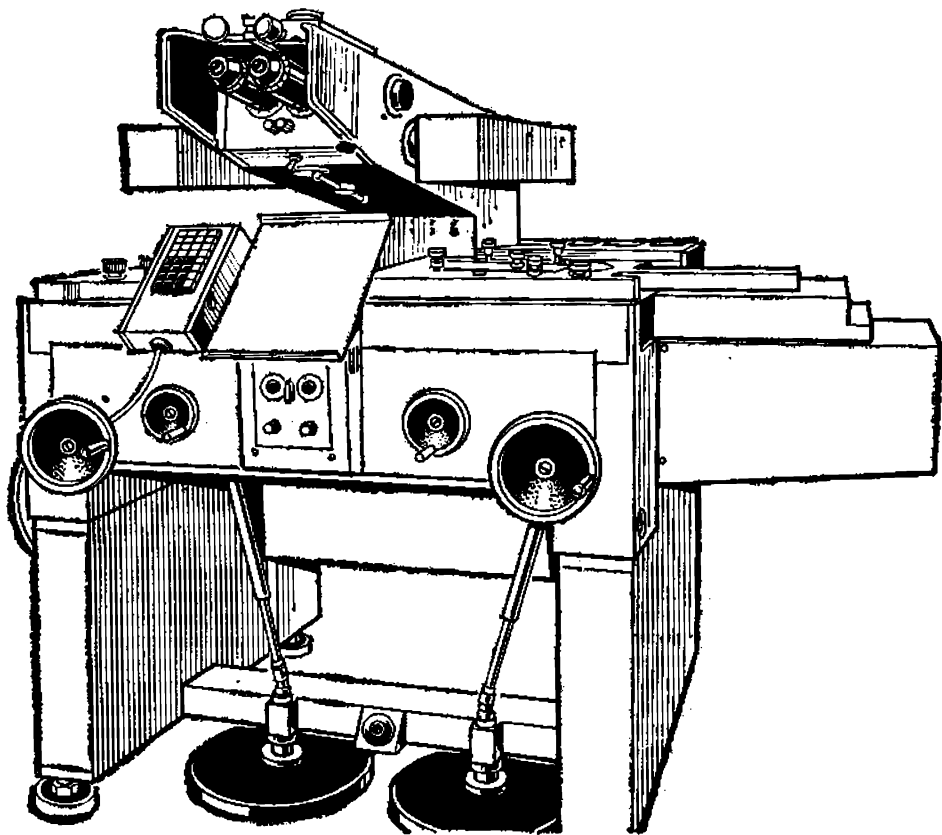


Рис. XIII.12. Стекометр

карты используют аналитические универсальные приборы, которые позволяют на одном приборе, совмещающем стереокомпаратор, ЭВМ и координатограф, выполнять все процессы составления топографической карты. На стереокомпараторе измеряются координаты, продольные и поперечные параллаксы точек стереопары. Полученные результаты вместе с геодезическими данными для обрабатываемой стереопары поступают в ЭВМ, которая по специальной программе вычисляет координаты геометрической модели местности. Результаты, полученные с помощью ЭВМ, используют для установки кареток стереокомпаратора и карандашного устройства координатографа, при этом координаты наблюдаемой точки снимка получают трансформированными. Положение точки на планшете отмечают в ортогональной проекции в масштабе составляемой карты. Результатом всей работы является *ортофотоплан*.

Другое направление автоматизации фототопографических съемок — создание универсальных приборов, позволяющих при обработке фотоснимков стереопары получать ортофотоплан местности путем дифференциального фототрансформирования аэроснимка с учетом рельефа местности. Дифференциальное (щелевое) трансформирование выполняется сканированием снимка узкой щелью с одновременным изменением масштаба проектирования в соответствии с рельефом местности. Изображение горизонталей одновременно с трансформированием аэроснимка может автоматически печататься на чистой основе и после расшифровки совмещаться с фотопланом. К таким универсальным приборам относятся *топокарт* и *стереотригомет* («Карл Цейсс», ГДР).

В СССР разработан способ создания ортофотокарт путем вычерчивания горизонталей на стереоприборе с одновременным ортофототрансформированием. Наиболее трудоемкая часть работы по ортофототрансформированию — профилирование, т. е. совмещение измерительной марки с поверхностью модели при перемещении щели. Для автоматизации процесса профилирования созданы приборы, электронные устройства которых по разработанной программе автоматически выполняют ортопрофилирование. По этой программе создаются ортофотоснимки на ортофотопроекторе ОФПД Дробышева и на аналитическом фотокартографе.

В связи с большим объемом аэрофотосъемочной информации возникает проблема автоматизации процесса

дешифрования снимков. Это сложнейшая проблема, так как при автоматизации необходимо выделить и распознать объект среди массы других в том виде, в каком он получился на снимке. Вопросы автоматического дешифрования аэроснимков находятся в стадии разработки, однако уже сейчас определены возможные направления в автоматизации дешифрования. Такими направлениями являются: *распознавание объектов по прямым дешифровочным признакам; фотометрический способ; спектрофотометрический метод.*

*Аналитическое распознавание объектов по прямым дешифровочным признакам* позволяет осуществить фильтрацию избыточной информации с выделением лишь одного вида (или небольшого числа видов) объектов либо определенного характера участка местности. Работы в этом направлении позволили создать распознающие системы по форме объектов, получившие название «Перцептрон».

*Распознавание объектов фотометрическим способом* заключается в последовательном измерении оптической плотности объекта и сравнении с эталонным фотоизображением объекта. Для этого используются специальные приборы — *микроденситометры*, сопряженные с ЭВМ.

*Спектрофотометрический способ автоматического распознавания объектов* предполагает использование не только геометрических и фотометрических характеристик, но и спектрофотометрических, т. е. характеристик изображений, полученных в различных спектральных диапазонах.

Многие методы автоматизации дешифрования аэроснимков используют или предполагают использование *электронно-оптического сканирования изображения* для преобразования информации в электрические сигналы, которые затем обрабатываются и анализируются на ЭВМ. В состав устройств, автоматизирующих нахождение объектов, входит коррелятор, осуществляющий сравнение двух изображений, представленных в виде электрического сигнала, и формирующий сигнал ошибки.

Наиболее рациональный метод автоматизации дешифрования изображений основан на машинных методах обработки изображений. С помощью ЭВМ могут быть выполнены следующие операции: каталогизация, хранение и поиск изображений по заданным координатам; геометрическая и яркостная коррекция; трансформирование и привязка; совмещение изображений одних

и тех же участков, полученных в различных спектральных диапазонах; тематическое дешифрирование; преобразование изображений к виду, удобному для интерпретации.

