



А. М. КУПРИН

**КАК  
СОЗДАЕТСЯ  
ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ  
КАРТА**



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Топографическая карта получила широкое распространение в нашей жизни. Нет ни одной отрасли народного хозяйства, связанной с использованием поверхности Земли, которая могла бы вести свою работу без топографической карты. В ней нуждаются строители и геологи, изыскатели и специалисты лесного хозяйства, агрономы и землеустроители. Особенно широко используется карта в военном деле. По ней командир изучает боевую обстановку, принимает решение и управляет подразделениями в бою, ее используют для подготовки артиллерийского огня и пуска ракет.

Но мало кто знает, каких усилий стоит создание каждого листа топографической карты. Очень хорошо по этому поводу сказано в известном романе Г. Федосеева «Смерть меня подождет»:

«Карта ... Сколько человеческого труда, героизма вложено в нее. Знайте это, помните об этом, когда рассматриваете карту, когда прослеживаете взглядом условные знаки, голубые змейки рек, зеленые клинья тайги, коричневые извивы горных кряжей или читаете глубины морей и океанов».

И действительно, в карту вложен кропотливый и нелегкий, зачастую полный лишений, труд многих людей различных специальностей. Летчики произвели аэрофотосъемку картографируемой территории, астрономы и геодезисты создали каркас карты в виде сети пунктов триангуляции, топографы определили местоположение

местных предметов, показали их условными знаками и зарисовали рельеф, редакторы отредактировали содержание карты, чертежники оформили оригинал и, наконец, издатели отпечатали тираж. Так, в конце концов, пройдя большой путь, рождается топографическая карта.

В настоящей брошюре невозможно дать хотя бы поверхностное описание всего комплекса аэрофотосъемочных, топографо-геодезических и картографических работ. Для этого потребовалось бы учебное пособие большого объема. Но мы и не ставим такой цели. Наша задача более узкая — ознакомить лишь с одним процессом создания карты — непосредственно с топографической съемкой местности, начиная с самых простейших способов, в результате которых получают приближенные схемы, и кончая современными способами аэрофототопографической съемки. Кроме того, в брошюре излагаются некоторые вопросы практического использования топографических карт и отдельные приемы работы с картой.

## ЧТО ТАКОЕ ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА

В повести А. Гайдара «Дым в лесу» описывается такой эпизод. Герой повести, от имени которого ведется рассказ, случайно попал к месту аварии самолета. Летчик Федосеев был ранен и нуждался в помощи.

«— Послушай, — спросил он, — ты карту знаешь?

— Знаю, — ответил я, — Москва, Ленинград, Минск, Киев, Тифлис...

— Эх, ты, хватил в каком масштабе! Ты бы еще начал: Европа, Америка, Африка, Азия. Я тебя спрашиваю: если я тебе по карте начерчу дорогу, ты разберешься?

Я замялся.

— Не знаю, Василий Семенович. У нас это по географии проходили, да я что-то плохо...

— Эх, голова! То-то плохо».

Нетрудно догадаться, что тут речь идет о картах, имеющих разное назначение. Летчик Федосеев, задавая вопрос герою повести, имел в виду карту не географическую, а топографическую, по которой можно найти на местности нужный путь.

Что же представляет собой топографическая карта и чем она отличается от других карт? Основное отличие — в масштабе. Условно принято к топографическим картам относить карты масштабов 1 : 300 000 и крупнее, т. е. карты, на которых местность изображена с уменьшением всех расстояний до 300 000 раз. При таком уменьшении расстояний на карте можно показать все населенные пункты, дороги, леса, кустарники, реки, ручьи и другие объекты. На более мелких картах местность отобра-

жается с некоторыми пропусками и обобщениями, так как масштаб уже не позволяет разместить на них все объекты местности. Вспомните, кстати, известные строки М. Ю. Лермонтова:

«Тамбов на карте генеральной  
Кружком означен не всегда.»

Но было бы неправильным проводить строгое разграничение между крупномасштабными и мелкомасштабными картами, называя первые топографическими, а вторые географическими. По сути дела всякая карта, на которой отображается земная поверхность, будет географической, а топографическая карта представляет собой лучший образец географической.

Вообще говоря, понятия о крупном и мелком масштабе условны. Топограф может считать мелким масштаб  $1 : 100\,000$  (в  $1\text{ см } 1\text{ км}$ ), а в картографических библиотеках даже такой масштаб, как  $1 : 1\,000\,000$  (в  $1\text{ см } 10\text{ км}$ ), называют крупным. Поэтому и выделение топографических карт из географических по масштабному признаку является весьма условным. Более правильно следовало бы раскрыть понятие «топографические карты» по их содержанию и назначению.

Топографические карты представляют собой подробное и точное изображение местности. На топографических картах неровности земной поверхности и все местные предметы изображены настолько детально, что по ним можно представить действительную местность со всеми ее подробностями. Они могут быть использованы в качестве путеводителя, а также для детального изучения местности и решения различных инженерных задач.

В соответствии с таким определением к топографическим картам можно отнести и карту масштаба  $1 : 500\,000$  на необжитую местность или на районы с однообразным ландшафтом. По такой карте, так же как и по картам бо-

лее крупных масштабов, можно изучать местность, успешно ориентироваться на ней.

Топографические карты прошли большой путь развития. В далеком прошлом это были примитивные чертежи, составленные на глаз или по рассказам местных жителей. Конечно, такие чертежи по своей точности и детальности были далеки от современных топографических карт, но тем не менее по ним можно было представить изображенную местность. Рассмотрим некоторые способы создания таких простейших карт.

## **КАРТЫ ТУЗЕМЦЕВ**

Успех всех экспедиций знаменитого мореплавателя Кука во многом определил туземец острова Таити молодой жрец Тупиа. У полинезийцев не было ни письменности, ни карт, и Тупиа на лист бумаги нанес семьдесят четыре острова, расположенных в радиусе 3000 км, причем указал примерные румбы, под которыми эти острова расположены относительно острова Таити. Способность этого человека запоминать местность помогла создать карту, благодаря которой Кук сделал крупнейшие географические открытия.

Автору этой брошюры пришлось производить топографическую съемку на северо-восточных окраинах нашей страны. Территория была необжитой, и не могли найти даже проводника из местных жителей. Наша работа подходила к концу. Карта была почти готова, но на ней отсутствовали надписи собственных названий рек, озер, горных массивов, урочищ и других объектов местности. А это очень существенный недостаток карты. Вспомним возмущение Паганеля из романа «Дети капитана Гранта»:

«Ручей без названия, — восклицал он, — это все равно, что человек без прав гражданства: он не существует для географии!»

Наконец, на нашем пути встретилось стойбище чукчей и мы поспешили выяснить у них названия географических объектов. И вот здесь мы оказались свидетелями удивительной способности чукчей запоминать местность. Один пожилой чукча попросил лист бумаги, зарисовал на нем взаимное расположение рек, озер, горных вершин, перевалов. Получилась довольно наглядная схема местности, т. е. приближенная карта. Она причудлива, несовершенна, но в ней заложены те же принципы изображения местности, которые мы находим на обычной карте. Местные жители, показывая на схеме зарисованные объекты, сообщали нам их названия. Мы сравнили схему с нашей картой и были поражены правдоподобием схемы, которую чукча составил за несколько минут по памяти.

Способность запоминать местность свойственна каждому человеку, но особенно сильно она развита у людей, близких к природе. Интересное описание дается и в романе Ф. Купера «Следопыт». Приведем соответствующее место из этого романа:

«— Я уже здесь побывал; впрочем, не на этом самом месте: мы останавливались там, где виден пораженный молнией дуб.

— Как вы можете, Следопыт, запоминать с такой точностью все эти мелочи?

-- Это — наши дома и улицы, наши храмы и дворцы. Мне ли их не помнить! Однажды мы с Великим Змеем назначили друг другу свидание через шесть месяцев в полдень, возле ели, а сами были от нее в трехстах милях. Если не сожгла ее молния, это дерево и теперь еще, наверно, стоит посреди леса, милях в пятидесяти от всех поселений».

Хорошая, так называемая предметная, память Следо-



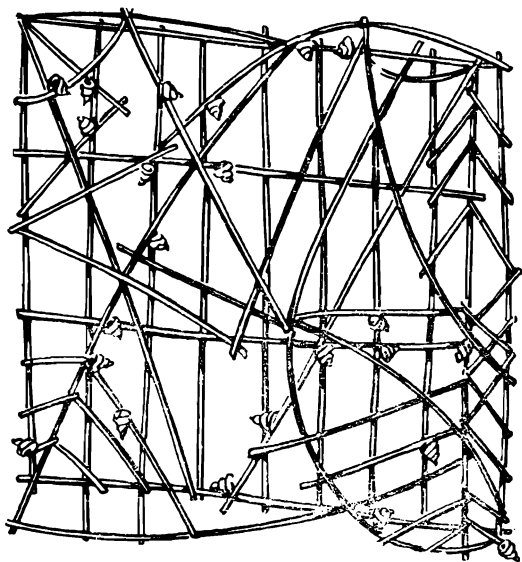


Рис. 1. Морская карта жителей маршалловых островов

пыта явилась следствием постоянного общения с природой, систематической тренировкой и большой практикой. Попробуйте и вы потренировать свою память. Возьмите лист бумаги и зарисуйте на нем маршрут, по которому вам приходилось часто проходить. При очередной прогулке сличите вашу схему с местностью. Возможно, она будет очень далека от совершенства. Однако после нескольких тренировок вы можете в достаточной степени овладеть этим искусством.

Конечно, такие самодельные карты весьма схематичны, но ими нередко пользуются при длительных переходах. Особый интерес представляют так называемые «морские

карты», бывшие в употреблении у островитян Океании. Жители Маршалловых островов с незапамятных времен бороздили на каноэ безбрежные пространства Тихого океана. А ведь они понятия не имели даже о компасе. Но у них были свои карты. Выглядели они необычно: на каркасе из пальмовых листьев закреплялись лианами палочки и раковины (рис. 1). Прошло много лет, пока иноземцы узнали тайну этих карт. Оказалось, что палочки обозначают гребни океанских волн, а раковины — острова. Внимательно наблюдая за океаном на протяжении многих поколений, островитяне заметили, что, встречая на своем пути землю, волны отклоняются от прежнего пути, меняют свои очертания. Значит, следя за волнами, можно найти путь к земле.

## **ОЧЕРТЕНИЕ ТАИНСТВЕННОГО ОСТРОВА**

По описаниям местности, в которых содержатся данные о взаимном расположении объектов местности и о расстояниях между ними, можно составить приближенную карту-схему местности.

Приведем описание Таинственного острова из одноименного романа Жюль Верна:

«В той части берега, куда пристали наши путники, когда их шар потерпел крушение, имелась широкая бухта, ограниченная с юго-востока остроконечным мысом, который во время первого путешествия Пенкрофа был скрыт от его глаз. С северо-востока бухту защищали две других косы, а между ними был узкий залив, похожий на пасть огромной акулы.

В направлении с северо-востока на юго-запад берег выдавался в море округлым выступом, напоминавшим приплюснутый череп какого-то хищного зверя, а затем, близ того места, где находился потухший вулкан, поднимался горбом несколько расплывчатых контуров. Далес берег тянулся с севера на юг довольно плавной кривой вплоть до небольшой бухты, врезавшейся в берег на середине периметра острова, а за нею изгибался скалистый мыс, похожий на хвост гигантского аллигатора. Этот мыс представлял собою оконечность большого полуострова тридцати миль длиною, считая от юго-восточного мыса, о котором мы уже упоминали; внизу берег полуострова плавно изгибался, образуя широкий открытый залив. Таковы были причудливые очертания острова.

