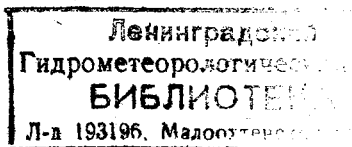


ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Д. М. КУДРИЦКИЙ

КАРТОМЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Учебное пособие



ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
имени М. И. Калинина

ЛЕНИНГРАД
1978

УДК 528.2+528.9

*Одобрено Ученым советом
Ленинградского гидрометеорологического института*

В учебном пособии изложена методика производства картометрических работ, выполняемых в различных учреждениях Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды; в нем собраны и обобщены сведения о приборах и методах выполнения картометрических работ с использованием современной вычислительной техники.

Ответственный редактор Ю. А. Яковлев

© Ленинградский политехнический институт (ЛПИ), 1978 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Со времени издания конспекта лекций по картометрическим работам (1965 г.) картометрия обогатилась новыми приборами и способами, основанными на применении современной техники. Изменились возможности, определились и новые ее направления. Эти обстоятельства, а также многочисленные пожелания студентов Отделения заочного обучения ЛГМИ относительно объединения в одном пособии сведений, необходимых для выполнения предлагаемых им контрольных работ по картометрии, определили необходимость составления настоящего учебного пособия. Оно, как и ранее конспект, дополняет изучаемый в ЛГМИ курс геодезии, а кроме того, имеет и самостоятельное значение для студентов тех специальностей, которые геодезию не изучают. В пособии собраны и обобщены разрозненные в различных источниках картометрические задачи и с достаточной для самостоятельного изучения полнотой изложена методика их решения. В пособии уделено внимание особенностям документов, на которых искажения за счет их проекции играют существенную роль; эти искажения должны хотя бы приближенно учитываться при выполнении картометрических работ. Предполагается, что в тех случаях, когда в процессе выполнения курсовых и дипломных работ студентам потребуется детальный учет искажений, то они, изучив основы картометрии по данному пособию, обратятся к специальной литературе, используемой при составлении пособия, и там найдут ответы на интересующие их вопросы.

Пособие не претендует на исчерпывающее изложение картометрических работ и ограничивается рассмотрением тех из них, которые выполняются в учреждениях Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды и родственных ему учреждениях.

§ 1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ КАРТОМЕТРИИ

Картометрия является одним из разделов картографии, она занимается разработкой методики измерений на картах, планах и других документах (профили, аэрофотоснимки, космические снимки) в целях получения количественных характеристик изобра-

женных на них объектов камеральным путем, т. е. без выхода в натуру.

Картометрические работы выполняются по специальным инструкциям и руководствам, которыми регламентируются масштабы рабочих карт, применение соответствующих приборов и инструментов и, кроме того, рекомендуются правила и приемы производства работ, гарантирующие получение по соответствующим документам требуемых характеристик с надлежащей точностью.

Следует заметить, что в практике исследований природных ресурсов, особенно при инженерных изысканиях, можно встретиться с различными подходами к картам, планам и другим графическим документам.

В большинстве случаев признается, что такие документы, будучи основанными на геодезических данных, должны являться наглядными и точными изображениями некоторой совокупности точек земной поверхности. Если координаты каждой из этих точек (например, координаты вершин теодолитного полигона или отметки пикетов на профиле) известны, то особой тщательности построения соответствующих графических документов можно и не требовать: в данном случае они могут рассматриваться как схемы, облегчающие аналитическое решение таких задач, как например, определение длины и направления линии по координатам ее концов, определение уклона линии известной длины по отметкам ее концов и пр.

Однако на любом картографическом документе имеется много точек и контуров, изображенных посредством одних лишь графических построений, а на аэрофотоснимке все без исключения контуры получают проективным путем. Определить количественные характеристики изучаемых объектов аналитическим методом в этих случаях невозможно, вследствие чего и избираются иные, картометрические методы решения поставленной задачи, учитывающие не только способ получения тех или иных изображений, но и их особенности, а также и основу, на которой нанесены изображения. К подобным документам предъявляются самые высокие требования в отношении точности их составления, четкости изображения отдельных элементов и сохранности. Поэтому производству картометрических работ должны предшествовать выбор (если таковой оказывается возможным) и исследование документа, на котором будут производиться измерения.

Для суждения о пригодности данной карты для производства тех или иных картометрических работ необходимо выяснить характер и размеры искажений и их распределение по всей площади карты или хотя бы в районе изучаемого объекта (прил. 1).

Метод измерений объекта следует избирать сообразуясь с целью производящихся измерений и требуемой их точностью. Здесь

важно отметить, что наряду с понятием о точности масштаба или геодезической точности при картометрических работах существует также понятие о точности «эксплуатационной», вытекающее из задач производящегося исследования. Очевидно, что применение точных методов или инструментов при работе с заведомо устаревшей, схематической и деформированной картой нецелесообразно. В то же время на самой точной, современной карте измерения могут производиться приближенными методами в тех случаях, когда исследователь удовлетворяется приближенными значениями количественных характеристик изучаемых им объектов.

По современной топографической карте могут быть определены координаты и высоты отдельных точек, длины линий, их наклоны и направления, площади контуров и объемы тел.

Методика измерений и применяемые в каждом отдельном случае приемы картометрических работ излагаются в дальнейшем.

§ 2. ПОДГОТОВКА КАРТЫ К ИЗМЕРЕНИЯМ. УЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ БУМАГИ

Для производства картометрических работ следует пользоваться новыми, не бывшими в употреблении листами карт. На многокрасочных картах должно быть проверено совпадение основных красок (картографическая сетка, гидрографическая сеть и рельеф) и тех красок, которыми показаны объекты измерений.

Измерения должны производиться на безукоризненно ровном и удобном для работы столе, в светлой и сухой комнате, при нормальной температуре. Следует иметь в виду, что картографическая бумага весьма подвержена деформациям из-за изменений температуры и влажности окружающего воздуха. Эти деформации могут достигать 1—1,5% размеров листа по разным направлениям.

Искажения длин определяются по километровой сетке или по рамкам трапеции карты, размеры которых приводятся на карте или берутся из специальных таблиц и сопоставляются с данными непосредственных измерений, выполненных с помощью контрольной линейки с точностью $\pm 0,2$ мм.

Итак, если теоретическую длину некоторой линии на карте обозначить через l_0 , а результат измерения этой линии по карте через l , то величина деформации может характеризоваться коэффициентами, вычисляемыми по двум взаимно перпендикулярным направлениям километровой или картографической сетки по формулам

$$p = \frac{l - l_0}{l_0}; \quad q = \frac{l' - l'_0}{l'_0}. \quad (2.1)$$

Пример. Измерив стороны квадрата, состоящего из нескольких квадратов километровой сетки, нашли, что при $l_0=l'_0=4000$ м, $l=3980$ м и $l'=4020$ м; тогда $p = \frac{3980-4020}{4000} = -\frac{1}{200} (-0,5\%)$;

$$q = \frac{4020-4000}{4000} = +\frac{1}{200} (+0,5\%).$$

Определив $p = \frac{p_s + p_y}{2}$ — искажения вдоль меридианов и $q = \frac{q_s + q_y}{2}$ — искажения вдоль параллелей, найдем искажение длины по заданному направлению

$$p' = p \cos^2 T + q \sin^2 T, \quad (2.2)$$

где T — дирекционный угол заданного направления, и по направлению, перпендикулярному заданному:

$$q' = p \sin^2 T + q \cos^2 T, \quad (2.3)$$

откуда следует, что

$$p' + q' = p + q = \text{const.} \quad (2.4)$$

Формула (2.4) выражает искажение площади.

Для определения истинной площади контура применяется формула

$$S = S' \left(1 \pm \frac{p+q}{100} \right), \quad (2.5)$$

где S' — искаженная площадь, полученная по деформированному листу карты;

S — истинная площадь.

Искажения p и q могут иметь разные знаки. При сжатии бумаги по всем направлениям перед дробью $\frac{p+q}{100}$ берется знак плюс, а при растяжении — минус.

Написанная формула справедлива для фигуры любой формы и не зависит от ориентировки этой фигуры на карте.

Пример. $S' = 52,15$ км², $p = +0,5\%$, $q = -1\%$,
 $S = 52,15 + 52,15 \left(\frac{1}{200} - \frac{1}{100} \right) = 51,89$ км².

Если коэффициенты равны, т. е. если $p = q = q_0$ или если берется средний коэффициент $q_0 = \frac{p+q}{2}$, то

$$S = S' + 2 S' q_0. \quad (2.6)$$

Пример. $S' = 38,40 \text{ км}^2$, $p = q = +0,5\%$, $S = 38,40 + \frac{76,8}{200} = 38,78 \text{ км}^2$.

Если площадь участка на деформированном плане определяется графо-аналитическим способом, то поправка за деформацию бумаги вводится в общую площадь всего участка, по частям вводить ее не следует. При определении площади механическим и другими способами применяется способ акад. А. Н. Савича (см. ниже), учитывающий влияние деформации бумаги.

Во избежание влияния местных деформаций, учесть которые крайне затруднительно, проф. Н. М. Волков (1950) рекомендует производить измерение площадей по частям, размерами $10 \times 10 \text{ см}$.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ И ВЫСОТ ТОЧЕК НА КАРТЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК

Трапеции топографических карт ограничены изображениями дуг меридианов и параллелей, значения которых подписаны на углах трапеций. Кроме того, на крупномасштабных картах, вдоль изображений меридианов и параллелей, чередующимися черными и белыми шашками показаны отрезки, соответствующие минутам или десяткам минут широты и долготы.

Для определения на карте географических координат некоторой точки следует провести через нее меридиан и параллель и по соответствующим рамкам трапеций отсчитать число минут широты и долготы (десятые доли минут оцениваются глазомерно), которые затем прибавить или отнять от значений географических координат, имеющих на углах трапеции.

Условимся все расчеты производить относительно юго-западного (левого нижнего) угла трапеции, тогда отсчитанные минуты широты и долготы прибавляются к значениям их, обозначенным у юго-западного угла.

Если на карте изображения минутных дуг меридианов и параллелей не показаны, то определение географических координат заданной точки на карте выполняется следующим образом.

Прочертив через точку А (рис. 1) меридиан и параллель, измерим отрезки меридиана x_1 и x_2 и отрезки параллели y_1 и y_2 с точностью до десятых долей миллиметра.