Развитие электронно-вычислительной техники и аналитических методов обработки информации вызвало появление *цифровых методов моделирования картографирования территории*.

*Цифровая модель местности (ЦММ)* представляет собой разностороннюю информацию о местности, выраженную в цифровой форме и позволяющую автоматизировать технологический процесс составления топографических карт.

Цифровая модель местности включает весь комплекс взаимосвязанных цифровых моделей рельефа, гидрографической сети, населенных пунктов, контуров и др.

Технологический процесс автоматизации составления топографических карт предусматривает выполнение наземной съемки в определенном порядке с кодированием информации непосредственно при производстве полевой съемки. Это позволяет вводить исходную информацию в ЭВМ по окончании съемки, минуя промежуточные процессы (составление абриса и др.), которые ведут к дополнительным затратам труда и времени. Полевые работы и регистрацию результатов измерений на первом этапе автоматизации проводят обычными методами, а результат измерений записывают в определенном порядке, удобном для перфорации. На втором этапе автоматизации информация, полученная после наземных съемок, фиксируется на машинных носителях и вводится в ЭВМ. По определенной программе ЭВМ вычисляет координаты и высоты пикетов, формирует массивы координат точек, контуров, условных знаков и горизонталей для их дальнейшего непосредственного вывода на автоматизированные координатографы.

В настоящее время разработаны универсальные программы для вычисления приближенных координат пунктов и уравнивания геодезических сетей с известными углами и линиями при любой комбинации измеренных величин. Кроме того, универсальные программы обеспечивают уравнивания систем полигонометрических ходов, строительных сеток и любых геодезических сетей.

Определенные трудности возникают при составлении цифровой модели рельефа местности (ЦМР). При создании топографических карт и планов рельеф местно-

сти изображается горизонталями с набором определенного количества высотных точек. Для создания ЦМР производят математическое моделирование снимаемой топографической поверхности. При этом необходимо учитывать характер моделируемой местности, густоту и расположение пикетов. Для повышения достоверности воспроизведения форм рельефа при его моделировании исходные точки, по которым аппроксимируют поверхность, располагают на структурных и орографических линиях таким образом, чтобы выделить геоморфологические и гидрографические особенности местности.

После выбора аппроксимирующей функции вычисляют значения неизвестных параметров, для которых приближения к данной функции оказываются наилучшими, затем интерполируют высоты промежуточных точек. Массивы координат точек, составляющих горизонтالي, приводятся в ЭВМ к форме, необходимой для непосредственного ввода на аналитический координатограф (АК). Получив программу, АК автоматически вычерчивает составительский оригинал карты.

Технологический процесс с использованием данных аэросъемки отличается от процесса с использованием в качестве исходных данных результатов наземной полевой съемки тем, что в качестве исходных данных для ввода в ЭВМ используется информация, получаемая при обработке аэроснимков. В зависимости от целей создания ЦММ и наличия стереофотограмметрического оборудования возможны две основные технологические схемы. Первая базируется на аналого-аналитической обработке с помощью универсальных приборов, снабженных устройствами для автоматизированной регистрации цифровых данных. На основе предварительного проекта работ оператор в процессе обработки каждой из моделей регистрирует кодовую и цифровую информацию в намеченных на проекте структурных линиях и характерных точках рельефа модели. Цифровая информация, полученная в процессе такой обработки, вводится в ЭВМ.

При аналитической обработке аэрофотоснимков измерение снимков выполняют на автоматизированных стереокомпараторах и используют вычислительные комплексы, оснащенные дисплеями для корректировки полученной информации. По этим данным ЭВМ вычисляет координаты точек горизонталей и выдает на АК данные для последующего воспроизведения рельефа местности горизонталями.

## § XIII.6. Применение космической съемки

Главная задача космических исследований заключается во всестороннем изучении и исследовании Земли — ее природных ресурсов, динамики природных явлений, охраны окружающей среды, изучении и освоении ближайших планет и исследовании космического пространства.

В настоящее время материалы космических исследований широко используются в астрономии, геодезии, геологии, метеорологии, океанологии, географии и в других науках о Земле. Многие из наук обогатились новыми методами и достижениями, что привело к появлению таких научных направлений в изучении Земли, как космическая геодезия, космическая картография и др.

Использование результатов космической съемки для создания карт обуславливается прежде всего свойствами космических снимков: большой территориальный охват и связанная с этим «генерализованность» изображений; единовременность выполнения съемки обширных территорий, позволяющая изучать связь всех компонентов ландшафта; регулярная повторяемость съемки, позволяющая изучать динамику природных явлений. Исходя из этого можно выделить следующие направления применения космической съемки для создания карт.

1. *Использование космических снимков для создания топографических и общегеографических карт.* Космические снимки могут быть использованы для создания топографических карт на малоисследованные районы, не обеспеченные аэрофотосъемкой. В этом случае космические снимки рассматриваются как материал, заменяющий аэрофотоснимки, что позволит создать «первичные» топографические карты, которые впоследствии, при проведении дополнительных исследований, могут заменяться традиционными топографическими картами.

Одной из особенностей космической съемки является возможность обновления топографических карт на районы, интенсивно осваиваемые человеком. Выполнение космической съемки в широком диапазоне масштабов дает возможность вести обновление карт мелких и средних масштабов непосредственно по фотоснимкам, не дожидаясь обновления крупномасштабных карт, с выигрышем как в оперативности проведения работ, так и в полноте и современности информации. При этом космические снимки позволяют решать несколько задач.

2. *Установление оптимальной очередности обновления карт* на различные районы с учетом степени преобразования местности и перспектив хозяйственного использования территории. По снимкам выявляется степень старения карт и определяются трапеции для полного обновления или внесения исправлений в существующий оригинал карты камеральным путем. Во-вторых, открывается возможность обновления карт одновременно всего масштабного ряда или в той последовательности, в которой они используются для решения народнохозяйственных задач, т. е. от мелких и средних масштабов к более крупным.