В самой узкой своей части — между Трущобами и бухтой, лежащей на западном берегу, как раз напротив них, — остров имел только десять миль в поперечнике, а в самой широкой части — от северо-восточного мыса, похожего на челюсть акулы, и до юго-западной оконечности острова — не меньше тридцати миль».

Пользуясь приведенным описанием острова, приступим к составлению карты. Прежде всего на листе бумаги прочертим стрелку север—юг и линию, проходящую с юго-запада на северо-восток. Эта линия определит основное направление острова. Выберем масштаб и отложим на прочерченной линии 30 миль. Полученные точки на концах линии соответствуют положению северо-восточного мыса острова и мыса, похожего на хвост аллигатора. Далее внимательно читаем описание и по нему рисуем контур побережья, соблюдая условие, чтобы между Трущобами и заливом, лежащим на западном берегу острова, было 10 миль.

Составленная нами контурная карта острова показана на рис. 2. Не правда ли, наш остров очень похож на

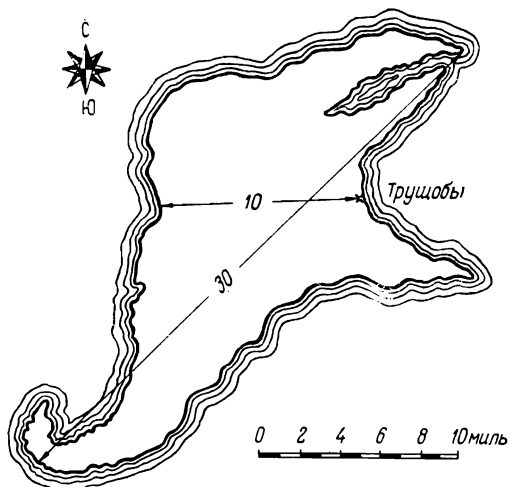


Рис. 2. Приближенная карта Таинственного острова, составленная по описанию

какое-то фантастическое животное, чудовищное крылоное, спящее на волнах Тихого океана?

Если вы располагаете временем, попробуйте самостоятельно зарисовать ситуацию острова. Прежде всего внимательно прочтите описание маршрутов, по которым следовали наши герои. При описании маршрутов указано с достаточной подробностью местоположение рек, озер, гор, лесов и других местных предметов. Пользуясь описаниями, аккуратно нанесите эти объекты на свое место.

Конечно, такая карта будет схематичной. Тем не менее по ней можно иметь представление о местности, где

происходят события. И если бы карта составлялась по описанию реального участка местности, ее можно было бы использовать в качестве путеводителя.

## **СПОСОБ ПЕРПЕНДИКУЛЯРОВ**

Вы получаете новую квартиру. Еще когда дом строился, вы несколько раз заходили в квартиру и заранее наметили, где устроить спальню, где столовую, но когда вы привезли мебель и начали расставлять ее по комнатам, выяснилось, что книжный шкаф загородил окно, стол — проход, а кровать и диван вообще не могут поместиться рядом.

Чтобы не допустить бесполезной перестановки мебели, вам надо предварительно заняться составлением плана вашей новой квартиры со всеми окнами и дверями. После вычерчивания плана в определенном масштабе обмеряется вся мебель. Затем из плотной бумаги можно вырезать прямоугольники, квадратики и кружки, представляющие собой мебель в масштабе плана, и передвигать их по плану до тех пор, пока расстановка покажется наиболее удобной.

Съемку плана квартиры каждый из читателей может произвести без особых затруднений, так как все углы в комнатах прямые. Пользуясь этим же принципом, можно произвести съемку и любого объекта местности.

Предположим, нам предстоит произвести съемку озера со всеми изгибами береговой линии. Для этого вокруг озера строится прямоугольник (рис. 3) и вершины его отмечаются вешками 1, 2, 3, 4. От каждой стороны прямоугольника измеряются длины перпендикуляров, опущенных из приметных точек берега, и расстояния от вешек

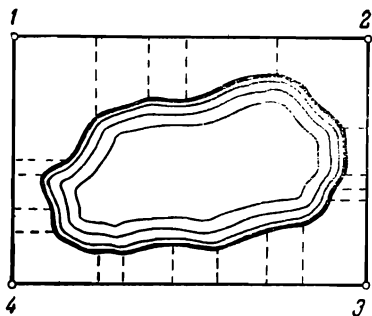


Рис. 3. Съёмка озера по перпендикулярам

до оснований перпендикуляров. Все измерения записываются на схеме и затем по этим данным аккуратно вычерчивается план озера в заданном масштабе.

Инструменты для такой съёмки потребуются очень простые: экер, прибор для построения прямых углов, и рулетка. Экер очень легко сделать самим. Возьмите две гладкие дощечки, скрепите их крест-накрест и насадите на палку с заостренным концом (рис. 4). С помощью линейки и угольника нанесите на крестовине две взаимно перпендикулярные линии и во все четыре конца их воткните по булавке. Экер готов. Чтобы отложить прямой угол, установите его на исходную точку и смотрите одним глазом вдоль булавки 1 и 3. В створе этих булавки ваш товарищ по вашим сигналам ставит вешку. Точно так же ставится и вторая вешка, но уже по двум другим булавкам (2 и 4). Таким приемом на местности строится прямой угол с вершиной в точке стояния.

Второй прибор — рулетка — всем известен и широко распространен. Поэтому нет надобности пояснять, как им пользоваться.

Съёмку по перпендикулярам можно вести и без всяких приборов, только для этого нужно научиться отме-

чать на местности прямые углы и измерять расстояния шагами.

Рассмотрим один из простейших приемов провешивания перпендикулярных линий.

Допустим, к данной линии, отмеченной двумя вешками, вам нужно восставить перпендикуляр. Встаньте в створе этой линии лицом по направлению к одной вешке и, не поворачивая пока головы, протяните руку в ту сторону, куда желаете провести перпендикуляр. Сделав это, приподнимите большой палец своей вытянутой руки, поверните к нему голову и заметьте, какой предмет покрывается большим пальцем, если на него смотреть соответствующим глазом (т. е. правым, когда вытянута правая рука, и левым — когда левая).

Вам остается лишь отметить на земле прямую линию от места, где вы стояли, к замеченному предмету — это и будет искомый перпендикуляр.

Несмотря на свою простоту, этот прием при некоторой тренировке обеспечивает достаточную точность откладывания на местности прямых углов.

Измерение расстояний шагами известно с древних времен. Большинство людей при ходьбе делают настолько одинаковые шаги, что они могут служить прекрасной единицей расстояний. Обыкновенно длина шага равна половине человеческого роста, считая до уровня глаза. У взрослого человека она составит в среднем 0,7—0,8 м.

Для получения наиболее точных результатов измерений необходимо проверить длину своего шага, узнать так называемую «цену» шага. Проверку лучше всего про-

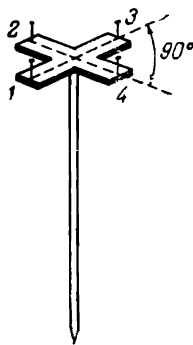


Рис. 4. Экер — простейший прибор для построения прямых углов

изводить на шоссе́йной дороге с километровыми столбами. Расстояние между ними нужно пройти ровным шагом и вывести среднюю величину шага.

Допустим, в 1000 м среднее количество шагов у вас получилось 1665. Значит, длина вашего шага будет равна 0,6 м (1000 : 1665).

Существует эмпирическая формула, предложенная М. Беляковым, для определения средней длины шага (СШ) человека по его росту Р.

$$\text{СШ} = \frac{Р}{4} + 37.$$

Шаги считают обычно парами. Замечено, однако, что при счете шагов парами та нога, под которую ведется счет, устает быстрее. Поэтому шаги удобнее считать тройками. В этом случае счет будет приходиться поочередно на левую и правую ноги. После небольшой тренировки можно привыкнуть считать шаги механически, не сбиваясь со счета при рассмотрении местности.

Чтобы не переводить шаги в метры, а затем, при нанесении расстояний на плане, метры в миллиметры, составляют масштаб шагов. Предположим, что количество троек шагов в одном километре равно 444; съемка выполняется в масштабе 1 : 25 000. В этом масштабе 1 км на местности равен 4 см на плане, следовательно, 1 см плана будет соответствовать 111 тройкам шагов на местности. Такой масштаб можно построить, но он будет неудобен для пользования. Лучше вычислить иное основание масштаба для какого-либо круглого числа шагов, например для ста. Из пропорций находим:

1 см — 111 троек шагов

$x$  см — 100 троек шагов;

$$x = \frac{100}{111} = 0,9 \text{ см.}$$



Масштаб шагов строится на отдельной полоске тонкого картона или целлулоида. Деление нужно доводить до края, чтобы откладывать расстояния на плане без циркуля (рис. 5).

Рассмотренные нами простейшие способы съемок позволяют получить хотя и довольно наглядное, но недо-

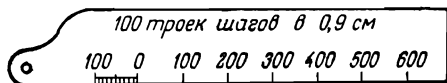


Рис. 5. Масштаб шагов

статочно точное изображение отдельных участков местности.

В следующих разделах мы познакомимся с точными съемками и топографическими картами, которые создаются на каркасе, т. е. на основе опорных геодезических пунктов с помощью специальных топографических приборов.

## КАРКАС КАРТЫ

Самая северная точка Азии — мыс Челюскин. Его координаты  $77^{\circ}44'$  северной широты и  $104^{\circ}18'$  восточной долготы. Приведенные цифры — точный адрес объекта на земной поверхности. Естественно, определить адрес объекта на карте можно только в том случае, если карта создана на каркасе опорных пунктов, у которых заранее определены координаты. Как при строительстве зданий работа начинается обычно с сооружения каркаса, так и при топографических съемках прежде всего создают так называемое обоснование, систему опорных пунктов. То-

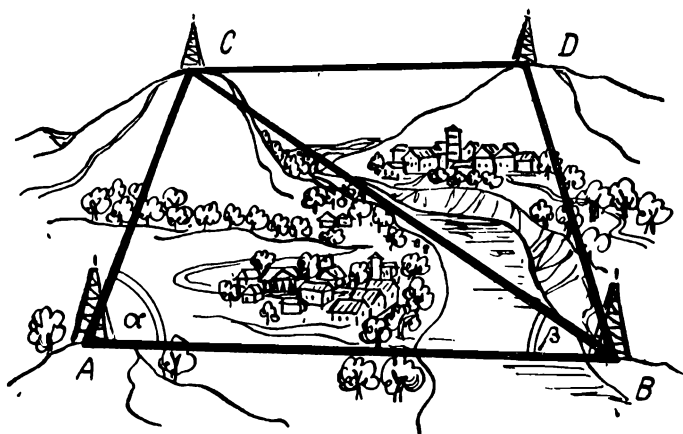


Рис. 6. Схема триангуляции

пограф может приступить к съемкам только после того, как на местности будут определены координаты опорных пунктов.

Географические координаты определяются по звездам путем наблюдений высокоточными астрономическими приборами. Но астрономические наблюдения очень громоздки, их проведение сопряжено с большими трудностями. В 1614 году голландский астроном и математик Снеллиус предложил более удобный и точный способ определения опорных точек, который получил название триангуляции.

Наверное, вам не раз случалось встречать деревянные вышки с небольшими цилиндрами на вершинах. Такие вышки ставятся на высоких местах и поэтому хорошо заметны со всех сторон. Большие вышки, их называют сигналами, отстоят друг от друга на расстоянии 10—15 км и более. Они строятся обычно на равнинной или залесенной местности, которая не позволяет вести наблюдения

с земли на большие дальности. Маленькие вышки — пирамиды — ставятся на меньшем расстоянии. Сигналы и пирамиды находятся в вершинах воображаемых треугольников, имеющих общие стороны (рис. 6). Эту систему треугольников называют триангуляцией.