Рассматривая отрезки x_1 и $x_1 + x_2 = m$ как дуги, стягивающие соответственно углы $\varphi_A - \varphi_{Ю} = \Delta\varphi$ и $\varphi_C - \varphi_{Ю}$, а также отрезки y_1 и $y_1 + y_2 = n$ как дуги, стягивающие соответственно углы $\lambda_A - \lambda_3 = \Delta\lambda$ и $\lambda_B - \lambda_3$, искомые координаты точки А можно определить по формуле

$$\left. \begin{aligned} \varphi_A &= \varphi_{ю} + \Delta\varphi = \varphi_{ю} + \frac{x_1}{m} (\varphi_c - \varphi_{ю}), \\ \lambda_A &= \lambda_3 + \Delta\lambda = \lambda_3 + \frac{y_1}{n} (\lambda_в - \lambda_3). \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Рассуждая аналогичным образом, можно для контроля получить значения координат точки A еще раз, приняв за начало координат северо-восточный угол рамки:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_A &= \varphi_c - \Delta\varphi' = \varphi_c - \frac{x_2}{m} (\varphi_c - \varphi_{ю}), \\ \lambda_A &= \lambda_в - \Delta\lambda' = \lambda_в - \frac{y_2}{n} (\lambda_в - \lambda_3). \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Следует иметь в виду, что ошибка в положении контурных точек составляет в среднем около 0,5 мм, независимо от масштаба карты; поэтому координаты точек, определенные по карте, обычно округляют до десятых долей минут или до целых минут, сообразуясь с масштабом карты.

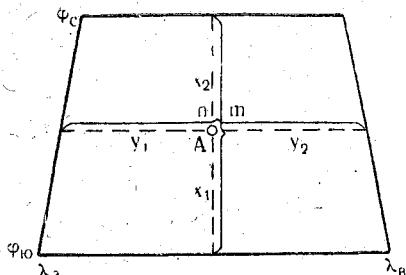


Рис. 1. Определение географических координат точки A

При массовых определениях координат точек, особенно на картах мелкого масштаба, применяют специально вычерченные палетки. Они изготавливаются на целлулоиде или на восковке, отдельно для каждой широтной зоны. Палетка представляет собой сетку меридианов и параллелей, проведенных через заданное число ми-

нут широты и долготы. Для определения географических координат точек в пределах трапеции карты, ограниченной двумя смежными меридианами и параллелями, палетку накладывают на карту так, чтобы линии палетки совпали с соответствующими линиями картографической сетки. После этого, как обычно, оценивается положение определяемой точки относительно юго-западного угла палетки. Для определения прямоугольных координат некоторой точки A (рис. 2) необходимо провести через нее линии, параллельные сторонам квадрата километровой сетки, в котором она находится. Пользуясь линейкой с миллиметровой шкалой или циркулем и масштабной линейкой, определяют $\delta x'$ — расстояние точки A от южной стороны квадрата (абсцисса) и $\delta y'$ — от западной

стороны квадрата (ордината). Определив эти расстояния в масштабе карты и прибавив их соответственно к значениям абсциссы x_0 и ординаты y_0 юго-западного угла квадрата, получают полное значение координат точки A , соотносясь с графической точностью ($\pm 0,2$ мм) данной карты.

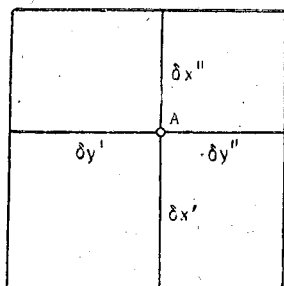


Рис. 2. Определение прямоугольных координат точки A

Для контроля и уменьшения влияния деформации бумаги измеряют также расстояния $\delta x''$ и $\delta y''$ данной точки A от северной и восточной сторон квадрата.

Тогда окончательное значение координат точки A можно найти по формулам

$$x_A = x_0 + \frac{\delta x}{\delta x' + \delta x''} L;$$

$$y_A = y_0 + \frac{\delta y'}{\delta y' + \delta y''} L, \quad (3.3)$$

где L — теоретическая длина стороны квадрата сетки, равная 1 км.

При массовых определениях прямоугольных координат следует пользоваться координатомером, изготовленным из целлулоида. Простейший координатомер представляет собой Г-образную бумажную полосу, на внутренних сторонах которой строятся миллиметровые шкалы, используемые для измерения абсцисс и ординат точек относительно x_0 и y_0 .

Если определение прямоугольных координат связано с решением обратных геодезических задач в целях получения расстояний между заданными точками, то в пределах одной зоны это определение затруднений не вызывает. Если же начало и конец искомой линии находятся в разных зонах, то следует сделать перевычисление координат точки из смежной зоны в систему координат той зоны, в которой производятся работы. Эта операция осуществляется по специальным, в том числе и табулированным, формулам или графическим путем.

Для графического преобразования координат на топографических картах, вдоль западной и восточной границ каждой зоны, в пределах двухградусных полос, показаны оцифрованные выходы линий километровых сеток смежных зон. Прочерчивая линии через одноименные выходы, можно определить значения координат точек смежной зоны в системе координат той зоны, в которой производятся картометрические работы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ (ОТМЕТОК) ТОЧЕК НА КАРТЕ

Высотное положение точек на карте определяется по их оцифровке или оцифровке соседних горизонталей, а также по отметкам ближайших характерных точек рельефа, пунктов геодезической основы с учетом высоты сечения рельефа.

Зная сечение рельефа, можно определить отметки ближайших к характерной точке горизонталей, для этого следует прочесть ближайшие к ее отметке числа, кратные значению сечения рельефа.

Например, по отметке 131,5 м, показанной на карте, узнаем, что при сечении рельефа 5 м она находится между горизонталями с отметками 130 и 135 м.

Отметка точки, находящейся между горизонталями, определяется как алгебраическая сумма отметки ближайшей горизонтали H_T и h — превышения точки над этой горизонталью. Для определения превышения воспользуемся пропорцией, поясняемой чертежом (рис. 3):

$$\frac{\Delta h}{m} = \frac{h}{d},$$

$$\text{откуда } \Delta h = m \frac{h}{d},$$

тогда искомая отметка

$$H_T = H_T + m \frac{h}{d}, \quad (3.4)$$

где h — высота сечения рельефа; d — заложение, взятое по направлению наибольшего ската.

Если на карте отыскивается положение точек с заданной отметкой (H_n), например, если требуется наметить на карте проектное очертание чаши будущего водохранилища, то из той же исходной пропорции определяется длина отрезка m :

$$m = d \frac{\Delta h}{h}, \quad (3.5)$$

где $\Delta h = H_n - H_T$.

Найденные по этой формуле отрезки откладываются в соответствующую сторону от исходной горизонтали H_r по направлениям линий наибольшего ската. Концы этих отрезков соединяются плавной кривой, которая явится нулевой изобатой проектируемого водохранилища.

Отметка точки, находящейся в центре замкнутой горизонтали, опоясывающей вершину горы (дно котловины), принимается выше (ниже) отметки данной горизонтали на половину высоты сечения. Обычно отметка этой точки, как характерной точки рельефа, отмечается на карте.

§ 4. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ НАКЛОНА И НАПРАВЛЕНИЯ. ОТГРАНИЧЕНИЕ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ

Прямые линии на картах измеряются контрольной или обычной линейкой с миллиметровыми делениями, а также различными циркулями-измерителями — от штанген-циркуля, применяемого для измерения очень длинных линий, до микроизмерителя, предназначенного для измерения очень малых отрезков. Для измерения последних следует пользоваться измерительными лупами, в поле зрения которых имеются миллиметровые шкалы.

Ломаные линии измеряются по отрезкам с последующим их суммированием способом наращивания циркуля. Сущность этого способа поясняется рис. 4. Длина линии $ABCD$ на нем будет

$$A''D = AB + BC + CD,$$

а размер линии определяется по масштабной линейке.

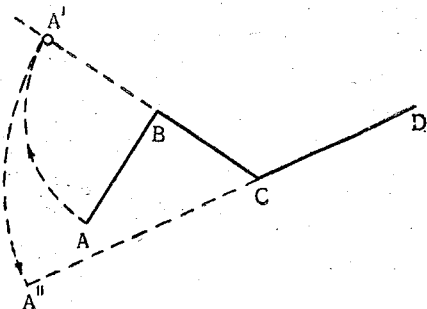


Рис. 4. Определение длины ломаной линии по способу наращивания циркуля

Извилистые линии на картах могут быть измерены различными способами. Наибольшее применение в настоящее время имеют механический способ и способ Ю. М. Шокальского.

Механический способ измерения линий

Измерения линий по этому способу выполняются курвиметрами различных систем и типов. Простейший курвиметр состоит из двух соединенных шестеренкой колес разного диаметра, заключенных в специальную оправу. Малое (обводное), несущее шестеренку колесо прокатывается по измеряемой линии; путь, пройденный колесом, отмечается на циферблате большого колеса по индексу или по стрелке. Циферблат может иметь несколько шкал, градуированных применительно к соответствующим масштабам. Чаще встречаются курвиметры с двухсторонними циферблатами, проградуированными для получения длин в сантиметрах и дюймах. К числу таких курвиметров относится выпускаемый отечественной промышленностью курвиметр КУ (рис. 5).

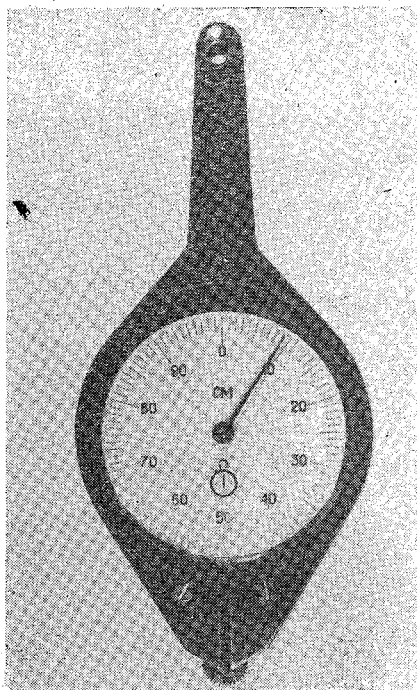


Рис. 5. Курвиметр КУ

Перед употреблением курвиметра проверяется цена деления избранной для измерений шкалы путем многократной прокатки колеса курвиметра по «пробному базису» — отрезку прямой, прочерченному на полях рабочей карты или по одной из линий километровой сетки этой карты. Не очень извилистые, плавные кривые линии курвиметром можно измерить с ошибкой около 2%. Ошибка измерения очень извилистых кривых возрастает до 10%

и более, поэтому для измерения длин рек и других очень извилистых линий обычный курвиметр признается непригодным.*

Для измерения длин рек, извилистость которых по шкале ГГИ характеризуется коэффициентом менее 1,11, Е. П. Сенков (1958) предложил усовершенствованный им курвиметр «КС» (рис. 6). Основным отличием этого курвиметра от обычного является уменьшенное до предела (диаметр около 3 мм) обводное колесо, а кроме того, своеобразная конструкция курвиметра КС, заимствованная у рейсфедера кривоножки.