3. *Использование космических снимков для создания фотокарт.* Фотокарты — новый вид картографических документов, на основе которых можно составлять взаимосвязанные серии тематических карт. Фотокарты в масштабах 1:1 000 000 и крупнее могут дополнять листы обзорно-топографических карт. Их графическая нагрузка в виде подписей названий населенных пунктов и орографии, координатной сетки и зарамочного оформления — минимальна. Фотокарты, входящие в серии тематических карт, могут быть дополнены графической и фоновой информацией. Фотокарты можно использовать как самостоятельное картографическое произведение, но наиболее целесообразно их использовать совместно с топографическим планом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом изучения топографии является поверхность Земли, характер, размеры, пространственное размещение составляющих ее элементов. Цель топографического изучения — создание плоской образно-знаковой модели поверхности Земли в виде топографической карты или плана. Метод изучения земной поверхности — топографическая съемка.

Чтобы достоверно изобразить земную поверхность на карте, необходимо знать фигуру и размеры Земли; установить систему координат, определяющую взаимное положение точек на картографируемой поверхности, необходимую степень уменьшения земного эллипсоида для его изображения на карте и способ проектирования его поверхности на плоскость; знать отличительные особенности, размеры и взаимное размещение составляющих поверхность элементов; определить систему условных



знаков и правила графического представления элементов земной поверхности.

Топографическая карта — подробное изображение отдельных участков земной поверхности (местности). С ее помощью получают достаточно полное представление о характере местности, имеющих на ней объектах, их качественных и количественных различиях. Принятая система условных знаков позволяет устанавливать однозначную связь между объектами местности и их изображением на карте. Благодаря этому топографическая карта используется для ориентирования на местности, нанесения на карту новых объектов, данные о которых получены во время полевых географических исследований, а также определения местоположения на местности запроектированных по карте объектов и др. Топографическая карта — основа для создания тематических карт.

Каждый лист топографической карты — изображение относительно небольшого участка земной поверхности, в пределах которого поверхность земного эллипсоида близка к плоскости. Искажения, неизбежно возникающие при изображении сферической поверхности на плоскости, практически неощутимы, поэтому топографические карты пригодны для проведения по ним измерений с наиболее высокой точностью в сравнении с другими картами. Однако даже на самых подробных картах вследствие генерализации отсутствуют некоторые объекты местности (элементы ситуации). Объекты, имеющиеся на карте, передаются с определенной степенью обобщения контуров, их очертания лишены части деталей; размеры отдельных объектов преувеличены, а их изображение сдвинуто относительно действительного положения для сохранения географического соответствия. Это необходимо учитывать при работе с картой.

Точность измерений по карте зависит от применяемых приборов и способа проведения работы. Их выбор определяется требованиями конкретного исследования. Процесс измерений по карте и на местности неизбежно сопровождается погрешностями получаемых результатов. Величина погрешностей оценивается с помощью математического аппарата.

Размеры составляющих земную поверхность элементов, их пространственное размещение, отличительные свойства, т. е. данные, необходимые для изображения этих элементов на карте, устанавливаются в результате

измерений, выполняемых непосредственно на местности или на фотоснимках (воздушных или наземных).

Измерительные работы делятся на линейные и угловые. Для их выполнения применяются приборы разной точности. Горизонтальные линейные измерения на местности выполняются землемерными лентами, рулетками, дальномерами нитяными. Эти работы требуют значительных затрат ручного труда. Совершенствованию методики измерений, повышению их точности, созданию условий для автоматизации работ способствует применение свето- и радиодальномеров. Линейные измерения для определения превышений между точками местности производятся с помощью нивелиров. Современные нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования, высокой степенью автоматизации измерений на основе лазерной техники ускоряют проведение работ. При выполнении относительно несложных угломерных измерений, при прокладке теодолитных ходов применяют технические теодолиты. Для высокоточных измерений используются специализированные теодолиты. Новые приборы, разработанные на основе микропроцессорной техники и квантовой электроники, обеспечивают высокую точность измерений и повышают производительность труда.

Необходимые измерительные работы при создании топографических карт по фотоснимкам проводятся с помощью специальных приборов (стереометров, стереопроекторов, стереографов и др.).

Линейные и угловые измерения составляют основу топографических съемок. Топографическая съемка включает создание геометрической основы и собственно съемочные работы. Геометрическую основу (геодезическую опорную сеть) топографических карт и планов создают с целью определения взаимного пространственного положения системы опорных точек, служащих геометрическими узлами топографической съемки. Такая схема работ обеспечивает выполнение принципа «от общего к частному». Второй принцип проведения съемочных работ — контроль правильности их выполнения на всех этапах, предусмотренных технологической схемой.

Из наземных видов топографической съемки наиболее часто применяется тахеометрическая съемка, так как она дает возможность сравнительно быстро выполнить необходимые полевые работы. План местности состав-

ляется в камеральных условиях. В отличие от тахеометрической мензульная съемка позволяет составлять план местности непосредственно на месте полевых работ; ее достоинством является наглядность: в процессе съемки местность и план постоянно сравниваются, что особенно важно в сложной местности. Мензульная съемка обеспечивает поэтому более точное построение плана местности, чем тахеометрическая. В настоящее время оба вида съемки применяются на относительно небольших участках, когда другие виды съемки (в том числе аэрофототопографическая) нецелесообразны. Для быстрого получения приближенного по точности плана местности в практике географических исследований находят применение буссольная и глазомерная съемки.

Фототопографическая съемка местности является основной съемкой больших территорий. Развитию этого вида работ по созданию топографических карт и планов способствует разработка автоматизированных методов дешифрирования фотоснимков, составления карт, построения профилей и др.

Наряду с аэрофототопографической и наземной фототопографической съемками все более широкое применение в топографии находят космические съемки. Они применяются для обновления топографических карт, создания фотокарт и других работ.