Математические основы триангуляции заключаются в следующем. Каждый треугольник, как известно, состоит из шести элементов: трех сторон и трех углов. Если в треугольнике даны два угла ( $\alpha$  и  $\beta$ ) и одна сторона ( $AB$ ), то, пользуясь теоремой синусов, можно определить две другие стороны ( $AC$  и  $BC$ ). В системе, состоящей из большего числа треугольников, определяют одну «выходную» сторону, которую измеряют с высокой точностью. Углы воображаемых треугольников измеряют угломерным прибором — теодолитом.

Начальным пунктом триангуляции в нашей стране считается центр круглого зала Пулковской обсерватории, координаты которого определены астрономическим путем с высокой точностью. Координаты остальных пунктов триангуляции получаются путем вычислений.

Точность триангуляции, или, другими словами, величина ошибки, с которой определяется положение каждого пункта на земной поверхности, зависит от точности измерения углов. Чем меньше будет ошибка в измеренных углах, тем точнее получаемые координаты пунктов. В триангуляции углы измеряются высокоточными теодолитами с ошибкой до  $1''$ , а угловая секунда, как известно, дает поперечный сдвиг в положении определяемой точки на величину  $\frac{1}{200\,000}$  расстояния между исходной

и определяемой точками. Если, например, расстояние между двумя пунктами триангуляции равно  $20$  км, то ошибка в положении определяемого пункта составит всего  $10$  см. Вот с какой высокой точностью могут определяться пункты триангуляции на земной поверхности.

Пункты триангуляции, или, как их называют еще, геодезические пункты, создают на поверхности земли систему опорных пунктов для топографических съемок. Координаты пунктов вычисляются обычно в прямоугольной системе. По известным прямоугольным координатам они наносятся на съемочный планшет. С таким планшетом топограф выходит в поле и от геодезических пунктов производит съемку местности.

## **СЪЕМКА НА «СТОЛИКЕ»**

Конечная цель съемки заключается в получении графического изображения местности. Съемка местных предметов требует следующих действий: измерения углов, линий и построения их на бумаге. Эти действия соединяются в одно при так называемой мензульной съемке.

Хотя со времени изобретения мензула непрерывно совершенствовалась, но в сущности она по-прежнему состоит из столика, на котором закрепляется планшет для рисовки местности, и штатива в виде треноги.

Кроме мензулы со штативом, в комплект приборов для съемки входят кипрегель и магнитная буссоль.

Кипрегель служит для прочерчивания на планшете углов, для измерения расстояний и превышений на местности. Он представляет собой металлическую линейку, к которой на колонке закреплена зрительная труба с дальномерными нитями и вертикальным кругом для отсчета углов. Ось трубы строго параллельна краю линейки.

Магнитная буссоль — это большой компас. С помощью буссоли планшет ориентируется относительно сторон горизонта.

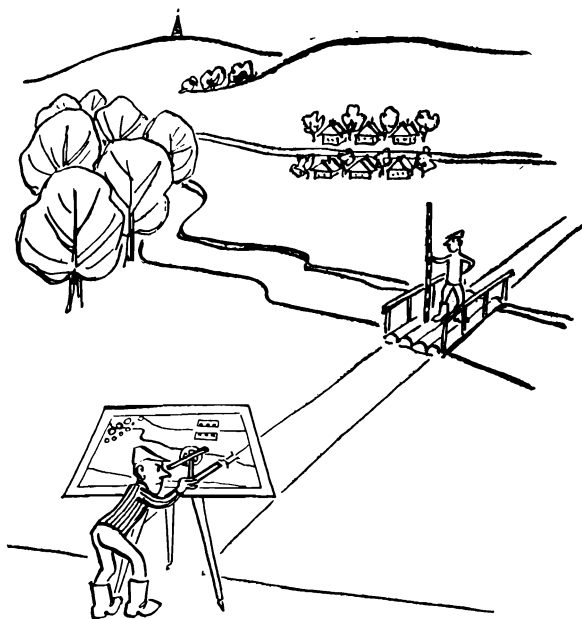


Рис. 7. Мензурная съемка — классический способ съемки местности

Прежде чем приступить к съемке, берут хорошую чертежную бумагу и наклеивают ее на алюминиевую основу — планшет. После этого на планшет наносят по координатам опорные пункты и углы рамки, в пределах которой будет производиться съемка. Планшет прочно закрепляют на столике мензулы и после этого приступают к съемке.

Предположим, мы получили задачу произвести съемку местности, изображенной на рис. 7. Работу начинаем с точки, которая нанесена на планшет по координатам. На этой точке устанавливаем столик в горизонтальном положении и ориентируем его относительно сторон горизонта. Затем при помощи кипрегеля и рейки определяем расстояния и направления до характерных точек местности и наносим их на планшет в соответствующем масштабе. Таким образом у нас будут нанесены повороты рек, дорог, улиц, углы леса, кустарника и других объектов местности. Соединяя полученные точки соответствующими линиями, получим на планшете картографическое изображение участка местности.

Далее определяем на планшете местоположение следующей точки стояния, переходим на нее с мензулой и повторяем те же действия.

## **АЗБУКА КАРТ**

Все нанесенные на планшет местные предметы топограф вычерчивает условными знаками.

Условные знаки — это своего рода азбука. Без знания условных знаков нельзя читать карту, так же как нельзя прочесть книгу, не зная букв. С помощью условных знаков на карте наглядно передается действительная картина местности.

Основу содержания карты составляют графические условные знаки. В дополнение к ним для качественной характеристики объектов применяются буквенно-цифровые обозначения.

Большая часть графических условных знаков по своему начертанию напоминает собой внешний вид изображаемых местных предметов, что позволяет нам сравнительно легко запоминать их.

Условные знаки постоянно совершенствуются, но коренных изменений в их начертании и форме не происходит. Более того, во многих странах сейчас применяются почти одинаковые знаки. А это приводит к тому, что азбука карт становится интернациональной. И если вы научитесь хорошо читать нашу карту, то после небольшой практики можете с успехом пользоваться любой иностранной.

К условным знакам всегда предъявлялись серьезные требования. Вот, например, как они изложены в одном из старинных учебников по топографии: «Для удобства чтения карт необходимо: 1) Чтобы условных знаков было не много, ибо их надо знать наизусть; 2) Они должны напоминать изображаемый предмет и резко разниться между собой и 3) Они должны быть просты для удобства черчения и запоминания».

Эти требования к условным знакам справедливы и на сегодняшний день.

Как видим, требований не очень много, но выполнить их не так-то легко. Можно, например, разработать такие условные знаки, которые по своей форме будут очень хорошо соответствовать внешнему виду самих объектов, но они будут громоздкими и трудными для вычерчивания. Очевидно, нужна какая-то «золотая середина».

Наши картографы много потрудились над созданием лаконичных и легко запоминающихся условных знаков. Многие из них, например условные знаки населенных пунктов, озер и рек, лесов, мостов, можно расшифровать без особых трудностей, так как они напоминают внешний вид или характерные особенности изображаемых предметов. Чтобы сократить количество условных знаков и тем самым обеспечить лучшее запоминание их, для каждой однородной группы предметов установлен типовой знак, определяющий род предмета. Он имеет простую форму, схематически напоминающую вид предмета



Рис. 8. Положение местных предметов, изображаемых внемасштабными условными знаками

сверху. Разновидности предметов данной группы передаются путем видоизменения рисунка типового условного знака. Так, например, различные виды шоссежных дорог изображаются типовым условным знаком, но с некоторыми дополнениями или изменениями его начертаний.

Для того чтобы обеспечить выполнение требования к точности отображения местности, условные знаки должны иметь в своем начертании такие элементы, которые позволяют точно определять (фиксировать) местоположение на карте каждого объекта. Такими элементами являются линии и точки контуров масштабных условных знаков, осевые линии линейных условных знаков и точки внемасштабных условных знаков, называемые главными точками. Последние выбираются в зависимости от формы условного знака в его центре, середине основания или в центре нижней фигуры. Примеры внемасштабных условных знаков с главными точками, фиксирующими положение местных предметов, приведены на рис. 8. Стрелкой указано положение главной точки.



И, наконец, несколько слов о требовании к качеству вычерчивания условных знаков.

Красота условных знаков заключается в их простоте и аккуратности вычерчивания. Условные знаки на издательских оригиналах карт вычерчивают очень тщательно и аккуратно. Это поистине ювелирная работа, требующая от чертежника высокого мастерства.

## **ЛИНИИ РАВНЫХ ВЫСОТ**

С помощью условных знаков на планшете топографы изображают местные предметы и отдельные детали рельефа (обрывы, промоины, курганы). А как же изображаются формы рельефа, как определяется превышение одной точки местности над другой и абсолютные высоты точек над уровнем моря?

Для этого топографы пользуются тем же кипрегелем. Зрительную трубу наводят на характерную точку рельефа и по вертикальному кругу отсчитывают угол наклона (рис. 9). Зная угол наклона  $\alpha$  и расстояние между двумя точками местности  $D$ , легко определить превышение  $h$  между ними. А если известны превышение  $h$  и абсолютная высота  $H_1$  исходной точки, то можно вычислить и высоту  $H_2$  искомой точки, пользуясь простым арифметическим действием. Все эти зависимости наглядно отображены на рисунке.

Практически при съемках для определения превышений пользуются таблицами, в которых превышения даны для различных расстояний и углов наклона. Получив на планшете местоположение и высоты характерных точек рельефа, топограф определяет местоположение ли-

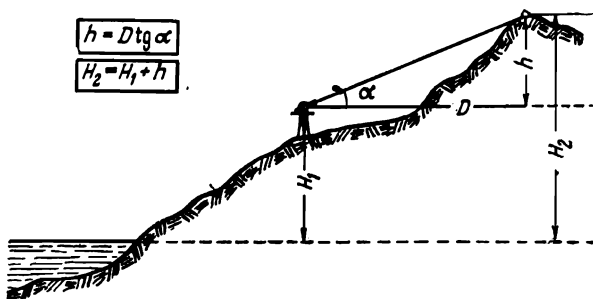


Рис. 9. Определение высот и превышений

ний равных высот, так называемых горизонталей, и аккуратно вычерчивает их. Как это делается, видно из следующего примера на рис. 10.

В определенном масштабе на плане наносят характерные точки рельефа, имеющие абсолютные высоты.

Вдоль ручьев намечают линии водослива, определяющие направление лощин, а вдоль хребтов — линии водораздела (на рис. 10 они показаны пунктиром).

Пользуясь высотами точек и основными линиями рельефа, попробуем провести горизонтали через 10 м.

Задача сводится к определению положения горизонталей между точками с заданными высотами. Положим, что мы имеем две точки, высоты которых равны 51 и 63 м. Между ними пройдет 60-я горизонталь. Чтобы определить ее местоположение, нужно расстояние разделить на две части в отношении

$$\frac{63-60}{60-51} = \frac{3}{9} = \frac{1}{3}.$$

Деление отрезка в заданном отношении может быть сделано на глаз, посредством расчета или графически. Деление, или, как обычно выражаются, интерполирова-

ние горизонталей на глаз,—самый распространенный способ. Этим способом топографы обычно и пользуются во время съемки. Посмотрите на рисунок и вам станет ясно, как горизонтали нашли свое место среди отметок высот.