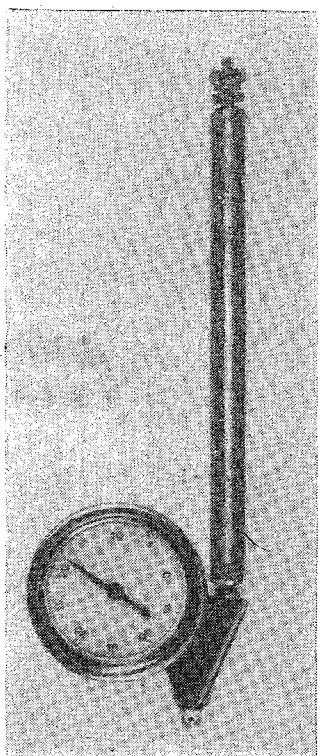


Рис. 6. Курвиметр КС

Представляет определенный интерес попытка объединения в одном агрегате двух курвиметров типа КУ в виде курвиметра ДК (рис. 7). На каретке держателя курвиметров, в плоскости, проходящей через точки соприкосновения

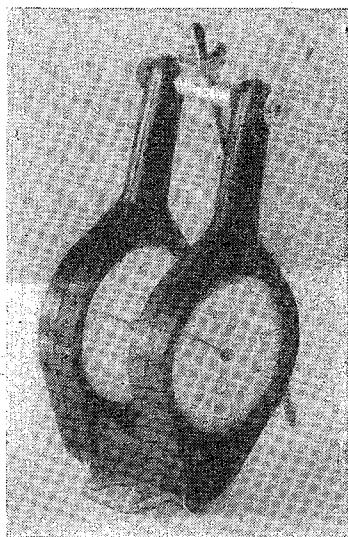


Рис. 7. Курвиметр ДК

* Над совершенствованием курвиметра работал Г. И. Знаменников, им были созданы опытные экземпляры более точных курвиметров — рычажного и фрикционного. Известен также оптический способ измерения кривых на карте, предложенный Г. С. Максимовым. Практического применения все эти предложения не получили.

обводных колес с картой, укреплен прозрачная пластинка с индексом. Строго говоря, ось прибора — линия, проходящая через центры колес, при измерениях должна быть направлена в каждой точке кривой по нормали к этой кривой¹, что при измерении извилистых кривых выполнять трудно. Поэтому индексом у курвиметра ДК является продольная черточка, которую при измерениях следует держать в положении касательной к измеряемой кривой. Если

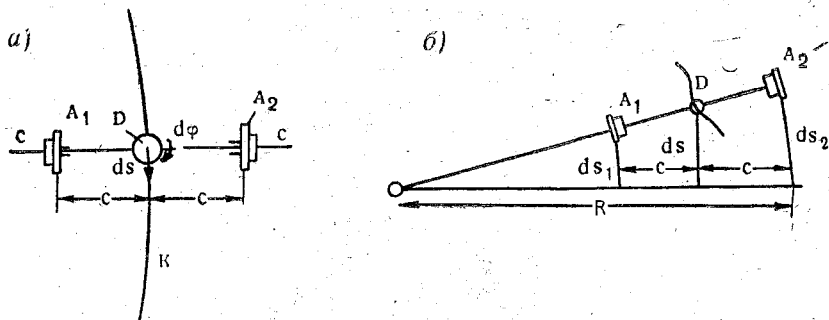


Рис. 8. Принципиальная схема курвиметра ДК

индекс D переместился на расстояние ds (рис. 8а), то движение прибора может быть составлено из параллельного перемещения на величину ds (причем точка, лежащая на окружности каждого колеса, проходит путь ds) и из последующего его поворота на угол $d\varphi$. При этом колеса A_1 и A_2 вращаются в противоположные стороны.

Пути, пройденные обоими колесами, определяются по формулам:

$$ds_1 = ds - \frac{1}{2} d\varphi \text{ и } ds_2 = ds + \frac{1}{2} d\varphi,$$

откуда

$$ds = \frac{1}{2} (ds_1 + ds_2)$$

и в общем виде

$$S = \frac{1}{2} (S_1 + S_2). \quad (4.1)$$

К тому же выводу можно прийти и другим путем (рис. 8б):

$$ds_1 = ds \frac{R-c}{R} \text{ и } ds_2 = ds \frac{R+c}{R},$$

¹ На этом принципе построены некоторые зарубежные курвиметры.

откуда, как и ранее,

$$ds = \frac{1}{2} (ds_1 + ds_2) \text{ и } S = \frac{1}{2} (S_1 + S_2).$$

Существует много различных приборов и приспособлений для измерения кривых на различных технических графиках. Некоторые из них могли бы найти применение при картометрических работах.

Способ Ю. М. Шокальского

При измерении длины реки или другой извилистой линии по способу Шокальского измеряемая линия разбивается на участки с учетом степени извилистости, затем каждый участок измеряется специально изготовленным циркулем или микроизмерителем с раствором его ножек в 1 мм (по исследованиям Ю. М. Шокальского, раствор должен быть 1,3 мм).

Раствор циркуля поверяется на пробном базисе длиной 30—40 мм, вычерчиваемом на полях рабочей карты. Таких базисов должно быть заготовлено несколько, потому что каждый из них может быть использован только один раз. Для более быстрой и точной установки измерителя на заданный раствор рекомендуется воспользоваться приспособлением В. В. Никольского (рис. 9), предложившего наклеить на шляпку микрометрического винта картонный кружок и проградуировать его, обеспечив цену наименьшего деления шкалы, равную 0,05 мм.

Полученная длина каждого участка линии умножается на соответствующий извилистости участка коэффициент, выбираемый из таблицы образцов, разработанной в ГГИ (рис. 10), и выражается в километрах соответственно масштабу карты.

Для измерения длин рек по картам установлены следующие правила:

1) Начало и конец для каждого участка реки фиксируется засечками — короткими черточками, проведенными перпендикулярно измеряемой линии. Черточки в истоке и устье реки берутся в кружок. Длина каждого отдельного участка не должна превышать 4—5 см.

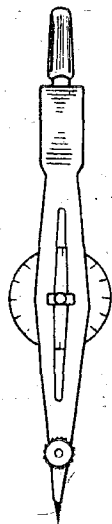


Рис. 9. Измеритель
В. В. Никольского

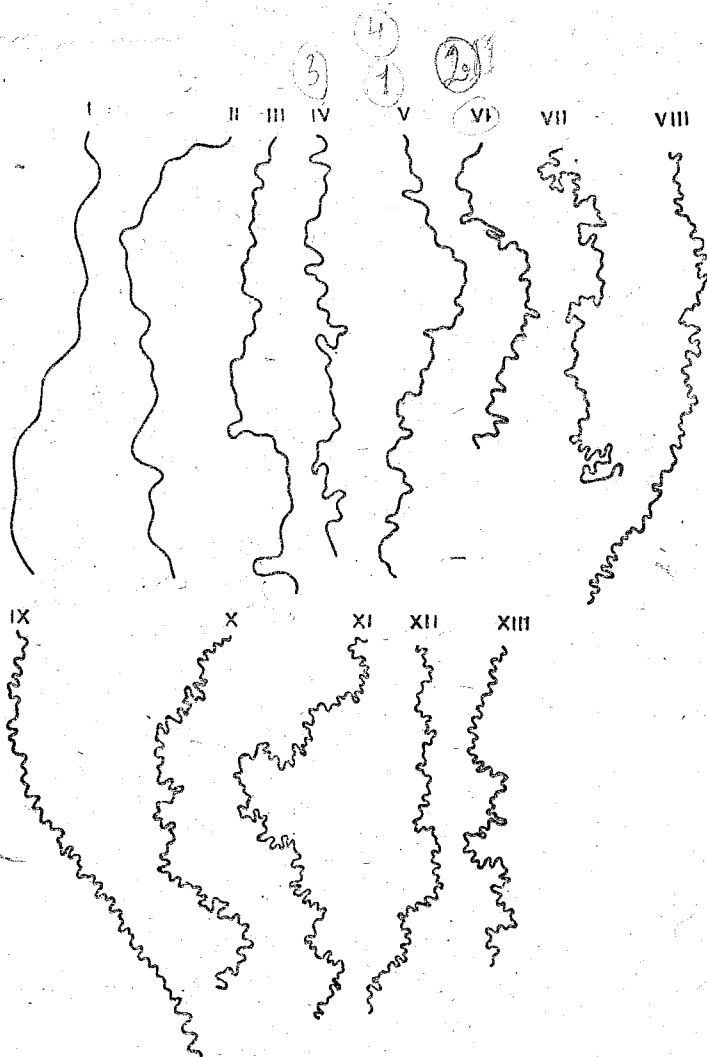


Рис. 10. Образцы извилистости рек:

Номер образца	: I	: II	: III	: IV	: V	: VI	: VII
Коэффициент извилистости	: 1.00	: 1.01	: 1.03	: 1.05	: 1.07	: 1.11	: 1.13
Номер образца	: VIII	: IX	: X	: XI	: XII	: XIII	:
Коэффициент извилистости	: 1.17	: 1.20	: 1.24	: 1.29	: 1.32	: 1.35	:

2) Длина реки измеряется дважды: сначала делается сплошное измерение всей длины реки, от устья до истока, при этом в журнале измерений в виде нарастающего итога отмечается расстояние от устья до каждой засечки с точностью до 0,1 раствора циркуля. Второе измерение производится в обратном направлении, но отдельно по каждому участку. Если длина участка, вычисленная по данным первого измерения, отличается от непосредственно измеренной длины участка при втором измерении не более чем на 2%, то измерения признаются выполненными удовлетворительно, из них вычисляется среднее арифметическое значение. Таким образом получается предварительное значение длины реки, сначала в миллиметрах, а затем, в соответствии с масштабом карты, в километрах.

Таблица 1

Журнал измерения длин рек

Наименование засечки	Координаты		Количество отложенный раствора циркуля				Измеренная длина участка, км	Коэффициент извили- стости K	Вычисленная длина, км	Расстояние от устья, км
	φ	λ	от устья	между засечками		среднее расстоя- ние между засеч- ками, мм				
				I измере- ние	II измере- ние					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

р. Слеща (Припять—Днепр)

Устье	52°31'	24°07'	0,0							0,0
с. Петрово	52 32	24 00	34,7	34,7	35,0	34,8	17,4	1,00	17,4	17,4
Устье р. Чепца	52 20	23 57	78,0	43,3	43,0	43,2	21,6	1,03	22,2	39,6
Устье р. Инца	52 10	23 40	87,2	9,2	9,4	9,3	4,6	1,07	5,0	44,6
Исток	52 11	23 37	105,6	18,4	18,4	18,4	9,2	1,03	9,5	54,1

Длина реки 54 км

3) После умножения длины каждого участка реки на соответствующий коэффициент извилистости получаются окончательные значения длин участков реки, которые последовательно суммируются в том же порядке, в котором производилось первое измерение, т. е. от устья к истоку.