Большие задачи стоят перед топографо-геодезической службой страны по реализации Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года. В их числе обеспечение топографо-геодезическими материалами проектирования и строительства капитальных, промышленных и гражданских объектов, новых железнодорожных линий и автомобильных дорог, газотранспортных сетей и нефтепродуктопроводов. Немалая роль принадлежит топографам и геодезистам в осуществлении Долговременной программы мелиорации земель, их рекультивации, социального переустройства села. В ряду решаемых с их помощью задач — поиск и разведка полезных ископаемых, ускоренное развитие минерально-сырьевой базы страны, рациональное использование природных ресурсов, снижение потерь полезных ископаемых при их добыче. Топография и геодезия совместно с другими науками о Земле должны обеспечить более широкое и эффективное использование аэровысотных и космических средств изучения поверхности Земли и ее недр.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баканова В. В. Геодезия. М., 1980, 227 с.
- Вахрамеева Л. А. Картография. М., 1981, 224 с.
- Военная типография/ Под общей ред. А. С. Николаева. М., 1977, 280 с.
- Господинов Г. В., Сорокин В. Н. Топография. М., 1974, 359 с.
- Измайлов П. И., Нормандская О. В. Практикум по аэрофото-топографии. М., 1969, 160 с.
- Картография с основами топографии/ Под ред. А. В. Гедымина. М., 1973, ч. 1, 160 с.
- Кравцова В. И. Космическое картографирование. М., 1977, 168 с.
- Фотограмметрия/ Краснощекова И. А., Нормандская О. В., Кислова А. М. и др. М., 1978, 470 с.
- Кудрицкий Д. М. Геодезия. М., 1982, 416 с.
- Лаврова Н. П., Стеценко А. Ф. Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование. М., 1981, 296 с.
- Левицкий И. Ю., Крохмаль Е. М., Реминский А. А. Геодезия с основами землеустройства. М., 1977, 243 с.
- Лобанов А. Н. Фототопография. М., 1968, 266 с.
- Лобанов А. Н., Журкин И. Г. Автоматизация фотограмметрических работ. М., 1980, 239 с.
- Лысов Г. Ф. Поверки и исследования теодолитов и нивелиров в полевых условиях. М., 1978, 95 с.
- Маслов А. В., Гордеев А. В., Батраков Ю. Г. Геодезия. М., 1980, 616 с.
- Муравьев А. В., Гойдышев Б. И. Инженерная геодезия. М., 1982, 459 с.
- Мурашев С. А., Гебгарт Я. И., Кислицын А. С. Аэрофотогеодезия. М., 1976, 404 с.
- Прихода А. Г. Барометрическое нивелирование. М., 1972, 232 с.
- Редьков В. С. Руководство по техническому нивелированию и высотным теодолитным ходам. М., 1974, 71 с.
- Рытов А. В., Спиридонов А. И. Геодезические приборы для крупномасштабных топографических съемок. М., 1977, 174 с.
- Салищев К. А. Картоведение. М., 1982, 406 с.
- Селиханович В. Г., Козлов В. П., Логинова Г. П. Практикум по геодезии. М., 1978, 382 с.
- Серapiнас Б. Б. Топографические карты, фотоснимки и геодезические измерения. М., 1979, 182 с.
- Трембачев А. Ф. Учебная геодезическая практика. Киев, 1967, 105 с.
- Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000. М., 1977, 144 с.
- Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. М., 1973, 144 с.
- Федоров В. И., Шилов П. И. Инженерная геодезия. М., 1982, 351 с.
- Хренов Л. С., Мепуришвили Г. Е., Недешева Л. П. Практикум по геодезии. М., 1974, 227 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абрис 206, 207, 213, 247  
Азимут 32, 103, 197  
— астрономический 32  
— географический 32, 33, 35, 103  
— геодезический 32, 103  
— магнитный 32, 33, 35, 103  
— определение 103  
— — алгебраическое 103  
— — геометрическое (графическое) 103  
— — измерение по карте 104  
Алидада 141, 143  
Аэрорадионивелирование 165, 187, 190  
Аэрофотосъемка 257, 268  
Аэрофототопография 5
- Бабине формула 187  
Базис 134, 164  
Базисные сети 164  
— стороны (выходные) 134, 165  
Балтийская система высот 254  
Барометр-анероид 188  
Барическая ступень высот 187  
Барометр дифференциальный (статоскоп) 190  
— пружинный (анероид) 188  
Буссоль 124, 196, 246  
— Стефана 246  
Буссольная съемка 245, 247
- Вес измерения 44  
Вешение линии 132  
Веха 132  
Вспомогательное оснащение карты 52  
Выбор карты 90  
Высота 28  
— абсолютная 28, 107  
— геодезическая 28  
— ортометрическая 28  
— относительная 28, 107  
— методы определения 165  
— сечения рельефа 83, 242, 262, 264  
— точки 28 — —  
— — промежуточной 179  
— условная 28  
Высотное положение точки 5  
Высотный ход 186  
— — уравнивание 263
- Высотомер лазерный 190
- Галс 253  
— виды 254  
— — косой 254  
— — поперечный 254  
— — продольный 254  
Географическое соответствие карт 52  
Геодезическая задача обратная 31, 162  
— — прямая 30, 154, 160  
— основа карт 53  
— сеть 15, 53, 229  
— — высотная 16; 194  
— — плановая 16, 194  
— — планово-высотная 16  
— — сгущения 163, 165, 234  
— — государственная СССР 163  
— — съемочная 163, 165  
Геодезическое обоснование 194, 203, 229  
— — мензульной съемки 229  
— — — методы 229, 230  
— — тахеометрической съемки 203  
Геодезия 4  
Географическое описание местности 122  
Геоид 11  
Геометрическая сеть 234  
— — определение точек 235, 236  
— — точность карт 52  
Гидролокаторы метрические 254  
Горизонталь 69, 83, 241  
— вспомогательная 84, 241  
— основная 83  
— половинная (полугоризонталь) 84, 241  
— сплошная — см. основная 83  
— утолщенная 84, 122  
Горизонтальное проложение 20, 49, 123, 185, 206, 208, 219, 220  
Горизонтирование 148, 175, 228, 237
- Дальномер 127, 128, 203  
— коэффициент 130, 131, 201  
— оптический 127, 128

- — двойного изображения 130, 131
- — нитяный 129, 130, 136, 263
- физический 127
- Дешифрирование 264
- автоматическое 284
- — методы 284
- камеральное 264, 265
- полевое 264, 265
- — по маршрутам 265
- топографическое 264
- Дешифровочные признаки 265
- — косвенные 265
- — прямые 265, 284
- Длиномер 126, 128, 153
- Долгота 24
- астрономическая 25
- географическая 57, 98
- геодезическая 25
- западная 26
- восточная 26
- Достоверность карты 52, 87
- Дробышева линейка 209

#### Единицы мер 36

- времени секунда (с) 37
- давления паскаль (Па) 37
- линейных измерений метр (м) 36
- массы килограмм (кг) 37
- плоского угла радиан (рад) 37
- площади квадратный метр (м<sup>2</sup>) 37
- силы ньютон (Н) 37
- температуры кельвин (К) 37
- угловых измерений градус (°) 37
- частоты периодических электромагнитных (световых) колебаний герц (Гц) 38

#### Заложение 83

- график 108
- ската 83

#### Засечка графическая 230, 231, 235

- комбинированная 161, 230, 231
- мензульная 230
- обратная 161, 162, 230, 232, 253
- прямая 161, 230, 253