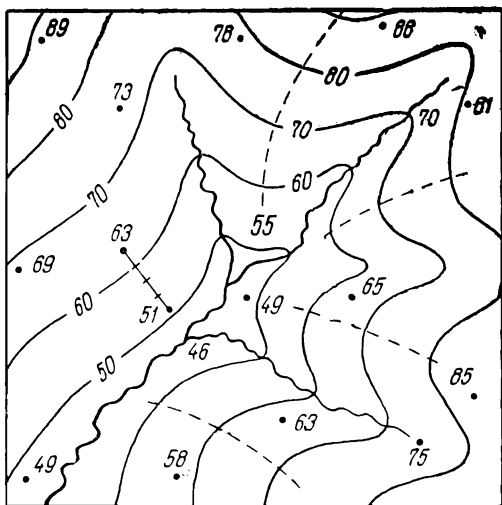


Рис. 10. Изображение рельефа горизонталями

Мензульная съемка как «классический» способ в основном себя изжил, но отдельные приемы полевых работ как при создании, так и при обновлении карт еще долго будут выполняться с помощью мензулы и кипрегеля.

## **ФОТОГРАФИЯ С ПТИЧЬЕГО ПОЛЕТА**

Еще во время путешествий Пржевальского и Ливингстона «Фотография с птичьего полета» стала проникать в топографию. Пионером воздушного фотографирования был близкий друг писателя-фантаста Жюль Верна Феликс Турнашон, известный под именем Надара. В 1858 году он поднялся на аэростате над Парижем и впервые в мире произвел снимок города с высоты птичьего полета. Это была шумная сенсация.

Прошло более века, и фотография с воздуха заняла основное и ведущее место в топографии при создании карт.

Аэрофотосъемка позволяет получить топографическую карту на огромные пространства. Уже само название «аэрофотосъемка» в значительной мере раскрывает существо этого метода, означающего съемку местности с борта самолета. Во время съемки фотопленка запечатлевает все детали земной поверхности с точностью, недоступной самому зоркому наблюдателю. Аэрофотоснимок или, как принято называть сокращенно, аэроснимок, отпечатанный с фотопленки, представляет собой подробную картину местности. На аэроснимке можно безошибочно опознать населенные пункты, выделить массивы леса, проследить реки, отчетливо увидеть дороги и т. п. Специалисты, занимающиеся опознаванием на снимках отдельных элементов или так называемым дешифрированием, достаточно точно выделяют обычный лес от редкого или низкорослого, луг от пашни и т. д. Вместе с тем процесс дешифрирования аэроснимков не является угадыванием того, какие объекты на них изобразились. Оказывается, что если внимательно рассматривать аэросним-

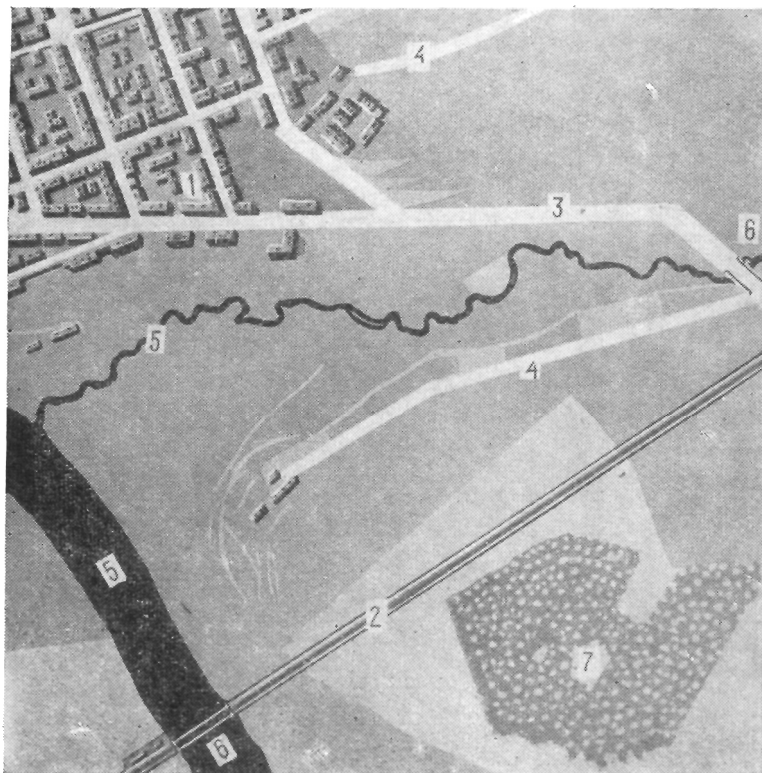


Рис. 1а. Дешифрирование аэроснимка:

1 — населенные пункты; 2 — железные дороги; 3 — шоссе, 4 — грунтовые и грун-  
товые улучшенные дороги; 5 — реки и ручьи; 6 — мосты; 7 — леса

ки, то можно обнаружить известные закономерности, на-  
зываемые дешифровочными признаками. Такие признаки,  
которые на всех аэроснимках соответствуют одним и тем  
же объектам местности. принято называть прямыми.

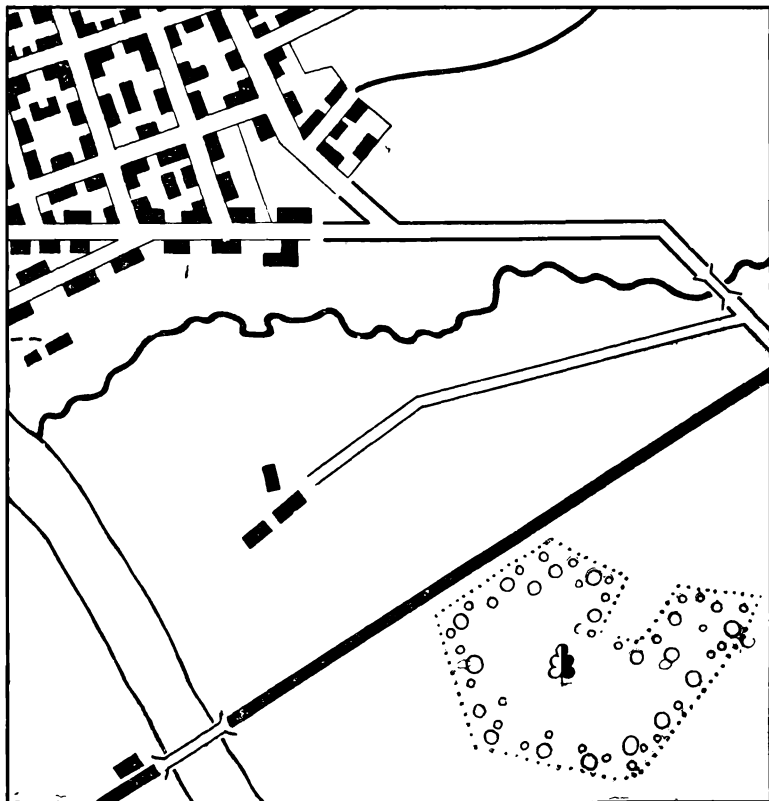


Рис. 116. Контурная часть карты, составленная по аэроснимку

К ним чаще всего относят размер, форму и тон изображения. Кроме прямых имеются и так называемые косвенные признаки топографического дешифрирования, которые позволяют довольно точно определять объект в совокуп-

ности с другими. Примером могут служить броды, которые легко опознаются благодаря подходящей к ним у обоих берегов дороги. В солнечный день возвышающиеся объекты дают четкую тень, которая также является дешифровочным признаком и хорошо помогает опознать их.

При достаточной подготовке и известном навыке на аэроснимке можно точно опознать и вычертить всю контурную часть карты, как это показано на рис. 11 а и 11б.

На первый взгляд кажется, что по аэроснимкам можно легко создать топографическую карту. Однако этот процесс очень сложный, состоящий из большого количества самых разнообразных операций. Дело в том, что аэроснимки по своим измерительным свойствам резко отличаются от карты. Поэтому, прежде чем превратиться в карту, они обрабатываются на многих приборах; с ними работают люди различных специальностей.

Чтобы иметь некоторое представление о сложности обработки аэроснимков, рассмотрим основные их свойства.

## **АЭРОСНИМОК — ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ**

Всякое изображение предметов на плоскости, построенное по определенным математическим законам, называется проекцией. Карта и аэроснимок также являются проекциями. Как на карте, так и на аэроснимке изображение местности построено по определенным математическим законам. Чем же в таком случае отличается аэроснимок от карты?

Топографическая карта представляет собой уменьшенную проекцию местности, которая образуется с помощью проектирующих лучей, направленных от местных предметов перпендикулярно к плоскости, в которой получается изображение. Такая проекция называется ортогональной. Изображение местности на топографической карте находится в строгом подобии с самой местностью. Зная масштаб карты, можно точно определить размеры объектов местности, их положение и расстояние между ними. Изображение на аэроснимке получается проектированием точек местности, при котором все проектирующие лучи проходят через одну точку — центр объектива. Такое проектирование называется центральным.

В процессе аэрофотосъемки получается негативное изображение местности — негатив. Контактный отпечаток с негатива — аэроснимок — представляет позитивное изображение. Применительно к центральной проекции негатив отличается от позитива своим положением относительно центра проекции. Негативное изображение расположено за центром проекции, а позитивное — между местностью и центром (рис. 12). Все геометрические свойства центральной проекции одинаковы как для негативного изображения, так и для позитивного. Для удобства рассмотрения геометрических свойств аэроснимка обычно пользуются позитивным изображением.

Предположим, что фотографируется ровный горизонтальный участок местности  $T$  и что оптическая ось аэрофотоаппарата занимает вертикальное положение. При таких условиях изображение местности на аэроснимке  $P$  будет подобно самой местности. В этом случае центральная проекция будет тождественна ортогональной. Но это справедливо лишь при строго горизонтальной поверхности, а местность, как известно, имеет неровности и поэтому она изобразится на аэроснимке с некоторыми искажениями.



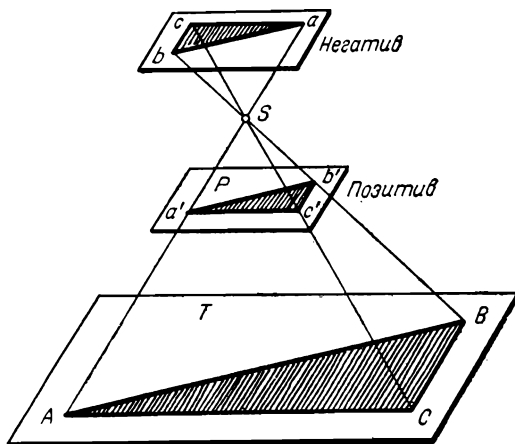


Рис. 12. Негативное и позитивное изображения фигуры располагаются в противоположных направлениях от центра проекции.

Пусть на горизонтальном аэроснимке получено изображение равнинной местности с высоким холмом (рис. 13). Вершина холма  $C$  на аэроснимке изображается в точке  $c$ , а в соответствии с законом ортогональной проекции она должна быть в точке  $a$ . Отрезок  $ac$  на аэроснимке выражает смещение точки  $A$ , обусловленное рельефом. У возвышенностей точки смещаются от центра аэроснимка к краям, а у котловин — к центру.

Найдём линейную величину смещений точек за рельеф. Для этого введем обозначения:

$oc=r$  — расстояние от центра снимка до контурной точки;

$ac=\Delta r$  — смещение точки за рельеф;

$AC=h$  — превышение точки над плоскостью;

$SO=H$  — высота фотографирования.