Данные измерений вносятся в журнал (табл. 1), в котором производится их обработка и приводится окончательная длина реки с точностью до одного километра.

На базе способа Шокальского и с намерением устранить его недостатки разработано несколько способов измерения извилистых линий на картах (Н. М. Волков, А. К. Маловичко, Я. Коваржик, Г. И. Знаменщиков), при которых введение поправок за извилистость линий не требуется, однако каждая из них должна быть измерена дважды, разными растворами циркуля. Все эти способы, как это выяснилось в результате проведенных сравнительных исследований (Знаменщиков, 1959), как по точности, так и по производительности, а кроме того, и по удобству применения, уступают способу Шокальского, который при всех своих очевидных недостатках пока остается единственным способом измерения извилистых линий на картах.

В настоящее время в связи с возникшей необходимостью производства измерений на массовых, сверхмелкомасштабных, уникальных документах (космические и другие снимки), особенно при оперативном их использовании, способ Шокальского становится непригодным, более того, как способ, применение которого приводит к неоправимым повреждениям документов, он противопоказан. Курвиметры во всех их разновидностях, в том числе КС и ДК, непригодны из-за недостаточной их точности. Таким образом, возникла настоятельная необходимость в конструировании инструмента и разработке способа, обеспечивающего безконтактность с документом, быстроту измерений, простоту их выполнения, повышение производительности труда картометриста и одновременно повышение точности измерений. Выполнение поставленных требований стало возможным при обращении к электронике, на базе которой создан фотоэлектронный прибор для измерения длин линий.

Фотоэлектронный прибор для измерения длин линий

Фотоэлектронный прибор для измерения длин линий на картах — ПИЛ (рис. 11) и способ их измерения разработаны в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэро съемки и картографии под руководством А. В. Бородина, который следующим образом описывает прибор (Бородин, 1967).

Прибор ПИЛ состоит из собственно курвиметра (рис. 12) и электронного блока со счетчиком. Курвиметр размещен на стойке, имеющей три ножки, вращающиеся на шарикоподшипниках и опирающиеся на колеса 1 (рис. 11). Держатели осей ножек имеют сверху коленчатые выступы с двумя ручками 2, причем выступы эти и колеса ориентированы в одном направлении. При

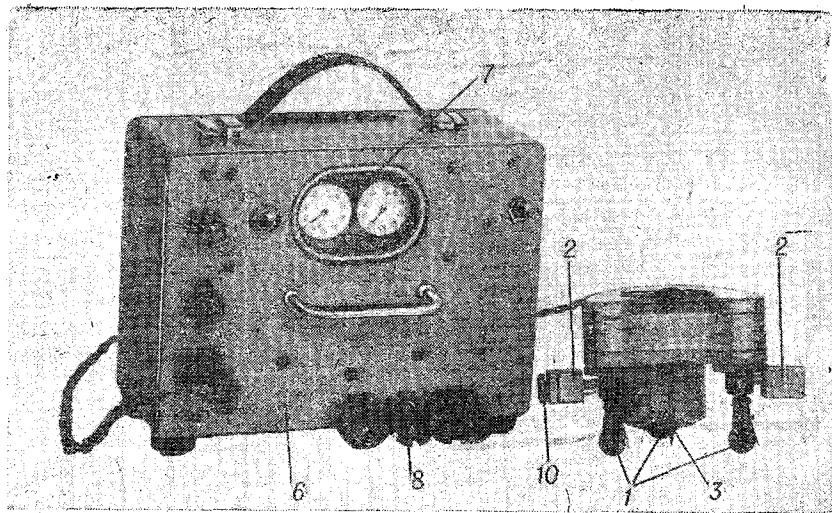


Рис. 11. Прибор для измерения линий (ПИЛ):
 1 — стойка прибора; 2 — ручки; 3 — обводная игла; 6 — электронный блок;
 7 — электронный счетчик; 8 — обтюратеры; 10 — переключатель

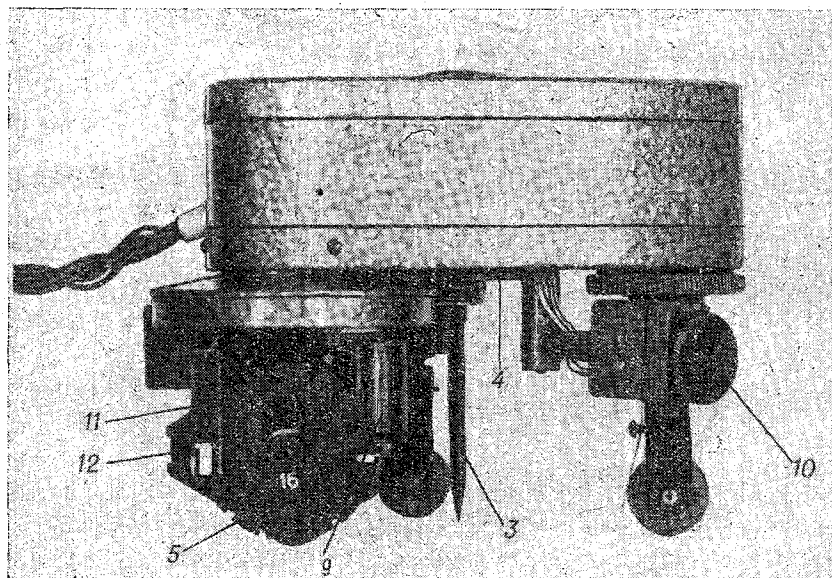


Рис. 12. Стойка прибора ПИЛ:
 3 — обводная игла; 4 — осветитель; 5 — фотоэлектронный датчик; 9 — со-
 леноид для установки обтюратора в исходное положение; 10 — переключатель

помощи ручек можно одновременно поворачивать ножки курвиметра и передвигать его по измеряемой линии.

В корпусе курвиметра находятся обводная игла 3, осветитель 4 (рис. 12) и лупа. На задней стенке курвиметра расположен фотоэлектронный датчик 5, состоящий из фотодиода 11, лампочки 12 и одного из сменных зубчатых дисков-обтюраторов 8 (рис. 11), вращающихся от колеса ножки 1.

При передвижении курвиметра по линии колесо, вращающее обтюратор, проходит тот же путь, что и обводная игла. Прорезы обтюратора последовательно открывают свет лампочки, направленной на фотодиод, и последний посылает электрические импульсы в электронный блок 6. В этом блоке импульсы формируются, усиливаются и подсчитываются электронным счетчиком 7. В зависимости от величины интервала между прорезами в обтюраторе каждый импульс, подаваемый датчиком, будет соответствовать определенной мере на карте. Всего к прибору придано пять обтюраторов 8 (рис. 11) и 2 (рис. 12) с интервалами, соответствующими на карте 0,7; 1,0; 2,0; 5,0 и 7,0 мм.

Для установки обтюраторов в нулевое положение на ножке датчика имеется соленоид, управляемый переключателем 10. К начальной точке измеряемой линии прибор подводится при включенном соленоиде, когда обтюратор не вращается и, следовательно, датчик не подает импульсов в блок. После отключения соленоида обтюратор начинает вращаться, а прибор — работать.

Скорость измерений зависит от величины интервалов обтюратора и колеблется от 6 до 40 мм/с. Питание прибора осуществляется от осветительной сети, с напряжением 220 В.

Если пользуются обтюраторами с большим интервалом, то измерение линии следует прекращать вблизи ее окончания, после срабатывания счетчика, а длину оставшегося отрезка линии определять с помощью циркуля.

Установлено, что при тщательной работе разность двойных измерений одной и той же линии, выполненных в прямом и обратном направлениях, находится в пределах 0,1%.

Прибор свободен от основных недостатков, присущих способу Шокальского: Прибором обеспечивается бесконтактность измерений, введение поправок за извилистость измеряемой линии не требуется, производительность труда картометриста возрастает примерно в десять, а точность измерений — в двадцать раз.

Описанному способу измерений извилистых линий на картах несомненно принадлежит будущее, однако лишь в стационарных условиях. В полевых же условиях при работе с картами еще долго будет применяться способ Шокальского и курвиметры для измерения плавных кривых.

Наряду с прибором ПИЛ следует здесь упомянуть о возможности применения для измерения длин кривых на картах других фотоэлектронных приборов, описываемых в § 9.

Всем без исключения способам измерения длин присущ один и тот же недостаток — любым из них с большей или меньшей точностью получается длина некоторой линии, изображенной на карте, а не действительная длина ее на поверхности земли. Влияние этого недостатка возрастает с уменьшением масштаба карты; с уменьшением масштаба возникает не поддающаяся учету ошибка за счет генерализации изображений объектов картометрических работ.

В литературе имеются указания, что измеренные на карте расстояния оказываются меньшими действительных и при измерениях на картах масштабов 1:50 000, 1:100 000 и 1:200 000 уменьшения расстояний в горной, сильнопересеченной местности составляют соответственно 15, 20 и 25%, а в среднепересеченной местности — 5, 10 и 15%. Даже в равнинной местности искажения на карте масштаба 1:200 000 достигают в среднем 5%.

Поэтому для определения длин рек рекомендуется пользоваться картами наиболее крупного масштаба.

Рекомендуется использовать также и разномасштабные карты. При этом необходимо обеспечить надлежащую точность переноса с карты на карту границ смежных участков реки.

Кроме того, нельзя игнорировать влияние искажений длин, свойственных проекции, в которой составлена данная карта, поскольку искажения в некоторых случаях могут быть значительными.

При работе на мелкомасштабной карте и в том случае, когда имеется уверенность в значительности искажений, свойственных данной картографической проекции, искажения учитываются путем определения частного масштаба карты по данному направлению, избираемому общим для всей реки или для отдельных ее участков (прил. 2). Этот масштаб учитывается при заполнении графы 8 в журнале измерения длин рек (см. табл. 1).

Равным образом при измерениях длин учитывается и деформация карты по правилам, изложенным ранее (§ 3).