Землемерная лента 126, 127, 203

Земельная мера 111

Земля 11

- размеры 11

- фигура 11

Зона координатная 56—58

Зональная система координат 58, 59

Измерение линий 126

- — длиномером 126

- — землемерной лентой 126

- — инварной проволокой 126, 128

- — методика 131

- — рулеткой 126

- — точность результатов 137

- горизонтальных углов 140

Измерения 38

- геодезические 25

- градусные 12

- глазомерные 121

- классификация 38

- неравноточные 38, 39

- равноточные 38

Измеримость карт 51

Измерительные приборы 38

- — высокоточные 38

- — технические 38

- — точные 38

Изображение на карте 77

- — гидрографии 80

- — границ 86

- — грунтов 85, 86

- — дорожной сети 79

- — населенных пунктов 77

- — ограждений 86

- — опорных пунктов 86

- — промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов 77, 78

- — растительности 85

- — — древесной 85

- — — естественной 85

- — — искусственной 85

- — — травянистой 85

- — рельефа 81

- — — гипсометрическое 85

- — — горизонталями 83

- — — условными знаками 84

Изолинии 69

Интерполяция 107

Камеральные работы 208  
 Карта 52  
 — крупномасштабная 53  
 — мелкомасштабная 53  
 — общегеографическая 52  
 — топографическая 4, 5, 53, 193  
 — — многолистная 53  
 — — шельфа 89  
 — элементы 52  
 — среднемасштабная 53  
 Картографическая генерализация 52, 70, 73  
 — проекция 51, 54, 55  
 — — видоизмененная поликоническая 54  
 — — многогранная 54  
 — — равноугольная поперечно-цилиндрическая Гаусса 55, 56, 89  
 Картографические условные знаки 52, 66  
 — — — внемасштабные 67, 69  
 — — — линейные 67, 69  
 — — — площадные 67, 69  
 — — — обозначения 85  
 — — — буквенно-цифровые 67  
 — — — графические 67  
 — — — цветные 67  
 — — — цифровые 85  
 Картографическое изображение 51  
 Картография 5, 195  
 Карты анализ 90  
 — — визуальный 91  
 — — графический 91  
 — — картометрический 91  
 — — — математико-статистический 91  
 Километровая сетка 99, 126  
 Классификация съемок 195  
 Колонна карт 61  
 Компаратор 133  
 Компас 124  
 Компенсатор 185  
 Координатная сетка 58, 75, 76, 209—211  
 Координатограф 211  
 — автоматический 211, 285  
 — полевой 211  
 — стационарный 211  
 Координатомер 100  
 Координаты 24  
 — астрономические 25  
 — географические 25

— геодезические 25, 28, 98, 99  
 — — плоские прямоугольные 26, 98  
 — начало 24, 26, 54  
 — — отсчета 24—26  
 — — условное 27  
 — полярные 27, 208  
 — преобразованные 58  
 — система 24  
 — топоцентрические 27  
 Космическая топография 6  
 Коэффициент аффинности 274  
 Кривизна Земли 19—21  
 Крутизна склона 84  
 Курвиметр 97  
 — точность измерения 97

Лимб 141  
 — цена деления 141  
 Линия визирования 144  
 — водоразделов 109  
 — километровые 59, 76  
 — нивелирования 192  
 — тальвегов 109  
 — ската 104, 183  
 — ходовые 251

Масштаб 21, 51, 53, 71  
 — виды 92  
 — именованный 77, 92, 242  
 — линейный 77, 92, 242, 251  
 — — наименьшее деление 92  
 — — основание 92  
 — — — цена основания 93  
 — поперечный 95—97, 209  
 — численный 77, 92, 242  
 — шагов 250, 251

Масштабный ряд 53  
 Математическая основа карт 53  
 Мензула 196, 215, 216  
 — проверка 221  
 Мензульная (углоначертательная) съемка 215  
 Мензульный ход 237  
 — — буссольный 237  
 — — с ориентированием по прочерченным линиям 237, 238

Мера 36  
 — система 36  
 Меридиан 24  
 — географический 24, 32, 33, 77  
 — геодезический 25  
 — истинный 77

- касания 55
- магнитный 32, 33, 77
- начальный (Гринвичский) 25, 26, 57
- осевой (средний) 27, 32, 35, 54, 57, 58, 126

Местные предметы 68

Место нуля 184, 206, 208, 227

Метод автоматизации фототопографической съемки 281

- астрономический 153
  - геодезический 153
  - геометрического нивелирования 191
  - дифференцированный 267
  - засечки комбинированной 260
  - — — — — обратной 260
  - — — — — прямой 260
  - импульсный 138
  - интерполяции 107
  - определения фигуры и размеров Земли 13
  - — — — — астрономический 13
  - — — — — геодезический 14
  - — — — — космический 15
  - отбора проб 255
  - плановой привязки аэроснимков 260
  - полигонометрии 163
  - пересечения створа 18
  - проектирования земной поверхности на плоскость 19
  - промера 254
  - связи пунктов сети орбитальный 16
  - стереотопографический универсальный 272
  - — — — — синхронный 16
  - триангуляции 163
  - тригонометрического нивелирования 198
  - трилатерации 163
  - узловых точек 263
  - фазовый 138
- Микробарометр пружинный 188
- Монтаж фотопланов 261
- Наблюдения астрономические 25
- Наглядность карты 51
- Назначение карты 71
- Наименьшее деление масштаба 91

Направление линии обратное 32

— — — — — прямое 32

Начало координат 24, 26, 54

Невязка 239

- абсолютная линейная 159, 208
- высотная 209
- графическая 248, 249
- допустимая 179, 182, 192, 239
- линейная 158, 208, 239
- относительная 239
- предельная 192
- угловая 155, 158, 208
- хода 252

Нивелир 166, 171, 172

- горизонт прибора 167
- лазерный 174
- с компенсаторами 170, 173
- с цилиндрическим уровнем 170
- технический 174

Нивелирная государственная сеть СССР 191

Нивелирование 165

- барометрическое 165, 187, 189, 190
- — — — — способом ходов 189
- — — — — порядок работы на станции 189
- — — — — точность 190
- геометрическое 165, 166, 177, 198, 254, 260
- — — — — приборы 170
- гидростатическое 165
- горизонтальным лучом 262
- вперед 167
- из середины 167
- механическое 165
- поверхности 243
- — — — — по квадратам 243
- — — — — параллельных линий 243
- сложное 178
- техническое 191, 264
- тригонометрическое 165, 182, 186, 198, 235, 262
- физическое 165