Из подобных фигур имеем:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{AB}{OB} = \frac{AC}{OS} = \frac{h}{H};$$

$$\Delta r = \frac{rh}{H}.$$

Эта формула позволяет определить ошибку за рельеф в любом месте аэроснимка. Даже при небольшом превышении величина смещения будет значительной. Если, например,  $r=150$  мм,  $H=2000$  м, то при  $h=20$  м смещение  $\Delta r$  получится равным 1,5 мм.

Вот в этом-то и заключается первое отличие центральной проекции от ортогональной, т. е. отличие аэро-

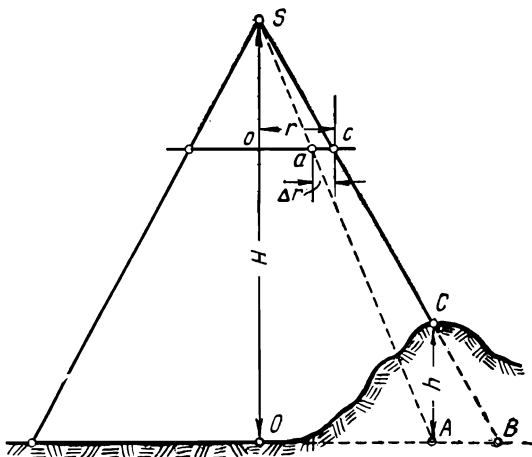
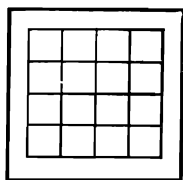
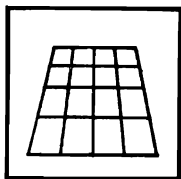


Рис. 13. Искажение на аэроснимке за рельеф

снимка от карты. Но это еще не все. Дело в том что, несмотря на большие достижения науки и техники, до сих пор не решена проблема стабилизации аэрофотоап-



*a*



*б*

Рис. 14. Изображение сетки квадратов:

*a* — на горизонтальном аэроснимке; *б* — на наклонном аэроснимке

парата в полете и ось его не удастся удержать точно в вертикальном положении. В результате получается не горизонтальный, а наклонный аэроснимок. Верно, наклон небольшой, но все же из-за него на аэроснимке получают ощутимые искажения. Характер искажений за наклон оптической оси легко уяснить по изображению сетки квадратов на наклонном аэроснимке (рис. 14). Эта сетка на горизонтальном аэроснимке изобразится, так же как и на карте, в виде сетки квадратов, а на наклонном аэроснимке — в виде перспективной сетки.

При перспективном воздушном фотографировании местные предметы, расположенные на переднем плане, изображаются в более крупном масштабе, чем предметы, находящиеся на дальнем плане. Разница в масштабах изображений на аэроснимке происходит в результате искажений за отклонение оптической оси аэрофотоаппарата от вертикали. Такие искажения ощутимы даже при сравнительно небольшом наклоне аэроснимка. Например, при наклоне порядка  $1-2^\circ$  величина искажений будет достигать  $2-3$  мм. В этом заключается второе отличие аэроснимка от карты. Смещения изображений на аэроснимках, обусловленные рельефом местности и наклоном аэрофотоаппарата, — это два основных фактора, которые прежде всего необходимо учитывать при обработке снимков и составлении по ним топографических карт.

## **СНИМКИ В ТРЕХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

Обычная фотография дает плоское изображение. Рассматривая снимок, мы не получаем полного и точного представления об объеме местных предметов или рельефе, об относительном положении предметов в пространстве.

Фотография подобна зрению одним глазом. Точное же представление об объеме, о пространстве дает только зрение двумя глазами. В этом легко убедиться, проделав следующий опыт.

Поставьте пушистую ветку недалеко от стены и рассматривайте ее одним глазом на расстоянии 5—10 м. В поле зрения при этом не должно находиться никаких предметов. В этом случае вы не различите, какие листья или веточки находятся от вас ближе или дальше. Все они будут представляться находящимися в одной плоскости. Однако, посмотрев на ту же ветку двумя глазами, вы вместо плоского ее изображения увидите объемное. Такое зрение называется стереоскопическим от греческих слов «стерео» — объемный и «скопео» — вижу.

Еще на заре фотографии были сконструированы фотоаппараты с двумя объективами. При фотографировании получались два снимка одного и того же объекта, сделанные с разных точек.

Отпечатки вставляли в стереоскоп — прибор, позволяющий рассматривать левый снимок левым, а правый снимок правым глазом. При рассматривании в стереоскоп обе фотографии сливаются в одно четкое объемное изображение.

Стереоскопические фотографии особенно ценились учеными-географами. Каждая серия снимков, привезенных путешественниками издалека, рассматривалась как

необыкновенная новинка. Будто кусок трехмерного пространства привозили с собой фотографии из экспедиций. И этот кусок далекой страны оживал в стереоскопе.

Стереоскопическую пару перекрывающихся снимков можно рассматривать и без стереоскопа. Для тренировки получения стереоскопического эффекта рекомендуется

табличка с изображением фигур, показанных на рис. 15. Расположите этот рисунок перпендикулярно оси зрения на близком расстоянии от глаз и смотрите левым глазом на левую фигуру, правым глазом на правую. Изображение будет у вас нерезким. Пристально смотря на рисунок, постепенно приподнимайте голову до расстояния наилучшего зрения. При этом вы заметите, как одно изображение будет наплывать на другое и, наконец, они сольются в одно четкое изображение.

Получится объемная, т. е. стереоскопическая фигура. Не смущайтесь, если кроме четкой объемной фигуры будут слабо проглядываться еще изображения по краям.

Стереоскопическая фотография лежит в основе создания топографических карт. Аэрофотосъемка ведется по намеченным маршрутам через определенные интервалы. При каждой последующей экспозиции фотографируется часть местности ( $P$ ), которая была уже сфотографирована на предыдущем снимке (рис. 16). В результате каждая пара смежных снимков на участке перекрытия будет стереоскопической. При рассмотрении такой пары в стереоскоп видят объемную модель местности, по которой производят съемку.

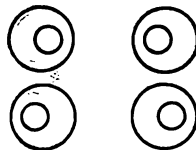


Рис. 15. По этим фигурам можно тренироваться в получении стереозффекта без стереоскопа

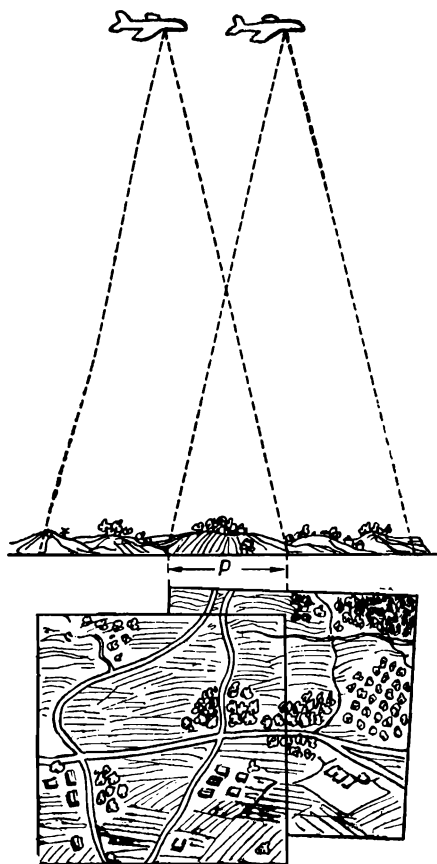


Рис. 16. Схема получения пары перекрывающихся аэроснимков

## КАК ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ПРЕВЫШЕНИЯ

Когда мы рассматривали отличие аэроснимка от карты, то убедились в том, что из-за рельефа получаются на снимке искажения в плановом положении точек местности. Вот эти-то искажения топографы используют для определения превышений по стереоскопическим аэроснимкам.

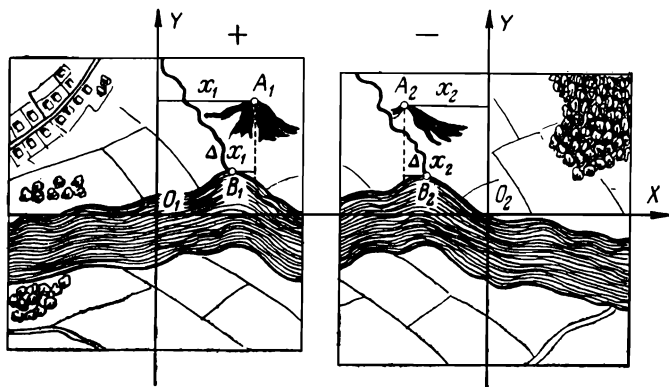


Рис. 17. Определение превышения по двум перекрывающимся аэроснимкам

Пусть два горизонтальных перекрывающихся аэроснимка сделаны при одинаковых высотах и в одном направлении съемки (рис. 17). Поставим задачу определить по ним превышение вершины горы  $A$  над уровнем реки в точке  $B$ .

На обоих аэроснимках проведем прямую  $O_1O_2$ , соединив центральные точки снимков линией по одноименным

контурам. Из центральных точек восставим перпендикуляры  $OU$  к линии  $O_1O_2$ . Эти линии будут осями прямоугольных координат. Направление оси  $X$  обозначим слева направо. При этом условии все отрезки на каждом снимке вправо от осей  $U$  будут иметь положительные значения, а отрезки влево от осей — отрицательные.

Измерим на правом и левом аэроснимках расстояния от вершины горы  $A$  до осей  $U$ , которые обозначим соответственно  $x_1$  и  $x_2$ . Затем измерим отрезки  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$ , представляющие собой разности абсцисс точек  $A$  и  $B$  на правом и левом снимках. Теперь нам остается выписать из паспорта аэрофотосъемки высоту фотографирования  $H$  и мы можем определить превышение  $h$  вершины горы над уровнем реки по формуле

$$h = \frac{H(\Delta x_1 - \Delta x_2)}{x_1 - x_2},$$

Допустим, высота фотографирования равна 2600 м, а результаты измерений на аэроснимках получились:

$$\Delta x_1 = +1 \text{ мм}; \quad x_1 = +52 \text{ мм};$$

$$\Delta x_2 = -2 \text{ мм}; \quad x_2 = -78 \text{ мм}.$$

Подставив эти значения в формулу, получим

$$h = \frac{2600(1+2)}{52+78} = 60 \text{ м}.$$

Приведенная формула для определения превышений по двум стереоскопическим аэроснимкам легко выводится исходя из зависимости искажений за рельеф на одностороннем аэроснимке. Выпишем эту зависимость для левого и правого снимка и произведем простейшие преобразования:



$$\Delta x_1 = \frac{hx_1}{H}$$

$$\Delta x_2 = \frac{hx_2}{H}$$

$$\Delta x_1 - \Delta x_2 = \frac{h(x_1 - x_2)}{H} ;$$

$$h = \frac{H(\Delta x_1 - \Delta x_2)}{x_1 - x_2} .$$

Разность абсцисс на левом и правом снимках ( $x_1 - x_2$ ) в топографии называется продольным параллаксом точки и обозначается буквой  $P$ . Соответственно величина ( $\Delta x_1 - \Delta x_2$ ) называется разностью продольных параллакссов и обозначается  $\Delta P$ . При таком обозначении наша формула получает вид:

$$h = \frac{H\Delta P}{P} .$$

Это основная формула, применяемая в аэрофототопографии при определении превышения между точками по аэроснимкам.