При измерении на карте длин горных рек учитывается их уклон и длины вычисляются по формуле

$$l = \sqrt{d^2 + h^2}, \quad (4.2)$$

где d — измеренная по карте длина участка реки; h — разность высот начального и конечного пунктов измерений, определенная по той же карте.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАКЛОНА ЛИНИИ

В общем случае наклон линии, заданной на топографической карте, можно определить по масштабу заложений, рассчитан-

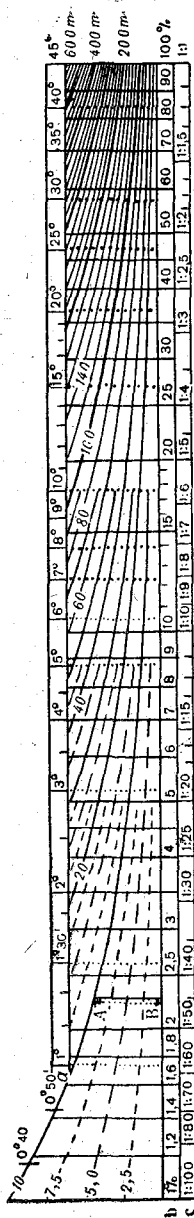


Рис. 13. Совмещенный график заложений и уклонов: при заложении AB $\alpha = 1^\circ 18'$; $i = 2,3\%$ или $1:44$

ному для определения углов наклона (или уклонов). Приближенное значение угла наклона (до 30°) можно вычислить по формуле

$$\alpha^\circ = 60^\circ \frac{h}{d} \left(\text{точнее, } \alpha^\circ = 57^\circ,3 \frac{h}{d} \right), \quad (4.3)$$

где α — угол наклона, h — сечение рельефа на данной карте, d — заложение.

Для определения уклона реки отметки уреза воды H_1 и H_2 берутся с карты, а расстояние d между пунктами измеряется описанным выше способом по линии, равноудаленной от берегов. Средний уклон реки определяется по формуле

$$I = \frac{H_2 - H_1}{d} \quad (4.4)$$

и выражается в десятичных дробях («тысячных»), в процентах и промилле. При заданной размерности, например мм/км или м/км, уклон может быть и именованным.

Представляет интерес совмещенный масштаб — номограмма заложений (рис. 13), по казываемый на некоторых зарубежных картах (ФРГ).

Определение среднего уклона всей реки рекомендуется выполнять по ее продольному профилю (Руководство, 1973). Отметки H_2 и H_1 при этом берутся по концам «проектной линии». Вместо d для знаменателя формулы (4.4) берется длина всей реки L , измеренная на карте.

При известном угле наклона линии местности l , а также длине ее проекции d , длина линии l определяется по формуле

$$l = d \sec \alpha = d \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (4.5)$$

Значение максимального уклона склонов долин рекомендуется получать путем выбора наибольшей величины уклона по направлениям наибольшего ската. Измерения следует производить вдоль самого крутого склона до линии от водораздельной линии до русла реки и уклон $I_{\max}$ определять по формуле

$$l_{\max} = \frac{h}{d}, \quad (4.6)$$

где h — разность отметок верхней и нижней точек прямой, выражающей расстояние от водораздельной линии до русла на карте.

Определения $l_{\max}$ выполняются по картам крупных масштабов (1 : 100 000 и крупнее).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ЛИНИИ

Направление (дирекционный угол) заданной на карте линии определяется при помощи транспортира.

Прочертив через начальную точку линию, параллельную оси X , надо наложить центр транспортира на вершину угла, составленного северным направлением оси X с направлением данной линии, и определить его как разность двух отсчетов по транспортиру. Измерение следует проделать не менее двух раз на разных участках транспортира. Установлено, что ошибка измерения угла транспортиром, у которого диаметр наружной окружности равен 20 см, достигает 15'.

С относительно большей точностью (порядка 3—5') дирекционный угол можно определить графоаналитическим способом, по его тангенсу, используя линии километровой сетки карты. При этом нужно взять возможно более длинный радиус и пользоваться остро отточенным карандашом.

Наиболее надежное определение дирекционного угла получается путем решения обратной геодезической задачи по координатам концов линии, определенным по карте, способом, описанным в § 3.

ОТГРАНИЧЕНИЕ ВОДОСБОРНЫХ БАСЕЙНОВ

Границами водосборных бассейнов являются водораздельные линии, проведенные через наивысшие точки рельефа (рис. 14); если на карте рельеф не показан, то эти линии проводятся, соотносясь с изображением водотоков, принадлежащих к данному и смежным с ним бассейнам, на равных расстояниях от водотоков.

§ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ КОНТУРОВ ПО ПЛАНАМ И ГЕОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ

Площади контуров, изображенных на картах, могут быть определены: аналитическим, графоаналитическим, графическим, механическим способами, а также способом взвешивания и фотоэлектронным.

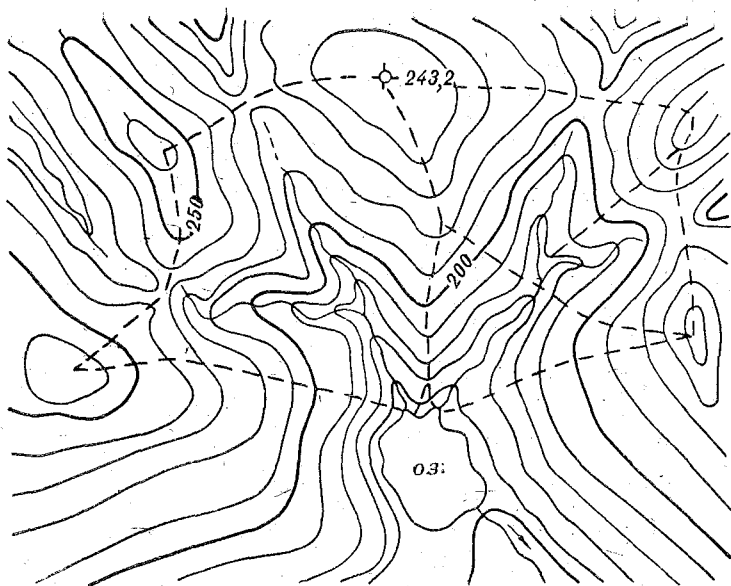


Рис. 14. Проведение водораздельных линий

Аналитический способ

Вычисление площадей по данным непосредственных измерений (например, площадей треугольников и других элементарных геометрических фигур), а также площадей многоугольников, выполняемое по координатам его вершин, по существу, не относится к картометрическим работам и здесь не рассматривается.

Следует, однако, сказать, что в настоящее время в связи с начавшимся вооружением картометрии новейшей вычислительной техникой аналитические способы не только примыкают к картометрии, используя ее результаты, но и сами становятся картометрическими. Применение новейших вычислительных средств открыло новое направление в картометрии, которое пока еще находится в стадии экспериментальных исследований (§ 9).

Графоаналитический способ

При определении площади контура графоаналитическим способом она разбивается на элементарные фигуры — треугольники и трапеции (рис. 15, 16)¹. Вычисляя эти площади, следует максимально использовать данные полевых измерений.

¹ Замечено, что если контур разбит на треугольники, а не на трапеции, то значение его площади получается более точным (Маслов, 1955).

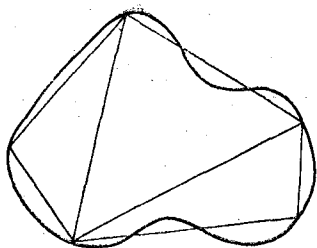


Рис. 15. Способ треугольников

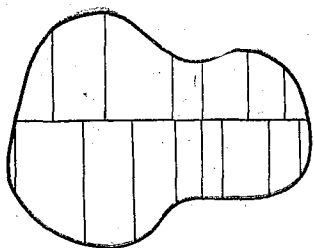


Рис. 16. Способ трапеций

Графический способ

Для определения площадей контуров любой конфигурации, особенно на картах, бывших в длительном употреблении, могут применяться палетки — стеклянные, целлулоидные, бумажные и другие пластинки с выгравированной или вычерченной на них сеткой прямых или кривых линий, построенных по определенному закону¹. Здесь рассматриваются наиболее простые разновидности палеток: палетка-клетчатка и палетка линейчатая (транспарант).

Палетка-клетчатка представляет собой сетку больших и малых квадратов. Большие квадраты имеют сторону 10 мм, а малые — 2 мм. Для удобства измерений стороны больших квадратов показываются другим цветом.

Палетка накладывается на измеряемый контур с таким расчетом, чтобы внутри этого контура поместилось возможно больше целых больших квадратов. Затем подсчитывается число больших и малых целых квадратов и к нему прибавляется сумма краевых частей, разрезаемых линией контура, малых квадратов; последние оцениваются на глаз с точностью до 0,25 их площади.

Искомая площадь контура на карте равна произведению цены малого квадрата палетки (м^2 , га, км^2) на число учтенных квадратов.

Для уточнения учета деформации бумаги, а также и изменения масштаба карты размеры палетки берутся не более 10×10 см.

¹ Например, палетка, предложенная для измерений площадей изобар на синоптических картах (Кантер, 1975), представляет собой сгущенную картографическую сетку с выписанными на ней значениями площадей трапеций, которые суммируются в пределах измеряемых контуров. Аналогичная по идее палетка была предложена для учета искажений на специальных фотоснимках эб-лаков (Кудрицкий, 1968).

Цена одного квадрата палетки на карте определяется по трапеции, в которой расположен измеряемый контур. Если контур располагается в пределах нескольких трапеций, находящихся в одной широтной зоне, то для определения цены малого квадрата можно воспользоваться любой из этих трапеций, при условии, однако, что проекция рабочей карты сохранила их тождественность.

При измерениях больших контуров, расположенных в ряде широтных зон, цена квадрата определяется отдельно для каждой широтной зоны.

Для определения цены одного квадрата палетка накладывается на выбранную трапецию так, чтобы одна из ее линий расположилась вдоль средней параллели измеряемого контура или расположилась симметрично относительно краев последней (при большой кривизне параллелей на карте). В этом положении палетки подсчитывается число ее делений n , приходящихся на длину отрезка средней параллели в пределах трапеции. Затем с помощью таблиц (прил. 3) определяется длина измеренного отрезка параллели N в км.

Цена одного квадрата палетки, выраженная в квадратных километрах, равна

$$q = \left(\frac{N}{n} \right)^2. \quad (5.1)$$

В тех случаях, когда влиянием деформации бумаги можно пренебречь, искомая площадь контура находится путем умножения выраженной в квадратных сантиметрах площади контура (s) на квадрат именованного (частного) масштаба карты (M), определяемого в каждой широтной зоне по средней ее параллели:

$$S = s M^2. \quad (5.2)$$

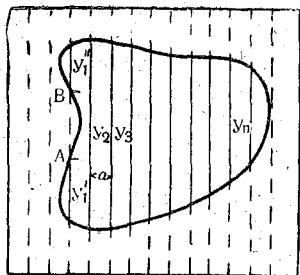


Рис. 17. Определение площади линейчатой палеткой

Именованный частный масштаб, имеющий размерность м/см или км/см, определяется с помощью тех же таблиц (прил. 3) или по сводному графику линейных масштабов, если он имеется на карте.

Линейчатая палетка (транспарант). На куске бумажной восковки или другого прозрачного материала размером 10×10 см наносятся прямые линии через 0,5 см или через 1,0 см (рис. 17).