Нивелирные знаки постоянные 192

- — — — — репер грунтовой 192
- — — — — скальный 192
- — — — — стеной 192



- — — фундаментальный 192
- Нивелирный ход 177
- — замкнутый 178
- — незамкнутый 178
- Номограмма 199
- Номограммные геодезические приборы 194
- Нормали 12, 25
- Номенклатура карт 61, 62, 100
- — определение 100
- листа 65, 242
- Нуль-пункт 144, 148, 174, 184, 249
- Обновление карт 195, 288
- Опознаки 259
- высотные 259, 260, 268
- высота 268
- планово-высотные 260
- — совмещенные 260
- плановые 259, 260
- привязка плановая 259
- Опорная сеть геодезическая 15
- Опорный пункт 15, 86
- — астрономический 87
- — государственный 87
- — местного значения 87
- — нивелирный 87
- — полигонометрии 87
- — триангуляции 87
- Ориентир-буссоль 216, 220, 222
- Ориентирование 32, 228
- глазомерное 124
- земного эллипсоида 13
- карты на местности 123
- линий 32
- с помощью буссоли 125, 126
- Орографическая схема рельефа 109
- Орографические (скелетные) линии 83, 242
- Ортофотокарта 283
- Ортофотоплан 283
- Ортофотопроектор Дробышева 283
- Ортофотоснимки 283
- Ортофототрансформирование 283
- Отвесная линия 11, 12, 19, 25
- — уклонение 12
- Отметка высоты 28
- Отмывка 84
- Отсчетное устройство 141
- — микроскоп шкаловый 142
- — — штриховой 142
- Оформление карт и планов 74
- Палетка 112, 213
- квадратная 112
- параллельная (линейная) 114
- цена деления 113
- Параллаксы точек стереопары 283
- — — поперечный 283
- — — продольный 283
- Параллель 24
- географическая 24
- Пикетажный журнал 181
- Пикет 263, 264
- высоты 264
- контурный (ситуационный) 205
- орографический 205
- съемочный 205
- План местности 273
- топографический 21, 24, 53, 193, 209, 215
- Планиметр 114
- полярный 115
- цена деления 115
- Плановое положение точки 4, 152
- Плановые координаты 152, 194
- — определение 194
- Планшет 197, 216, 233, 236
- Плоскость базисная 272
- меридиана астрономического 25
- — геодезического 25
- — начального 24
- экватора 24, 25
- Площадь 111
- способ определения 114
- — — аналитический 118
- — — взвешивания 118
- — — графический 114
- — — — точность 114
- — — палеткой 112
- — — механический 114
- — — — планиметром 114—118
- — — — — точность 118
- Поверхность изобарическая 190
- основная 11, 166
- относимости 18, 19, 192
- топографическая (физическая) 11, 166, 192

- уровенная 11, 12, 20, 166, 182, 190, 192
- — мгновенная 253, 254
- — условная 166
- Погрешность измерений 39
- — абсолютная 41, 155
- — внешняя 39, 40
- — двойная коллимационная 149
- — инструментальная 39, 152
- — истинная 39, 40
- — источники 152
- — личная 39
- — методическая 39, 40
- — округления 40
- — относительная 23, 41, 154, 155
- — предельная 43
- — систематическая 40
- — случайная 40, 152
- средняя квадратическая 41, 43, 45, 139, 212
- Полигонометрия 163
- Полнота содержания карт 52
- Полоса перекрытия зон 59
- — снимков 258
- Полюс 27, 197
- Полярная ось 27, 197
- Поперечное перекрытие снимка 258
- Поправка добавочная 188
- за кривизну Земли 169, 185
- за рефракцию 169, 185
- температурная 188
- шкаловая 188
- Превышение 28, 165—168, 178, 186, 194, 206, 208, 219, 278
- Привязка 257, 259
- Приращение координат 30, 49, 155, 158, 159, 208
- Продольное перекрытие снимка 258
- Проекция горизонтальная 19, 21
- картографическая 21
- ортогональная 20, 21, 30, 258, 273
- центр 20
- центральная 20, 258
- Проложение ходов 262
- Профиль 182
- местности 109

**Радиогодезия 17**

- Радиовысотомер 190, 191
- Радиогодезические системы 18
- Радиодальномер 137, 139
- Разграфка карт 61—66
- Рамка листа карты 75
- оформление 75
- Расстояние дальномерное 136
- неприступное 134
- Рейка 130, 216, 219, 221
- дальномерная 130
- нивелирная 170, 172, 201
- Рельеф 81
- изображение 80
- — способ горизонталей 83
- линии орографические 83
- — характерные 81
- — — водоразделов 81
- — — тальвегов (линия водотока) 82
- местности 68
- Репер 192
- Референц-эллипсоид 13, 19
- точка ориентирования 13
- Румб 35
- Рулетка стальная 128
- Ряд измерений 40
- Сближение меридианов 28, 29, 33, 35, 77, 126
- — Гауссово 60, 126
- — — восточное 60
- — — западное 60
- — отрицательное 35
- — положительное 35
- Сборные таблицы 100
- Светодальномер 137, 138
- точность измерений 139
- Сгущение нивелирной сети 193
- Сжатие Земли 12, 14
- Система высот 28
- координат 24
- — географических 24
- — плоских прямоугольных 24
- — полярных 24
- — прямоугольных 24
- Ситуация 68
- Скатоуказатель 84
- Склонение магнитной стрелки 34, 126
- восточное 34
- западное 34
- изменения 34
- магнитное 34, 77
- Случай съемки 278

- — нормальный 279
- — равномерно отклоненный 279
- Снеллиуса — Потенота задача 231
- Современность карты 52
- Содержание карты 52
- Составительский оригинал карты 195
- Способ азимутальных засечек 247
- вешение на себя 132
- — от себя 132
- горизонталей 83
- изображения рельефа 83
- изолиний 69
- линейных засечек 197
- наращивания 94
- параллельных линий 243, 249, 252
- перпендикуляров (прямоугольных координат) 197, 247
- поворотов планшета 233
- полигонов 247
- полярный 197, 205, 240
- постепенного приближения к створу 132
- створов 197, 243
- угловых засечек 197
- условного нуля 41, 46
- Ю. М. Шокальского 95
- Среднее арифметическое 41, 42
- Стереоавтограф 277
- Стереограф Дробышева 274, 276
- Стекометр 282
- Стереокомпаратор 268, 269, 277, 282, 283
- прецизионный 282
- Стереометр 268, 269
- Дробышева 269, 270
- Стереопроектор Романовского 274, 275
- Стереоприборы автоматические 281
- Стереоскоп 267
- складной зеркально-линзовый 267
- Стереозффект естественный 267
- Стереотригономат 283
- Стереофотограмметрическая обработка 267