## **ПРИБОР СОЗДАЕТ МАКЕТ МЕСТНОСТИ**

Проблема составления карты по аэроснимкам была решена вначале при помощи очень примитивных, а затем все более совершенных приборов, позволяющих обрабатывать пары стереоскопических снимков. В разных странах было сконструировано множество так называемых восстанавливающих приборов. Общий принцип дей-

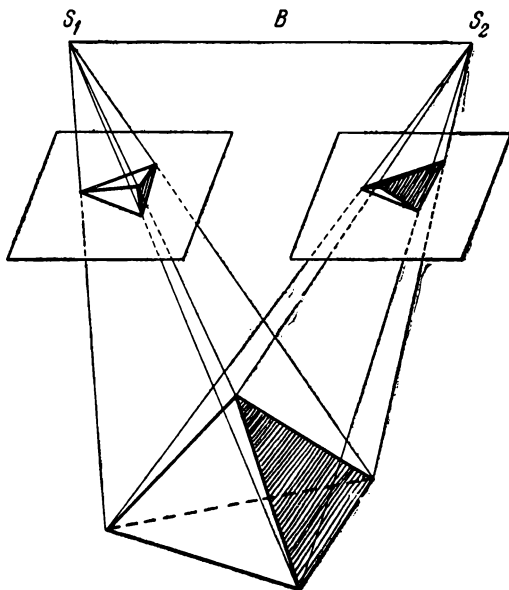


Рис. 18. Получение оптической модели  
сфотографированного предмета

ствия таких приборов заключается в том, что они воссоздают по аэроснимкам модель местности.

Установим фотоаппараты в точках  $S_1$  и  $S_2$ , находящихся на расстоянии  $B$  одна от другой, и сфотографируем какой-нибудь предмет, например пирамиду (рис. 18). После фотолабораторной обработки получим фотоизображения на пластинках, составляющие стереопару. Поместим эти пластинки обратно в фотокамеры и осветим сверху. Световые лучи пойдут по тем же направлениям, что и в момент фотографирования, только в обратном порядке. Если при фотографировании они проходили от

точек предмета до его изображений на пластинках, то теперь они пойдут от точек фотоизображений до самого предмета. Пучки лучей, бывшие в момент фотографирования, восстановлены. Лучи, проходящие через одноименные точки фотоизображений, пересекутся в соответствующих точках предмета. Уберем предмет. Одноименные лучи будут по-прежнему пересекаться в тех же точках пространства, а совокупность их повторит геометрическую форму предмета. Так получается оптическая копия, или, как ее называют топографы, стереоскопическая модель сфотографированного предмета.

Такую модель можно получить следующим образом. Пластинки, составляющие стереопару, помещают в проектирующие камеры, имеющие такие же фокусные расстояния, как и фотоаппараты. Затем камеры устанавливают в такое же положение, какое они занимали в момент фотографирования. При освещении проектирующих камер может получиться стереоскопическая модель.

Конечно, получить модель местности по аэрофото снимкам в натуральную величину нельзя. Для этого потребовалась бы очень громоздкая установка. В самом деле, ведь высота фотографирования местности с самолета достигает нескольких километров. А это значит, что на такой же высоте должны быть установлены проектирующие камеры. Если бы и можно было построить такую модель, то измерения на ней производились значительно трудней, чем на самой местности. Поэтому модель местности всегда получают в уменьшенном виде, т. е. в определенном масштабе. Масштаб модели равен отношению расстояния между проектирующими камерами к расстоянию между двумя положениями аэрофотоаппарата во время съемки, которое называется базисом фотографирования.

Приборы, на которых получается модель, называются проекторами (рис. 19). В проекторы вкладываются по-

зитивы в уменьшенном виде. Каждый проектор можно поворачивать вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, а расстояние между двумя проекторами изменять.

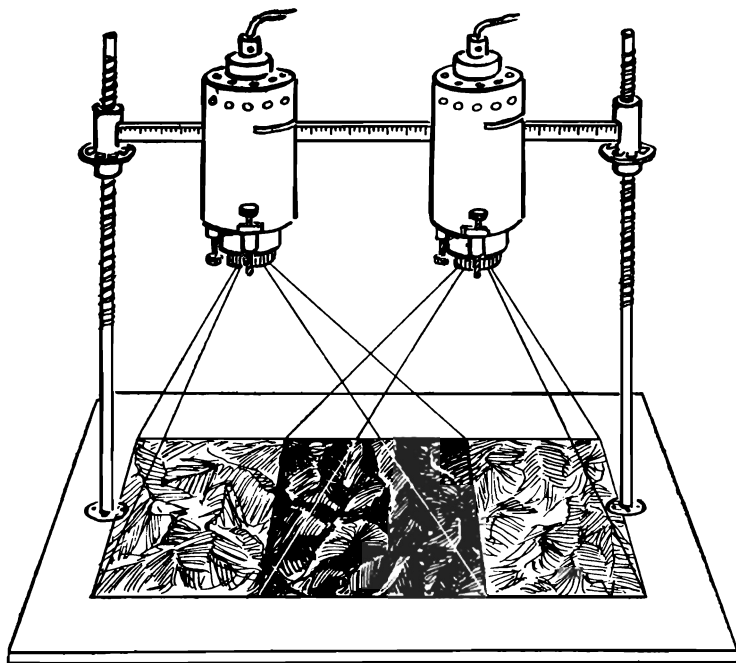


Рис. 19. Получение по аэроснимкам модели местности с помощью проекторов

Пространственную модель можно наблюдать и производить на ней все измерения, необходимые для создания карты. Наблюдения модели производят различными способами. Чаще всего применяют так называемый анагли-

фический способ рассматривания стереоэффекта. Сущность его заключается в следующем.

На пути проектирующих лучей помещают цветные стекла (светофильтры), например на объектив левого проектора надевают красный светофильтр, а на объектив правого — синий. В результате на экране прибора будут видны два цветных изображения, наложенные одно на другое. Если одеть очки с красным и синим стеклами и рассматривать изображения, то они сольются и дадут пространственную модель местности одного темного цвета.

Измерение высот, рисовку рельефа и перенесение контуров с модели на бумагу экрана производят специальным столиком со светящейся точкой (маркой). Столик имеет переменную высоту, которую устанавливают на отсчет, соответствующий рисуемой горизонтали. Установив на шкале соответствующий отсчет, взятый из таблицы, столик передвигают по экрану, пока марка не коснется модели. Затем включают карандаш и ведут столик по экрану, следя за тем, чтобы марка все время касалась поверхности модели. Вычерченный карандашом след и будет горизонталью. Чтобы провести следующую горизонталь, на шкале измерительного столика ставится отсчет, соответствующий следующей горизонтали, и повторяются те же действия.

Для перенесения контуров с модели на бумагу измерительный столик ведут по экрану, следя за тем, чтобы марка все время касалась контура и одновременно поверхности модели. Для этого высоту столика нужно все время поднимать или опускать в зависимости от характера рельефа, по которому проходит контур. Так постепенно на бумаге, прикрепленной к экрану, составляется карта в заданном масштабе.

## КАРТЫ ТРЕБУЮТ ОБНОВЛЕНИЯ

Карты, к сожалению, бывают безупречно верными недолго. Любая, даже самая совершенная, карта со временем стареет.

Старение карты происходит из-за изменений на местности. Земная поверхность постоянно меняет свой облик и топографы не успевают обновлять карту, т. е. наносить на нее все изменения; жизнь всегда опережает их. Особенно быстро, буквально на наших глазах, происходят изменения в районе новостроек. По диким дебрям прокладываются дороги, в самых глухих местах вырастают электростанции, шахты и рудники, поселки и города, каналы и даже целые моря. В других условиях местность изменяется сравнительно медленно. Взять хотя бы наши западные области, которые до 1939 года временно входили в состав панской Польши. Насколько мало подвергалась изменениям территория этих областей, рассказывает Л. Сандалов в своих мемуарах «Пережитое».

«Пожалуй единственным человеком, которому поездка по освобожденной территории не принесла особых забот, был начальник топографического отделения. Села, деревни и даже города в Западной Белоруссии сохранились почти такими же, какими они были перед первой мировой войной... За четверть века в селениях почти не прибавилось домов, не было построено ни одного завода, сохранились даже нанесенные на карту отдельные дворы, в частном, памятный всем нам «Дв. Франко».

Но не только деятельность человека, а и сама природа изменяет местность. Такие естественные изменения происходят не так заметно, но зато непрерывно. Реки несут в своих водах большое количество ила и песка, в результате образуются новые острова и суша все даль-

ше и дальше выдвигается в море, реки подмывают берега, меняют свое русло, в горах происходят обвалы, в заваленных обвалом долинах образуются озера и т. п.

Таким образом, все карты требуют периодического обновления — на обжитую территорию чаще, на необжитую — реже. В настоящее время, когда наша страна полностью покрыта топографическими съемками, топографы решают не менее сложную задачу — обновление устаревших карт.

Как часто, разглядывая новую карту, мы поражаемся внесенным в нее изменениям. Условными знаками на карте обозначены новые города и поселки, заводы и гидростанции, искусственные моря, шахты и рудники. И не только такие крупные объекты появляются на картах. Каждый вновь появившийся овражек, посаженные сады и рощи, новые дороги и тропы, вся исследуемая местность своевременно и с величайшей точностью фиксируется топографами—первопроходцами, которые, не считаясь с трудностями и лишениями, неутомимо и с большой ответственностью выполняют свой долг.

## **КАРТА ПО КАРТЕ**

Герой Советского Союза М. Наумов, вспоминая боевые партизанские дела в повести «Хинельские походы», рассказывает:

«Кроме взрывчатки и всего остального к ней диверсантам нужно еще одно оружие: топографические карты. Без карт на широких пространствах воевать невозможно, а у нас их не было. На весь Эсманский отряд приходилась одна большая карта — штабная. лейтенант Синчин, оказавшийся, ко всему прочему, еще и неплохим топографом, размножал ее на досуге, обильно смазывая бе-

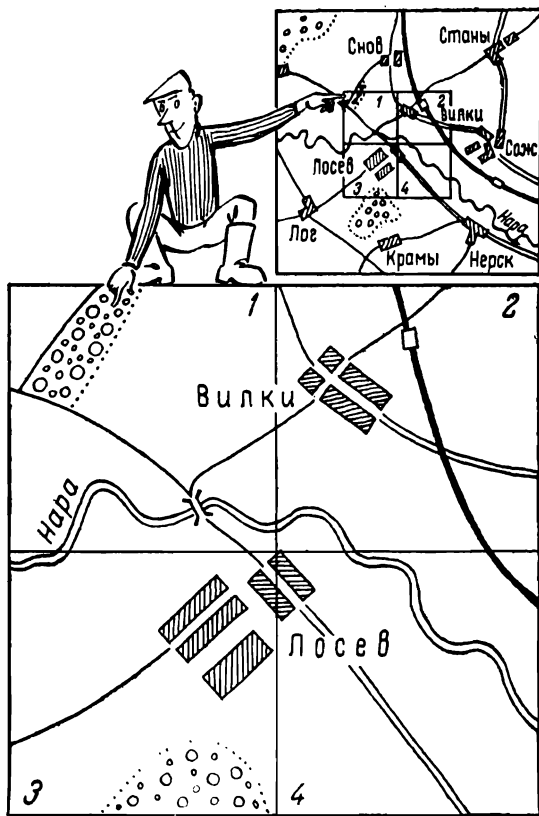


Рис. 20. Составление карты в увеличенном масштабе

лую бумагу керосином и нанося на нее черным карандашом условные знаки.»

В обычных условиях нет необходимости смачивать бумагу керосином, так как для этой цели можно вос-



пользоваться восковкой, калькой или другим прозрачным материалом, а перенос рисунка карты выполнить цветной тушью. В результате у вас может получиться довольно хорошая копия карты. Копию с карты можно составить и в увеличенном масштабе. По своей точности она не будет соответствовать карте крупного масштаба и ее следовало бы более правильно называть схемой. Вместе с тем такая схема может быть использована для решения некоторых задач, так же как и карта.