Наложив изготовленную таким образом палетку (транспарант) на измеряемый контур, разбиваем его тем самым

на ряд трапеций с треугольниками по краям контура и общую площадь контура получаем по формуле

$$S=a \left(\frac{y_1}{2} + \frac{y_1+y_2}{2} + \frac{y_2+y_3}{2} + \dots + \frac{y_{n-1}+y_n}{2} + \frac{y_n}{2} \right),$$

откуда

$$S=a \sum_{i=1}^n y \text{ (см}^2\text{)}$$

или в окончательном виде

$$S=a \sum_{i=1}^n y M^2 \text{ (км}^2\text{)}, \quad (5.3)$$

где a — расстояние между линиями транспаранта; y — отрезки прямых в пределах контура, измеряемые циркулем или курвиметром; M — именованный частный масштаб по средней параллели контура.

Прерываемые контуром «внешние» отрезки, например отрезок AB на рис. 17, исключаются из измерений.

В связи с тем что полосы контура, особенно при сложных его очертаниях (линейчатая палетка лучше работает при плавных очертаниях контура), по форме отличаются от трапеций, равно как и фигуры на краях контура также отличаются от треугольников, нельзя ограничиться единичным измерением площади контура линейчатой палеткой.

Для уточнения результата площадь измеряется трижды с поворотом палетки приблизительно на 45° в обе стороны относительно нулевого положения палетки, при котором ее линии располагаются перпендикулярно средней параллели контура. При измерениях следует совмещать один край контура с линией палетки.

Точность определения площадей палетками по данным А. Ф. Черняевой (Рехтзамер, 1974) колеблется от 0,1 до 4,5% и зависит не только от площади, но и от конфигурации контура.

Механический способ

Вычисление площадей механическим способом осуществляется *планиметрами* различных систем. В настоящее время широкое распространение получил компенсационный полярный планиметр типа ПП-2к (рис. 18). Этот планиметр состоит из двух рычагов: полюсного и обводного $2'$, соединяющихся при работе разъемным шарниром.

К одному концу полюсного рычага прикреплен груз с иглой 1 , являющейся полюсом планиметра. За сохранностью заточки иглы надо следить. На другом конце рычага установлен кониче-

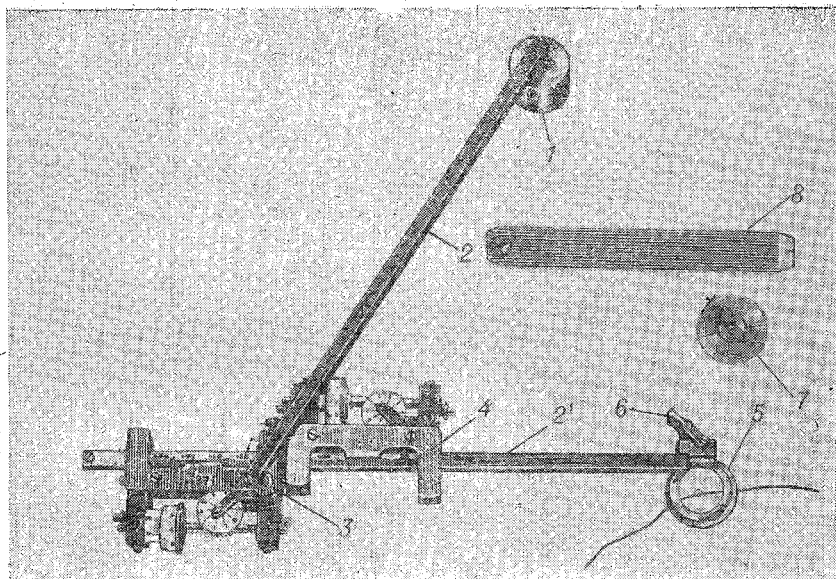


Рис. 18. Полярный компенсационный планиметр ПП-2к:
 1 — груз с иглой-полюсом; 2 — полюсный рычаг; 2' — обводный рычаг; 3 — гнездо разъемного шарнира рычагов; 4 — каретки счетных механизмов; 5 — обводный визир; 6 — рукоятка-проводок; 7 — обводная игла; 8 — контрольная линейка

ский стержень с шарообразной головкой, которая вставляется в гнездо, имеющееся в каретке 3 первого счетного механизма (на нем написан заводской номер). На одном конце обводного рычага помещаются каретки 3 и 4 с двумя одинаковыми счетными механизмами, а на противоположном — обводный визир 5 с точкой в кружке, а также рукоятка 6 для обвода.

При измерениях используются оба счетных механизма, причем следует иметь в виду, что положение на рычаге второго контрольного механизма на точность измерений влияния не оказывает.

Счетный механизм состоит из счетного ролика, циферблата и верньера (рис. 19).

Главной частью счетного механизма является счетный ролик *a*, ободок которого *b* при движении обводного визира по контуру катится по бумаге. Поверхность счетного ролика разделена на 100 частей. С краем ролика почти соприкасается верньер *c*, точность которого равна 0,1 деления ролика; полные обороты ролика отмечаются на циферблате *d*.

Отсчет по планиметру выражается четырехзначным числом, первая цифра которого берется по циферблату, вторая и третья — по счетному ролику, против нуля верньера, и четвертая — по верньеру. На рис. 19 показан отсчет, равный 6246.

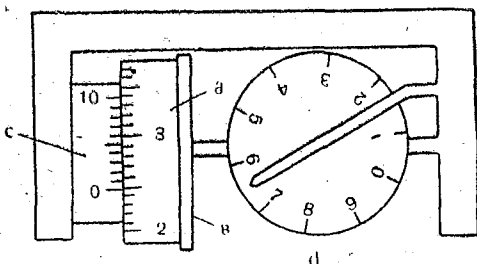


Рис. 19. Счетный механизм планиметра: *a* — счетный ролик; *b* — ободок счетного ролика; *c* — верньер; *d* — циферблат. Отсчет 6246.

Если указатель находится точно над цифрой циферблата и возникает неуверенность в выборе первой цифры отсчета, то следует сначала взглянуть на отсчет по счетному ролику: если он находится в пределах 90—0, то первой будет цифра, предшествующая той, на которой стоит указатель, при отсчете же в интервале 0—10 берется та цифра, на которой стоит указатель.

Первый счетный механизм закрепляется на обводном рычаге зажимным винтом. Положение механизма (длина обводного рычага) фиксируется отсчетом по верньеру на шкале, нанесенной на верхней грани рычага. Второй механизм, обеспечивающий кроме контроля измерений также и устойчивость планиметра, располагается впрыток к первому механизму. Положение его на рычаге не фиксируется, так как верньера у него нет.

Приступая к работе с планиметром, необходимо записать длину обводного рычага и не допускать ее изменения в процессе работы, потому что постоянные планиметра соответствуют той длине рычага, при которой они определялись.

Обвод контура делается плавным, равномерным движением, без резких толчков и по возможности без остановок. Поэтому, приступая к работе с планиметром, следует расположиться удобно, с тем чтобы работать с наименьшим напряжением. Для отсчетов по механизмам следует пользоваться лупой.

Обвод контура визиром рекомендуется делать движением «от себя», однако эта рекомендация не является обязательной. Во избежание систематических ошибок при обводе прямолинейных контуров нельзя применять линейку. Не следует также уста-

навливать счетные механизмы на нуль и приравнивать начальные отсчеты по механизмам.

Если обвод контура делается по ходу часовой стрелки, то второй отсчет n_2 будет больше первого n_1 и разность их $(n_2 - n_1)$ выразит площадь контура в делениях планиметра.

Если цена деления планиметра « p » известна, то искомая площадь контура в принятых мерах (см^2 , га, км^2) при положении полюса планиметра вне контура определится по формуле, в которой участвует средняя разность из разностей отсчетов, полученных по обоим механизмам:

$$S = p(n_2 - n_1)_{\text{ср.}} \quad (5.4)$$

Если полюс располагается внутри измеряемого контура, то площадь его вычисляется по формуле

$$S = p(n_2 + Q - n_1), \quad (5.5)$$

где Q — постоянное число планиметра при данной длине обводного рычага. Для определения Q надо обвести одну и ту же площадь при обоих положениях полюса — внутри контура и вне его — не меняя длины рычага. Сравнивая полученные результаты, находим число Q в делениях планиметра

$$Q = \frac{S}{p} - (n_2 - n_1)_{\text{ср.}} \quad (5.6)$$

Перед началом работ выполняются проверки планиметра в такой последовательности.

1. Счетные ролики должны вращаться, а их оси не иметь заметных колебаний. Зазор между роликом и верньером должен быть минимальным (0,1 мм), чтобы не затруднять отсчета. Плавность вращения ролика и ширина зазора регулируется путем перемещения подшипников, на которых покоится ось ролика.

Для проверки выполненной регулировки применяется контрольная линейка 8. На одном ее конце укреплена тонкая игла, которая втыкается в бумагу, а на другом, скошенном конце, находится индекс. На верхней плоскости линейки имеется одно или несколько точечных углублений, отстоящих от иглы на известном расстоянии, например в 40, 60 и 80 мм. В одно из этих углублений ставится острое иглы, укрепленной на пластинке 8, которой заменяется визир при выполнении проверок (см. рис. 18).

Плавность хода счетного ролика признается удовлетворительной, если разности отсчетов при повторных обводах с помощью контрольной линейки не превышают одного-двух делений планиметра.

2. Плоскости ободков счетных роликов должны быть перпендикулярны к оси обводного рычага, а оси счетных роликов — параллельны обводному рычагу.

Для проверки соблюдения этого условия одну и ту же площадь необходимо измерять несколько раз при двух положениях счетных механизмов относительно линии, соединяющей обводную иглу с полюсом, справа и слева, при этом следует несколько изменять положение полюса относительно измеряемого контура. Допускаемые разности результатов, полученных при первом и втором положении механизмов, указаны в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые расхождения результатов двух обводов	
Площадь в делениях планиметра	Допустимое расхождение в делениях планиметра
До 150	1
150—600	2
600—1000	3
1000—1400	4
1400—1800	5
1800—2200	6

Если разность в результатах окажется недопустимой, то необходимо произвести регулировку обоих механизмов планиметра с помощью исправительных винтов, упирающихся концами в одну из граней обводного рычага. Эта регулировка производится довольно медленно, путем последовательных приближений. Если регулировка не удалась, то все измерения площадей таким планиметром придется производить при двух положениях счетных механизмов, как и при проверке, в этом случае обнаруженная инструментальная ошибка планиметра компенсируется.

После проверок планиметра определяется цена деления счетного ролика путем обвода фигуры с заранее известной площадью, изображенной на том же документе, на котором находится объект последующих измерений. На плане для этой цели используется квадрат координатной сетки, а на картах — квадраты километровой сетки или трапеции картографической сетки, площади которых выбираются из соответствующих таблиц (прил. 4). Таким образом устраняется влияние деформации бумаги, а кроме того, на результаты измерения не будет влиять масштаб и уменьшится влияние искажений, обусловленных проекцией карты.