- Съемка аэрофототопографическая 198, 256
- — комбинированная 256
- буссольная 196
- глазомерная 196, 250, 251
- космическая 287, 288
- мензульная 196, 215, 237
- рельефа 240
- ситуации 240
- стереотопографическая 266
- тахеометрическая 196, 198
- топографическая 4, 193
- — шельфа 253
- фототопографическая наземная 256, 276, 277
- — комбинированная 256
- Съемочное обоснование 229, 262
- — высотное 262
- — плановое 229
- — сгущение точек 229
- Съемочный оригинал карты 195
- Сфероид 15
- Теодолит 142
- верньерный 146
- высокоточный 145
- горизонтирование 148
- классификация 145
- компенсаторный 185
- оптический 146, 199
- поверка 146, 148, 149
- специализированный 146
- — гиротеодолит 146
- — кинотеодолит 146
- — кодовый 146
- — лазерный 146
- — приборы спутниковой геодезии 146
- — радиотеодолит 146
- технический 145, 146, 199
- точный 145, 147
- центрирование 150
- юстировка 148
- Теодолитный ход 153
- — виды 153
- — замкнутый 155
- — начальный угол 154
- — разомкнутый 155, 160
- Тахеометр 153, 196, 198, 199
- с авторедукционным дальномером двойного изображения 200
- внутрибазный 200, 202

- номограммный 199, 201
- редуционный 153, 199
- электронно-оптический 200
- электронный 153
- Тахеометрические таблицы 208
- Тахеометрический ход 203
  - — одиночный 203
  - — разомкнутый 203
- Термометр-пращ 188
- Топографическая карта 4, 19
  - съемка 4, 195
  - — воздушная 195
  - — наземные 195
  - — — топографическая 195
  - — — фототопографическая 195
- Топографический план 21, 24, 53, 193, 209, 215
- Топография 4
  - космическая 6
- Топокарт 283
- Точки иксовые 181
  - контрольные 277
  - начальные 152
  - обоснования 247
  - опорные 242, 260
  - плановые координаты 152
  - плюсовые 181, 182, 244
  - переходные 239
  - поперечников 181, 182
  - промежуточные 179, 244
  - продольный параллакс 268—270
  - связующие 178, 244
  - съемочные 196, 242
  - трансформационные 261
  - условного горизонта 110
- Точность геометрическая карт 87
  - измерений 88
  - предельная масштаба 88
  - определения крутизны склона по карте 109
- Трансверсали 95
- Транспортир круговой тахеометрический 212
- Трансформирование дифференциальное 283
  - снимков 261
- Триангуляция 163
- Трилатерация 163
- Увязка высотных ходов 263
  - угловых измерений 156, 208
  - — — допустимая 156
  - — — практическая 156
- Угол вертикальный 20, 27, 143, 146, 194, 202, 205, 263
  - горизонтальный 20, 140, 146, 205
  - измерение 140, 150
  - — способ полного приема 150
  - — — полуприемов 150
  - — — приемов 150
  - дирекционный 35, 39, 154, 158, 160, 162
  - — базиса фотографирования 278
  - линейный 140
  - наклона 107, 108, 134, 135, 136, 183
  - ориентирования 32, 102, 103
  - способ определения 32
  - — — графоаналитический 102
  - — — непосредственного измерения 102
  - — — обратной геодезической задачи 103
  - параллактический 129, 202
  - сближения меридианов 28
  - уклона 108
- Уровни 144
  - цена деления 144
- Уровенные наблюдения 253
- Флуктуация 41
- Формулы теодолитной съемки 279
- Фотограмметрическая обработка 256
- Фотограмметрическое сгущение опорной сети 257, 260, 266
- Фотограмметрия 5, 256
- Фотокарта 288
- Фотоплан 256, 257, 266, 288
  - дешифрирование 268
  - монтаж 261
  - топографический 256
- Фототеодолит 277, 278
- Фототопографическая съемка 255
  - — аэрофототопографическая 255
  - — наземная (фототеодолитная) 255
- Фототопография 5, 255
- Фототрансформатор 261
- Фототриангуляция 260
  - способы 260

Футшток 28  
— Кронштадский 28, 191  
  
Цельсия шкалы 37  
Центрировочная вилка 216, 222  
Циркуль-измеритель 209  
Цифровая топографическая модель местности 285  
Цифровые методы моделирования картирования территории 285  
  
Число необходимых величин (измерений) 39  
— избыточных величин 39  
  
«Шаг» измерителя 94  
Широта 24  
— астрономическая 25  
— геодезическая 25  
— географическая 24, 98  
— северная 25

— южная 25  
Широтные ряды 61  
Шкала высот 213  
Штангенциркуль — см. циркуль-измеритель 209, 210  
  
Экватор 24, 25, 55  
Эклиметр 135  
Элементы ситуации 194, 204  
— съемки 194, 204  
Эксцесс угловых величин 23  
— сферический 24  
Элементы карты 52  
Эллипсоид 12  
— земной 12  
— — размеры 12  
— Красовского 12, 13, 54, 60  
Эхолот 254  
Эхограммы 254  
  
Юнга формула 161  
Юстировка 148, 175

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
§ 1. Предмет топографии и геодезии. Топографическая карта . . . . .	4
§ 2. Связь топографии и геодезии с другими науками. Их роль в развитии народного хозяйства . . . . .	5
§ 3. Краткий очерк истории развития топографии и геодезии . . . . .	7
<b>Глава I. Общие сведения</b>	
§ 1.1. Фигура и размеры Земли . . . . .	11
§ 1.2. Понятие о методах определения фигуры и размеров Земли . . . . .	13
§ 1.3. Понятие о геодезических сетях . . . . .	15
§ 1.4. Методы проектирования и проекции земной поверхности на плоскость . . . . .	19
§ 1.5. Понятие о масштабе . . . . .	21
§ 1.6. Размеры участков земной поверхности, принимаемые за плоские. Топографический план . . . . .	21
§ 1.7. Системы координат для определения положения точек земной поверхности . . . . .	24
§ 1.8. Сближение меридианов и его определение . . . . .	28
§ 1.9. Связь плоской прямоугольной и полярной систем координат . . . . .	30
§ 1.10. Ориентирование линий . . . . .	32
§ 1.11. Единицы мер, применяемые в топографии и геодезии . . . . .	36
<b>Глава II. Элементы теории погрешностей измерений</b>	
§ II.1. Измерения и их классификация . . . . .	38
§ II.2. Погрешности измерений . . . . .	39
§ II.3. Математическая обработка результатов равно- точных измерений одной величины . . . . .	40
§ II.4. Математическая обработка результатов нерав- ноточных измерений одной величины . . . . .	44
§ II.5. Основы геодезических вычислений . . . . .	46
<b>Глава III. Топографические карты и планы СССР</b>	
§ III.1. Основные свойства картографического изобра- жения земной поверхности. Предъявляемые к нему требования . . . . .	51
§ III.2. Отличительные особенности топографических карт . . . . .	53
§ III.3. Математическая основа . . . . .	53
§ III.4. Разграфка и номенклатура . . . . .	61