Рассмотрим один из самых простых способов изготовления карты по карте. Допустим, у нас имеется областная карта масштаба  $1 : 500\,000$  и мы решили составить по ней схему в масштабе  $1 : 100\,000$  на участок поселка Лосев (рис. 20). Обведем карандашом ту часть карты, на которую должны составить схему, и нанесем сетку квадратов со сторонами в 1 см. Возьмем лист плотной бумаги и начертим на нем сетку квадратов, стороны которых во столько раз больше, чем на карте, во сколько раз мы наметили увеличить карту. В нашем случае стороны квадратов должны быть по 5 см. Теперь задача состоит в том, чтобы перенести объекты с каждого квадрата карты на соответствующий квадрат бумаги. Для этого занумеруем одними и теми же цифрами квадраты на карте и на бумаге и приступим к переносу объектов в следующем порядке.

Отметим на карте точки пересечения дорог и рек с линиями первого квадрата. Измерим расстояния от ближайших углов квадрата до каждой точки. Все эти расстояния увеличим в 5 раз и отложим их на соответствующих линиях первого квадрата, очерченного на бумаге. Эти точки будут обозначать выходы дорог и рек на сторонах квадрата нашей будущей схемы. Пользуясь этими выходами, можно легко перенести в каждом квадрате все дороги, реки. Переносить нужно так, чтобы соблюдалось

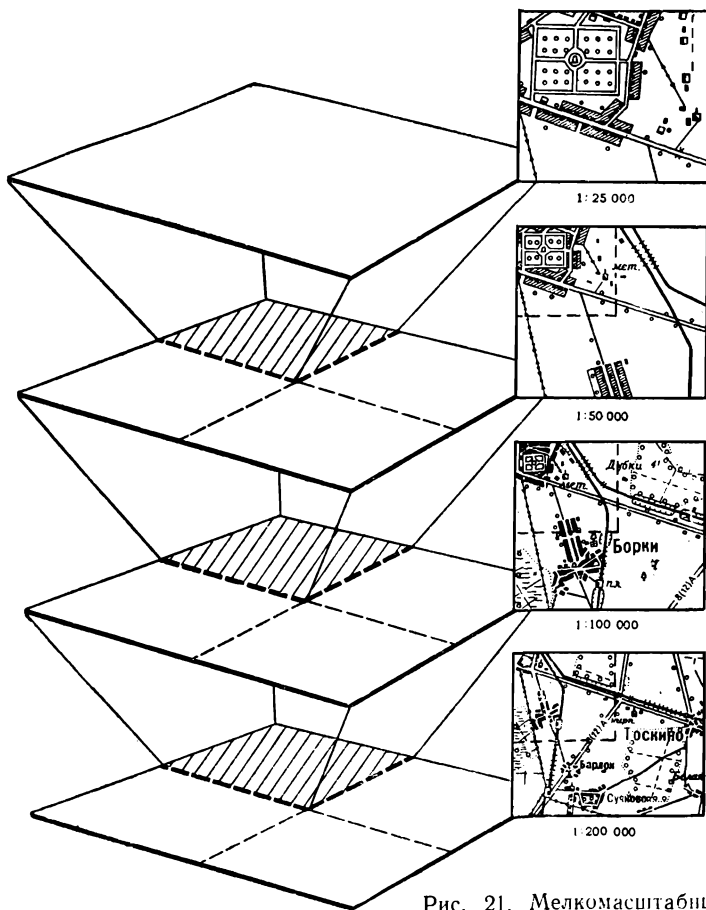


Рис. 21. Мелкомасштабные карты составляются по картам более крупного масштаба

полное подобие с картой. А это получится в том случае, если каждый размер на схеме будет увеличиваться по сравнению с картой точно в 5 раз. Затем перенесем с квадрата карты условные знаки селений, рощ и других предметов, сохраняя полное подобие в их положении относительно сторон и углов квадрата сетки. Все перенесенные с карты местные предметы аккуратно вычертим простым карандашом или тушью и у нас получится такой же рисунок, как на карте, только в увеличенном размере.

Вполне понятно, что такой чертеж по точности и детальности далек от настоящей топографической карты. Это своего рода схема, которая лишь в общих чертах отображает местность. Вместе с тем сам прием «карта по карте» получил очень широкое распространение в картографии для создания точных топографических карт более мелких масштабов. Достаточно, например, произвести топографическую съемку карты масштаба 1 : 25 000 и это даст нам возможность составить по ней вначале карту масштаба 1 : 50 000, затем карту масштаба 1 : 100 000 и т. д. Принцип создания мелкомасштабных карт по картам более крупных масштабов показан на рис. 21. Конечно, с уменьшением масштаба карты приходится исключать ряд второстепенных деталей, но качество составляемых карт от этого не страдает.

Карты любого масштаба, составленные таким путем, по своей точности и полноте содержания будут строго соответствовать требованиям, предъявляемым к картам соответствующего масштаба. При этом основой для них, как мы уже убедились, будут служить съемочные оригиналы, т. е. оригиналы топографических съемок, созданные кропотливым трудом топографов-первопроходцев. Так рождаются карты более мелких масштабов, в том числе и общегеографические карты отдельных стран, материков и всего мира.

## ЧТЕНИЕ КАРТЫ

По топографическим картам можно решать разнообразные задачи: изучать интересующую нас местность, измерять расстояния и площади, определять превышение между пунктами и крутизну скатов. Карта позволяет производить необходимые расчеты по проектированию строительства различных объектов. Наконец, карта — отличный путеводитель; имея на руках карту, можно свободно ориентироваться на любой местности и двигаться по намеченному маршруту. Особенно большую роль топографическая карта играет в военном деле. Без карты не мыслится организация и ведение боевых действий войск вообще, не говоря уже о ведении прицельного артиллерийского огня и пуска ракет.

Но карта откроет все свои тайны только тем, кто научится ее читать и освоит все богатства ее содержания.

Умение читать карту предполагает способность представлять себе изображенную на ней местность с такой ясностью и отчетливостью, как будто вы были на ней в действительности. Вот, например, как Д. Фурманов рассказал о способности Героя гражданской войны Василия Ивановича Чапаева разбираться в карте:

«Перед взором Чапаева по тонким линиям карты развертывались снежные долины, сожженные поселки, идущие в сумраке цепями и колоннами войска, ползущие обозы, в ушах гудел, свистел утренник-ветер, перед глазами мелькали бугры, колодцы, замерзшие синие речонки, поломанные серые мостики, чахлые кустарники: Чапаев шел в наступление».

Умение, глядя на карту, представить себе изображенную на ней местность требует тренировки. Но прежде всего нужно твердо усвоить условные знаки и сущность изображения рельефа горизонталями.

Условные знаки, принятые для наших топографических карт, как об этом уже говорилось выше, просты, удобны для запоминания и в большинстве своем имеют начертание, напоминающее внешний вид изображаемого местного предмета. Изучение условных знаков не представляет особых трудностей.

Несколько сложнее научиться читать рельеф, так как он имеет объемные формы, в то время как карта представляет собой плоское изображение местности. Но при определенных навыках в чтении карты горизонтали, которыми изображен рельеф, как бы оживляют местность и по ним воссоздаются все неровности земной поверхности.

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО КАРТЕ**

*Где выше и где круче.* Способ изображения рельефа горизонталями, применяемый на топографических картах, математически точно передает плановое очертание и высоты всех форм рельефа.

Представим себе какую-либо форму рельефа (например, холм, рис. 22), рассеченную параллельными плоскостями. В результате такого сечения получают горизонтали, которые своими извилинами отображают все неровности земной поверхности. По начертанию горизонталей можно прочесть гору и котловину, хребет и лощину. Зная высоту сечения (а ее величина всегда подписывается на карте рядом с масштабом), можно определить также абсолютные высоты точек над уровнем моря и превышения между любыми точками местности. Например, если подошва холма (см. рис. 22) имеет горизонталь с подписью 120 м, а высота сечения равна 10 м, то вершина будет иметь абсолютную высоту 165 м, а

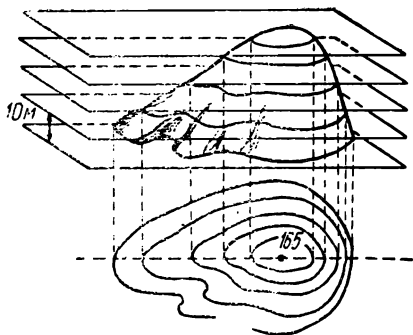


Рис. 22. Изображение холма горизонталями

превышение вершины над подошвой составит 45 м. Так определяются высоты точек. А можно ли по горизонталям определить, где скат круче, а где положе?

Крутизна ската определяется по расстоянию между горизонталями. Чем ближе друг к другу на карте расположены горизонталы, тем скат круче, и, наоборот, чем больше расстояние между двумя соседними горизонталями, тем скат положе. Значение крутизны ската в градусах можно получить по графику, который помещается под нижним обрезом карты (рис. 23). Вдоль горизонтального основания графика подписаны цифры, означающие крутизну скатов в градусах. На перпендикулярах к основанию отложены соответствующие им расстояния между двумя смежными горизонталями. Концы этих отрезков соединены непрерывной кривой.

Для определения крутизны ската следует измерить циркулем расстояние между двумя смежными горизонталями и приложить циркуль к графику. Отсчет внизу на шкале против ножки циркуля укажет крутизну ската в градусах.

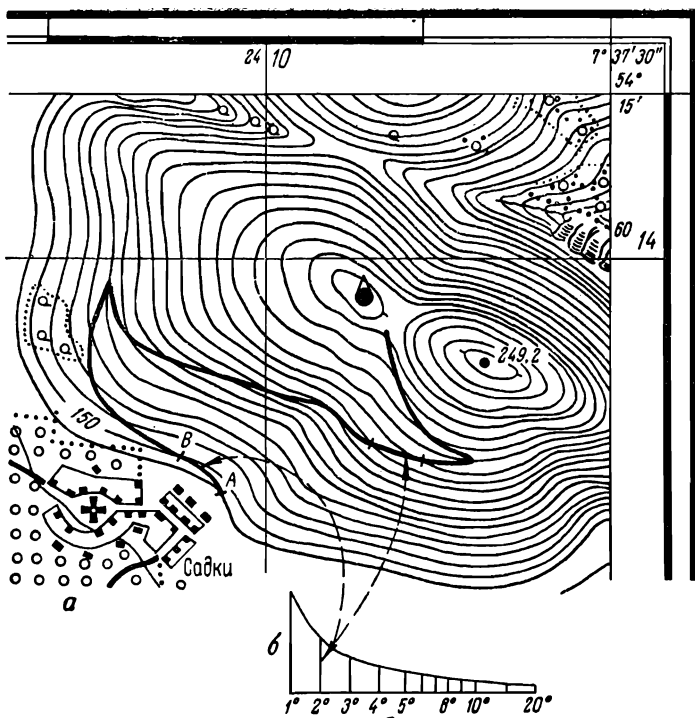


Рис. 23. Определение линии одинакового уклона ( $2^\circ$ )

Теперь представьте себя в роли проектировщика автомобильной дороги. Перед вами карта, часть которой показана на рис. 23 а. Требуется выбрать трассу дороги на участке от селения Садки до перевала между высотой с отметкой 249,2 и высотой с башней. Угол наклона дороги нигде не должен превышать  $2^\circ$ .