Поэтому не следует пользоваться для данной цели контрольной линейкой или строить квадраты и другие фигуры с заданной площадью, тем более в главном масштабе карты, как это часто делается.

Выбранную для определения цены деления площадь необходимо обвести несколько раз, обязательно при двух положениях счетных механизмов. Если расхождения между полученными значениями разностей $(n_2 - n_1)$ не выходят за пределы, установленные в табл. 2, то из них берут среднее значение и вычисляют цену деления p , сохраняя четыре значащих цифры, по формуле:

$$p = \frac{S}{(n_2 - n_1)_p} \quad (5.7)$$

Расчет и установка длины обводного рычага планиметра для заданной цены деления производятся иногда в целях облегчения вычислений при массовых определениях площадей.

Длина R обводного рычага, соответствующая заданной цене деления p , определяется по формуле

$$R = \frac{R_1}{p_1} p, \quad (5.8)$$

где R_1 — первоначальная длина обводного рычага, p_1 — цена деления планиметра, соответствующая этой длине.

При изменении длины рычага цена деления определяется заново.

Для обмера малых площадей цену деления планиметра следует уменьшить путем соответствующего уменьшения длины рычага.

Если это не помогает (цена деления оказывается почти равной измеряемой площади), то для измерения таких площадей следует применить палетку-клетчатку.

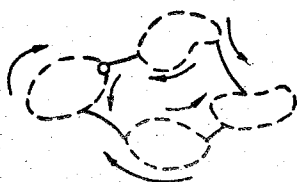


Рис. 20. Суммирование малых площадей

Суммарную площадь группы мелких контуров (острова, озера и пр.) можно получить при обводке их таким образом, чтобы вспомогательные линии, как положительные, так и отрицательные отрезки (рис. 20), взаимно исключались.

Точность измерения площадей планиметром зависит от многих факторов. Главные из них следующие:

- 1) состояние планиметра; изношенные планиметры дают результаты пониженной точности;
- 2) качество и состояние бумаги, на которой изображен контур; на бывшей в длительном употреблении, измятой, неоднократно складывавшейся карте производить измерения планиметром не рекомендуется, в этом случае должна применяться палетка;

3) протяженность периметра; из двух равновеликих площадей точнее будет определена площадь того контура, у которого периметр меньше;

4) размер площади и ее форма; при большой площади, а также при измерении вытянутых контуров, когда углы между рычагами становятся недопустимо острыми и тупыми, точность будет ниже, нежели при измерениях оптимальных по величине и округлых по форме контуров. Поэтому большие контуры следует измерять по частям, отсекая их *плавными* линиями. Для определения площадей узких вытянутых фигур — дорог, канав, рек и т. п. — планиметром пользоваться нельзя;

5) окружающая обстановка и условия, в которых производятся измерения, в том числе и состояние производителя работ; при существенных отклонениях от нормы получение достоверных результатов измерений затрудняется, в большинстве случаев их приходится повторять.

Точность измерения по данным проф. Н. М. Волкова приведена в табл. 3.

Таблица 3

Средние квадратические ошибки измерений площадей планиметром

Площади контуров в делениях планиметра	Средние квадратические ошибки	
	в делениях планиметра	в процентах от площади
0—20	0,52	5,20
20—50	0,65	1,85
50—100	0,76	1,00
100—200	0,92	0,61
200—300	1,08	0,43
300—500	1,26	0,31
500—750	1,43	0,24
750—1000	1,68	0,19

В среднем можно считать, что опытные картометристы измеряют площади порядка 15 см^2 с ошибкой около 0,5% измеряемой площади.

ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОЩАДЕЙ ПЛАНИМЕТРОМ И ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Способ А. Н. Савича

Работы по измерениям площадей начинаются с выбора рабочей карты в соответствии с рекомендациями, изложенными в § 1. Для измерений используется такая карта, на которой объект из-

мерений изображен полностью, он рассматривается в пределах одной или нескольких широтных зон, ограниченных показанными на карте меридианами и параллелями. Нанесение на карту дополнительных меридианов и параллелей допускается лишь в тех случаях, когда имеющиеся на карте данные обеспечивают надлежащую точность сгущения картографической сетки.

Отдельные части контура объекта нумеруются в пределах каждой зоны: основные контуры — арабскими, а дополнительные — римскими цифрами.

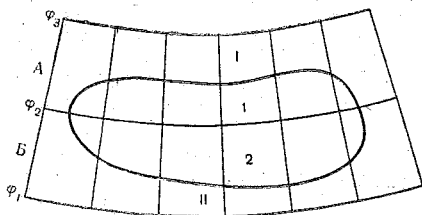


Рис. 21. Эскиз к способу Савича

Для ускорения и облегчения работ по измерениям площадей необходимо составить эскиз контура с указанием широтных зон и с нумерацией частей контура (рис. 21).

Определение площадей крупных объектов производится по частям, отдельно по каждой широтной зоне. Сначала, как уже указывалось, определяется цена деления планиметра.

Для карт, у которых форма трапеции и ее размеры в пределах данной зоны постоянны, цена деления планиметра, определенная по одной или нескольким смежным трапециям, принимается постоянной для всей зоны (*но в пределах одного листа карты*). Число трапеций для определения цены деления планиметра берется с таким расчетом, чтобы общий их контур не был слишком вытянутым и чтобы угол между рычагами был оптимальным ($90^\circ \pm 30^\circ$).

Если форма и размеры трапеции (в том числе и из-за деформации бумаги) в пределах широтной зоны непостоянны, то цену деления планиметра следует определить *для каждой трапеции* и измерения частей контура должны производиться лишь в пределах последней.

Перед началом измерений выбирается место для полюса планиметра. Он устанавливается с таким расчетом, чтобы обводка всего контура могла быть осуществлена при одной установке планиметра с соблюдением оптимального значения угла между рычагами. Для этого необходимо установить обводный визир в центр тяжести измеряемой фигуры и поставить полярный рычаг перпендикулярно обводному. Счетные ролики при измерениях не должны соскакивать с листа карты, на котором производится измерение, и задерживаться на его складках.

Убедившись в том, что поставленные условия выдерживаются, надо закрепить положение полюса, после этого можно присту-

пить к измерениям. Они начинаются с выбора начальной точки, которую рекомендуется наметить в той части контура, в которой счетные ролики счетных механизмов вращаются наиболее медленно. Выбранная начальная (она же и конечная) точка обвода отмечается тонкой черточкой. После установки обводного визира в начальную точку контура делаются отсчеты по обоим счетным механизмам, они записываются в соответствующую ведомость (табл. 4 и 5), в которых производятся все вычисления и показываються результаты измерений.

Таблица 4

Определение цены деления планиметра

Карта 24 контур 1

Планиметр з-да Геоинструмент № 2379

Длина рычага 160,0

	Зона А				Зона В			
	первый механизм		второй механизм		первый механизм		второй механизм	
	отсчеты	разности	отсчеты	разности	отсчеты	разности	отсчеты	разности
Первое положение механизмов	4831		9644		0400		5587	
	4669	162	9484	(160)	0211	189	5399	188
	4507	162	9322	162	0023	188	5212	(187)
	4346	161	9161	161	9834	189	5022	190
	4185	161	8999	162	9644	190	4831	(191)
Второе положение механизмов	4766		0012		5523		1765	
	4604	162	0850	162	5335	188	1576	189
	4445	(159)	0688	162	5147	188	1388	188
	4283	162	0528	(160)	4959	188	1204	(184)
	4121	162	0367	161	4771	188	1015	189
А				В				
Площадь трех трапеций				628 071 км²				
Средняя разность отсчетов				188,6				
Цена деления планиметра				3330 км²				

Таблица 5

Ведомость измерения площади

Номер контура	Отсчеты по механизмам		Разности отсчетов	Средняя величина разности отсчетов	Измеренная площадь, км ²	Величина поправки	Окончательная площадь, км ²	Примечание
I	Зона А: 50°—55°				$p_A=3503 \text{ км}^2$			
	4922		196					
	4726	1879	195	195,8	685887	+3604	689491	
	4531	1682	(197)					
I		1487	195					
	5173		126					
	5047	2130	126	126,0	441378	+2320	443698	
	4921	2004	126					
II		1878	126					
	Итого по зоне А				1127265	—5924	1133189	~ 0,5%
	Зона В: 45°—50°				$p_B=3330 \text{ км}^2$			
	8313		168					
2	8145	3084	169	168,7	561771	—715	561056	
	7976	2915	169					
		2746	169					
II	8731		209					
	8522	3499	209	209,0	695970	—883	695087	
	8313	3289	210					
		3081	208					
Итого по зоне В					1257741	+1598	1256143	~ 0,2%
$S_K=S_1+S_2=1004754 \text{ км}^2$								

Надо заметить, что при разовых измерениях площадей, а также длительных перерывах в работе, число обводов, в целях тренировки, увеличивается, что и показано в табл. 5 и отчасти в табл. 4. Вообще же для измерения площади достаточно одного обвода с отсчетами по двум механизмам. Допустимые расхождения между разностями отсчетов определяются по табл. 2. Разности, превышающие допуски, из вычислений исключаются (в табл. 4 и 5 они заключены в скобки).

Сумма площадей контуров в пределах данной широтной зоны сопоставляется с математической площадью этой зоны, опреде-

ляемой суммированием площадей отдельных трапеций (см. прил. 4). Допустимая невязка принята равной 1%¹.

$$\left. \begin{aligned} f_A &= [(S_I + S_{II}) - S_A] \leq \frac{S_A}{100}, \\ f_B &= [(S_2 + S_{II}) - S_B] \leq \frac{S_B}{100}. \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

Невязки, признанные допустимыми, распределяются с обратным знаком между *всеми* контурами в данной зоне, пропорционально их площади, после чего делаются необходимые выборки и вычисляется окончательная площадь контура; в нашем примере

$$S_K = (S_I + S_2). \quad (5.10)$$

Описанный способ предложен акад. А. Н. Савичем (1810—1883 гг.) для измерений площадей на картах. Как следует из изложенного, ни деформация бумаги, ни масштаб карты, а кроме того, и ее проекция (до известной степени) на результаты измерений, выполненных по этому способу, не влияют. Влияние проекции учитывается выбором размеров широтной зоны: чем быстрее изменяется масштаб карты вдоль меридианов, тем меньше должно быть расстояние между смежными параллелями на рабочей карте.

Окончательные значения площадей могут быть округлены до 1 км² при значении площадей до 100 км²; до 10 км² при значении площадей до 1000 км² и т. д.