§ III.5. Картографические условные знаки для изображения элементов ситуации и рельефа земной поверхности . . . . .	66
§ III.6. Понятие о картографической генерализации . . . . .	70
§ III.7. Особенности оформления топографических карт и планов . . . . .	74
§ III.8. Изображение населенных пунктов . . . . .	77
§ III.9. Изображение промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов . . . . .	78
§ III.10. Изображение дорожной сети . . . . .	80
§ III.11. Изображение гидрографических объектов . . . . .	81
§ III.12. Изображение рельефа . . . . .	85
§ III.13. Изображение растительности и грунтов . . . . .	86
§ III.14. Изображение границ и ограждений . . . . .	86
§ III.15. Изображение опорных пунктов . . . . .	87
§ III.16. Полнота, достоверность и точность топографических карт. Точность измерений по картам . . . . .	89
§ III.17. Топографические карты шельфа . . . . .	89
<b>Глава IV. Решение задач по топографическим картам</b> . . . . .	90
§ IV.1. Анализ топографических карт . . . . .	92
§ IV.2. Измерение расстояний . . . . .	98
§ IV.3. Определение географических и прямоугольных координат . . . . .	98
§ IV.4. Определение номенклатуры и координат углов рамки листа топографической карты . . . . .	100
§ IV.5. Определение углов ориентирования . . . . .	102
§ IV.6. Определение количественных характеристик рельефа и другие задачи, решаемые по карте с помощью горизонталей . . . . .	104
§ IV.7. Определение площадей . . . . .	111
§ IV.8. Глазомерные измерения . . . . .	121
§ IV.9. Географическое описание местности . . . . .	122
§ IV.10. Ориентирование карты на местности . . . . .	123
<b>Глава V. Измерение длин линий на местности</b> . . . . .	126
§ V.1. Понятие об измерении линий . . . . .	126
§ V.2. Приборы для линейных измерений . . . . .	127
§ V.3. Методика измерения длин линий . . . . .	131
§ V.4. Точность результатов измерений . . . . .	137
§ V.5. Понятие о свето- и радиодальномерах. Измерение длин линий с их помощью . . . . .	137
<b>Глава VI. Измерение горизонтальных углов на местности</b> . . . . .	140
§ VI.1. Принцип измерения горизонтальных углов . . . . .	140
§ VI.2. Прибор для измерения углов . . . . .	141
§ VI.3. Классификация теодолитов . . . . .	145
§ VI.4. Оптические теодолиты. Устройство и проверки . . . . .	150
§ VI.5. Измерение горизонтальных углов . . . . .	150
<b>Глава VII. Определение плановых координат точек на местности</b> . . . . .	153
§ VII.1. Теодолитные ходы, их виды. Вычисление координат точек теодолитных ходов . . . . .	153
§ VII.2. Вычисление координат точек прямыми и обратными засечками . . . . .	161
§ VII.3. Государственная геодезическая сеть СССР . . . . .	163

## Глава VIII. Определение высот точек на местности

§ VIII.1. Методы определения высот . . . . .	165
§ VIII.2. Геометрическое нивелирование . . . . .	166
§ VIII.3. Приборы и принадлежности геометрического нивелирования . . . . .	170
§ VIII.4. Производство геометрического нивелирования . . . . .	177
§ VIII.5. Нивелирование для построения профиля . . . . .	180
§ VIII.6. Тригонометрическое нивелирование . . . . .	182
§ VIII.7. Барометрическое нивелирование. Понятие об аэрорадионивелировании . . . . .	187
§ VIII.8. Государственная нивелирная сеть СССР . . . . .	191

## Глава IX. Съёмка местности. Общие сведения

§ IX.1. Виды работ по созданию топографических карт . . . . .	193
§ IX.2. Классификация съёмок. Понятие об обновлении карт . . . . .	195
§ IX.3. Виды и способы топографической съёмки местности . . . . .	196

## Глава X. Тахеометрическая съёмка

§ X.1. Сущность тахеометрической съёмки . . . . .	198
§ X.2. Приборы тахеометрической съёмки . . . . .	199
§ X.3. Геодезическое обоснование тахеометрической съёмки . . . . .	203
§ X.4. Выполнение тахеометрической съёмки . . . . .	204
§ X.5. Камеральные работы . . . . .	208

## Глава XI. Мензурная съёмка

§ XI.1. Сущность мензурной съёмки . . . . .	215
§ XI.2. Приборы мензурной съёмки . . . . .	216
§ XI.3. Геодезическое обоснование мензурной съёмки . . . . .	229
§ XI.4. Мензурные засечки . . . . .	230
§ XI.5. Геометрическая сеть . . . . .	234
§ XI.6. Мензурные ходы . . . . .	237
§ XI.7. Переходные точки . . . . .	239
§ XI.8. Съёмка ситуации и рельефа . . . . .	240

## Глава XII. Другие виды топографической съёмки

§ XII.1. Нивелирование поверхности для построения крупномасштабного плана . . . . .	243
§ XII.2. Буссольная съёмка . . . . .	245
§ XII.3. Глазомерная съёмка . . . . .	250
§ XII.4. Топографическая съёмка шельфа . . . . .	253

## Глава XIII. Фототопографическая съёмка местности

§ XIII.1. Методы фототопографических работ . . . . .	255
§ XIII.2. Комбинированная аэрофототопографическая съёмка . . . . .	256
§ XIII.3. Стереотопографическая съёмка . . . . .	266
§ XIII.4. Наземная фототопографическая съёмка . . . . .	276
§ XIII.5. Методы автоматизации фототопографической съёмки . . . . .	281
§ XIII.6. Применение космической съёмки . . . . .	287

Заключение . . . . .	288
Список литературы . . . . .	292
Предметный указатель . . . . .	293