Возьмем по графику раствор циркуля, соответствующий  $2^\circ$  (см. рис. 23, б). Этим раствором циркуля опишем дугу из начальной точки  $A$  до пересечения со второй горизонталью в точке  $B$  и соединим эти две точки. Затем из точки  $B$  тем же радиусом опишем дугу до пересечения с третьей горизонталью и так далее, пока радиус не коснется горизонтали в конечной точке маршрута. Полученные точки пересечения радиусов с горизонталями соединим сплошной линией с плавными закруглениями. Эта кривая линия на всем протяжении будет иметь подъем ровно  $2^\circ$ . Так по карте можно наметить дорогу, проходящую с одинаковым уклоном на всем протяжении.

*Как определить расстояние и площадь.* Местность на карте изображается в уменьшенном виде. Отношение, показывающее, во сколько раз уменьшена каждая линия, нанесенная на карту, по сравнению с ее действительной величиной, называется масштабом карты. Так, например, если 1 см на карте соответствует 1 км на местности, то масштаб карты будет равен 1 : 100 000.

Пользуясь масштабом, можно определять расстояние по карте или измеренное на местности расстояние нанести на карту. Практически расстояния по карте определяют с помощью линейного масштаба. Линейным масштабом называют графическое изображение численного масштаба в виде прямой линии с делениями для отсчета расстояний. При измерениях по линейному масштабу достаточно измерить циркулем, линейкой или полоской бумаги расстояние между заданными точками на карте, приложить циркуль к линейному масштабу и снять отсчет.

В практике очень часто приходится измерять расстояния не по прямым, а по ломаным или извилистым линиям, например длину маршрута по дорогам. В этом случае устанавливается небольшой раствор циркуля, который называется шагом. Длина шага зависит от сте-



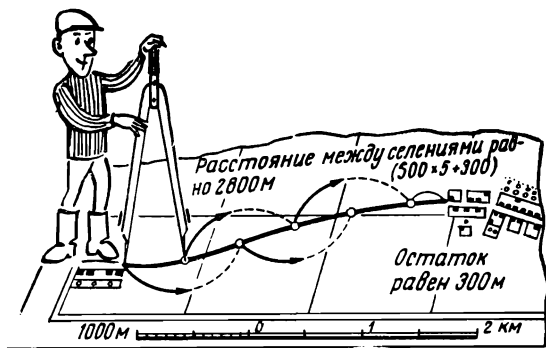


Рис. 24. Измерение расстояний на карте по кривым линиям

пени извилистости линии, но, как правило, не должна превышать 1 см. Одну иглу циркуля ставят в начальную точку маршрута, а вторую — в направлении измеряемой линии (рис. 24). Поворачивая циркуль относительно одной из игл, «шагают» по маршруту. Общая длина маршрута равна числу шагов, умноженному на расстояние шага циркуля в масштабе карты, плюс остаток, измеренный по линейному масштабу.

Измерение площадей очень удобно производить при помощи миллиметровой сетки, которую наносят на прозрачную бумагу или пленку. Прикладывая такую сетку на контур карты, подсчитывают число квадратных миллиметров, покрывающих площадь, причем доли миллиметров определяют на глаз. Зная, чему соответствует 1 мм<sup>2</sup> карты на местности, легко определить площадь какого-либо объекта по карте. Например, на карте масштаба 1:100 000 1 мм соответствует 100 м, значит в 1 мм<sup>2</sup> будет один гектар (100×100 м).

Для измерения площадей специалисты обычно при-

меняют особый прибор — планиметр. Обводя иглой, расположенной на конце рычага планиметра, контур измеряемой площади, на ободке колесика получают отсчет, равный площади, заключенной в контуре.

Мы не будем более детально рассматривать принцип действия планиметра и его устройство. Вместо этого предложим читателю оригинальный способ измерения площадей с помощью обычного перочинного ножа.

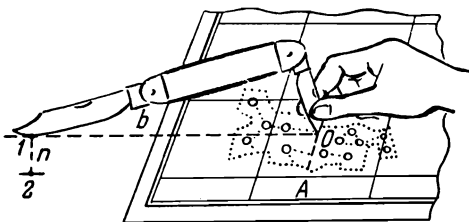


Рис. 25. Измерение площади кустарника с помощью перочинного ножа

Раскройте большое лезвие ножа полностью, а малое наполовину (рис. 25). Найдите на глаз центр тяжести  $O$  фигуры, площадь которой измеряется, и установите на него острие малого лезвия. При таком положении сделайте нажимом большого лезвия на бумаге метку  $1$ . Затем возьмите двумя пальцами малое лезвие и передвигайте острие его из центра  $O$  по прямой линии в какую-нибудь точку  $A$  и от нее продолжайте обводить контур фигуры, а затем по линии  $AO$  вновь верните его в точку  $O$ . В этом положении сделайте нажимом большого лезвия новую метку  $2$  на бумаге. Расстояние  $n$  между двумя метками и расстояние  $b$  между точками соприкосновения лезвий ножа с бумагой измерьте по масштабу карты и определите площадь фигуры по весьма простой формуле  $S = nb$ .

Для повышения точности необходимо измерение проводить дважды при взаимно противоположных положениях лезвия. Причем при втором измерении малое лезвие следует передвигать в обратном направлении. Среднее из двух таких измерений даст возможность определить площадь фигуры с точностью 2—3%.

*Сколько кубометров леса в лесу.* Современные топографические карты насыщены богатым содержанием; по ним можно получить весьма подробные сведения о местности. Если какую-либо характеристику местного предмета топографам не удастся выразить графическим символом, то они прибегают к оцифровкам, которые дополняют условный знак, придают ему свою индивидуальность. Примером может служить условный знак леса. В каждом крупном лесном массиве условными обозначениями указывается порода леса, высота и диаметр деревьев и расстояние между ними. Допустим, около условного знака, показывающего породу леса, стоит оцифровка  $\frac{20}{0,30}$  5. Это значит, что высота деревьев

20 м, диаметр на высоте груди 0,30 м и расстояние между деревьями 5 м. Конечно, эти данные осредненные, тем не менее по ним можно достаточно точно производить проектные расчеты.

Полагаем, что ствол каждого дерева имеет форму конуса, основанием которого служит круг диаметром 0,30 м, а высота равна 20 м. Этих данных вполне достаточно, чтобы вычислить объем дерева по известной формуле объема конуса:

$$v = \frac{1}{3} \pi r^2 h = \frac{1}{3} 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 20 = 0,47 \text{ м}^3.$$

В результате мы определили, что в одном дереве содержится 0,47 м<sup>3</sup> строевого леса или дров. А чтобы узнать, сколько кубометров леса на 1 га, нужно преж-

де всего определить общее количество деревьев, произрастающих на этой площади. Гектар — площадь квадрата со стороной 100 м. В нашем примере дерево от дерева отстоит на 5 м. Значит, на расстоянии 100 м будет расположено 20 деревьев, а на площади  $100 \times 100$  м — 400. Теперь уже не представляет особой трудности подсчитать общий объем леса на одном или нескольких гектарах. Для этого объем одного дерева нужно умножить на общее количество деревьев, растущих на данной площади.

*Сколько воды в реке.* Можно ли по карте узнать, сколько примерно кубометров воды в секунду, минуту, час протекает в той или иной реке?

Чтобы ответить на этот вопрос, выясним, какие данные нужно иметь для наших расчетов. Прежде всего необходимо знать среднюю скорость, с какой движутся водяные частицы в речке. Топографы очень предусмотрительны, и, зная, что величина скорости может потребоваться специалистам для разных расчетов, они определяют ее во время съемки. Скорость течения выражается числом метров в одну секунду и подписывается на карте в разрыве стрелки, указывающей направление течения. Но для определения расхода воды этого недостаточно. Нужно знать еще поперечную водяную площадь, или то, что называется площадью живого сечения реки. Для определения этой величины воспользуемся другими числовыми данными, которые также определяются топографом при съемке карты. Эти данные — ширина и глубина реки в межень. Подписи их даются на карте в виде дроби, в числителе которой указана ширина, а в знаменателе глубина реки в метрах.

На рис. 26 показан участок реки со всеми необходимыми оцифровками, которые обычно подписываются на карте. Имея эти данные, попытаемся вычислить расход воды за единицу времени.

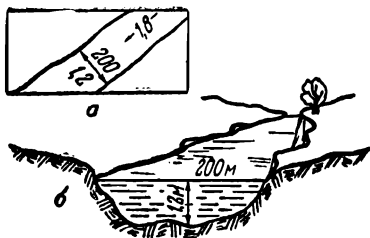


Рис. 26. Числовые характеристики реки:

*a* — на карте, *б* — в натуре

Прежде всего определим живое сечение реки. Если сечение реки считать прямоугольным, то для вычисления площади живого сечения достаточно перемножить ширину на глубину. Но нам известно, что все реки, как правило, имеют постепенное увеличение глубины. Для приближенных расчетов можно считать, что указанная на карте глубина проходит не по всему участку поперечного сечения, а только по половине его. Таким образом, живое сечение имеет форму не прямоугольника, а трапеции с основаниями 200 и 100 м и высотой 1,2 м.

Площадь сечения равна полусумме оснований, умноженной на высоту ( $150 \times 1,2 = 180 \text{ м}^2$ ).

Такое количество воды пронеслось бы ежесекундно, если бы скорость течения была бы равна 1 м/сек. У нас скорость равна 1,8 м/сек. Значит, ежесекундно пронесится  $324 \text{ м}^3$  ( $180 \times 1,8$ ).

Расчеты показывают, что даже в сравнительно узкой и мелкой реке протекает за сутки огромное количество воды. Для инженера, который проектирует гидроэлектростанции, такие расчеты крайне необходимы. Он может по карте сразу же прикинуть, сколько киловатт электроэнергии можно получить от любой реки.

Вот и закончилось наше маленькое путешествие в мир топографии. А как быть, если не все ясно, если многие вопросы не были достаточно подробно рассмотрены в этой книжке? Надо идти дальше, и помощниками в этом будут учебники топографии, а также капитальные специальные труды. Ведь топография — это не только наука, основы которой необходимо знать буквально каждому. Топография — это и профессия — почетная и очень увлекательная. И если эта книжка поможет вам в выборе профессии, мы будем считать, что ваше знакомство с топографией было не только приятным, но и полезным.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Что такое топографическая карта. . . . .	5
Карты туземцев . . . . .	7
Очертание Таинственного острова. . . . .	10
Способ перпендикуляров . . . . .	13
Каркас карты . . . . .	17
Съемка на «столике» . . . . .	20
Азбука карт . . . . .	22
Линии равных высот . . . . .	25
Фотография с птичьего полета . . . . .	28
Аэроснимок — центральная проекция. . . . .	31
Снимки в трех измерениях . . . . .	36
Как определяются превышения . . . . .	39
Прибор создает макет местности. . . . .	41
Карты требуют обновления . . . . .	46
Карта по карте . . . . .	47
Чтение карты . . . . .	52
Решение задач по карте . . . . .	53

Куприн Алексей Михайлович  
КАК СОЗДАЕТСЯ ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА

Редактор *Е. И. Ардабьева*  
Редактор издательства *Т. А. Юнусова*  
Обложка художника *М. И. Гозспут*  
Техн. редакторы *В. Л. Прозоровская, Э. А. Болдырева*  
Корректор *М. В. Дроздова*

---

Сдано в набор 24/III-1971 г.  
Подписано в печать 12/VIII-1971 г.  
Т-12770. Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Печ. л. 2. Усл. печ.  
л. 2,8. Уч.-изд. л. 2,45. Бумага № 2. Индекс 1-5-0.  
Заказ № 1040/3702—15. Тираж 21 500 экз. Цена 8 коп.

---

Издательство «Недра»  
Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.  
Типография № 32 Главполиграфпрома.  
Москва, Цветной бульвар, 26.





8. 10. 11.

11. 10. 11. 12.