Опыт показывает, что значения площадей, определенных планиметром, практически совпадают (в пределах 1—2%) со значениями, полученными с помощью линейчатой палетки, и сходимость их, естественно, тем лучше, чем меньше расстояние между линиями палетки, а кроме того, чем менее извилисты очертания контуров. Точность измерения площадей палеткой-клетчаткой, как показали исследования Ф. А. Черняевой (Рехтзамер, 1974), несколько выше точности измерения площадей планиметром ПП-2к (табл. 6).

¹ Эта норма дается для начинающих картометристов, вообще же следует руководствоваться табл. 3.

Ошибки измерений площадей планиметром и палеткой
(по данным Ф. А. Черняевой)

Площади, мм ²	Средние квадратические ошибки измерений в процентах	
	палеткой	планиметром
0— 100	3,48	4,49
100— 200	2,94	3,32
200— 500	1,60	2,15
500— 1 000	1,11	0,94
1000— 5 000	0,41	0,49
5000—10 000	0,20	0,31
> 10 000	0,11	0,13

Способ взвешивания

Способ взвешивания при измерении площадей заключается в сопоставлении весов: веса некоторого элементарного контура, площадь которого известна, и веса контура, площадь которого определяется. Для сопоставления определяемый контур и его элемент должны быть взвешены на точных аналитических весах в сравнимых условиях (одинаковая влажность сопоставляемых навесок). При таких условиях точность определения площади способом взвешивания не уступает точности механического способа, а производительность его значительно выше.

Само собой разумеется, что вырезывание контуров из карты, а тем более из уникальных документов недопустимо. Кроме того, это было бы нежелательно и потому, что плотность типографской и чертежной бумаги, особенно восковки, неравномерна. Поэтому измеряемый контур надо перенести на тонкий прозрачный и недеформирующийся пластик, из которого вырезается контур. Копировку контура и его вырезание следует выполнить с максимальной точностью, особенно это указание должно относиться к элементарному контуру, который строится на определяемом контуре, а затем вырезается из него.

Искомая площадь S_k определяется по формуле

$$S_k = \frac{P_k S_\varepsilon}{P_\varepsilon}, \quad (5.11)$$

где P_k — вес всего контура вместе с элементарным;
 S_ε — площадь элементарного контура;
 P_ε — вес элементарного контура.

В целях уменьшения ошибки площадь элементарного контура следует иметь возможно большей, если можно, то даже большей, чем площадь основного контура. В последнем случае измеряемый контур вырезается из элементарного.

Способ взвешивания при измерениях на карте сочетается со способом Савича; как и ранее, определения площадей производятся отдельно в каждой широтной зоне, причем в качестве элементарного контура служит одна или несколько трапеций.

Способ взвешивания признается очень удобным для определения площадей на аэрофотоснимках и космических снимках (предварительно трансформированных).

Практическое применение способа взвешивания возможно только в условиях хорошей химической лаборатории.

Фотоэлектронные способы

В настоящее время имеется довольно много предложений об использовании уже имеющихся и о создании новых приборов для измерений площадей фотоэлектронным способом.

Хорошо себя зарекомендовала при массовых измерениях площадей контуров с самыми сложными очертаниями фотоэлектронная машина ФЭИ-О (рис. 22), выпускаемая серийно для нужд кожевенно-обувной промышленности (Кудрицкий, 1969, 1976 б).

Принципиальная схема машины ФЭИ-О представлена на рис. 23.

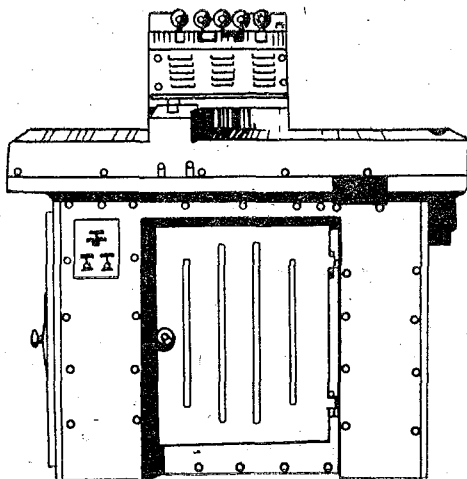


Рис. 22. Фотоэлектронная машина ФЭИ-О

Измеряемый непрозрачный контур 1, уложенный на остеклённую каретку 2, накрывается и выравнивается листом оргстекла и освещается рабочим источником света 3.

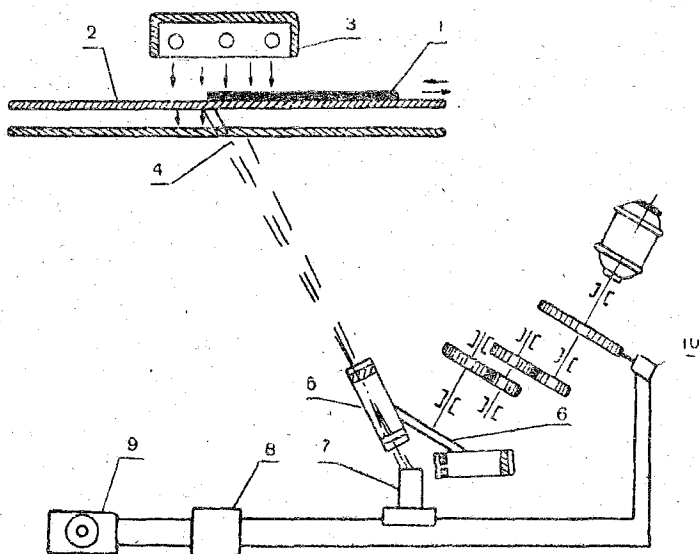


Рис. 23. Принципиальная схема машины ФЭИ-О: 1 — измеряемый контур; 2 — каретка; 3 — рабочий источник света; 4 — дуговая щель; 5 — диафрагмированный объектив; 6 — турель; 7 — катод фотоумножителя; 8 — усилитель; 9 — блок счетного устройства; 10 — генератор импульсов тока

При измерениях каретка перемещается со скоростью 23,5 мм/с над дуговой щелью 4, через которую измеряемый контур «прощупывается» световым лучом, отфокусированным одним из четырех диафрагмированных объективов 5, расположенных симметрично на турели 6; последняя представляет собой диск, вращающийся со скоростью 235 об/мин, он помещен в специальном кожухе, изолирующем его от постороннего света. Оптические оси объективов 5 совпадают с образующими прямого конуса, основанием которого является диск турели.

При вращении турели световое пятно, имеющее расчетную площадь 1,25 мм², перемещается по измеряемому контуру, осуществляя его сканирование. Вершина турели расположена с таким расчетом, чтобы при ее повороте на $\frac{1}{4}$ оборота обеспечи-

вался пробег одной полной строки контура световым лучом, проходящим через один объектив. Следовательно, за два оборота турели световое пятно учитывает восемь строк измеряемого контура или полосу шириной в 1 см.

Световые лучи, отфокусированные объективами 5, попадают на катод фотоумножителя 7, блоком которого световой поток преобразуется в выходное напряжение отрицательной полярности и через усилитель 8 поступает в блок счетного устройства 9. Одновременно генератор импульсов тока 10 вырабатывает синусоидальные импульсы определенной частоты, которые преобразовываются формирующим устройством в прямоугольные импульсы. Частота генератора подобрана таким образом, что каждому световому пятну соответствует один импульс тока.

Сигнал от блока фотоумножителя и сформированные импульсы подводятся к «ячейке совпадения», которая для обоих сигналов имеет отдельные входы. Импульсы генератора следуют непрерывно, но их прохождение через ячейку совпадения лимитировано длительностью сигнала, поступающего от блока фотоумножителя. При освещенном фотоумножителе отрицательное напряжение, снимаемое с его входа, «запирает» ячейку совпадения и благодаря этому импульсы генератора блокируются.

При затемненном фотоумножителе положительное напряжение блока фотоумножителя открывает ячейку совпадения и импульсы генератора поступают в электронное счетное устройство.

Таким образом, каждый «полезный» импульс от фотоумножителя, являющийся функцией ширины измеряемого контура по данной строке, преобразуется в ячейке совпадения в дискретный сигнал, представляющий серию импульсов. Так как площадь светового пятна равна $1,25 \text{ мм}^2$, а наименьшая площадь, учитываемая счетным устройством, равна $0,1 \text{ см}^2$, то для пересчета каждые восемь импульсов серии суммируются и в счетное устройство попадает результат — $0,0125 \times 8 = 0,1 \text{ см}^2$.

Световое пятно, попавшее на край измеряемого контура, учитывается лишь тогда, когда более половины его площади является полезной. Поэтому при измерении прямолинейных контуров во избежание систематической ошибки необходимо повернуть измеряемый контур на некоторый угол (около 20°) относительно его оси.

Технические характеристики машины ФЭИ-О таковы: она рассчитана для измерения площадей контуров от 2000 см^2 с относительной ошибкой $0,25\%$ и измерения мелких контуров до 100 см^2 с ошибкой $0,5-1,0\%$. При скорости перемещения каретки $23,5 \text{ мм/с}$ для измерения площади самого большого контура с контролем требуется менее двух минут. Габариты машины

1300×600×1320 мм, вес 250 кг, напряжение 220 В, потребляемая мощность 0,18 кВт.

По точности измерений машина ФЭИ-О сравнима с обычным планиметром. При измерении более малых площадей точность измерений у нее уменьшается, как и у планиметра, однако у машины она выдерживается лучше.

В последние годы в Московском институте инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК) и в Московском государственном университете (МГУ) при производстве картометрических работ получила применение стандартная фототелеграфная аппаратура, дополненная частотомерами и другими устройствами.

Созданное в МИИГАиК электронное аналоговое устройство УОФ-2 (рис. 24) предназначено для обработки фотографических и картографических черно-белых изображений. Оно состоит из фототелеграфного аппарата «Нева», стандартного частотомера и

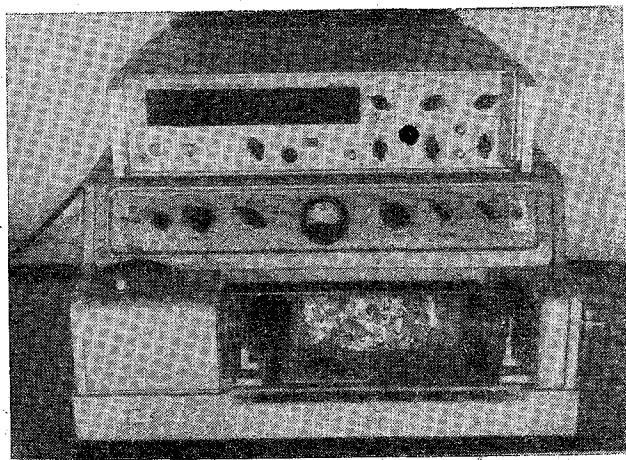


Рис. 24. Фототелеграфный аппарат «Нева» с частотомером

специальной приставки АИП-2 (на рис. 24 не представлена). Предельный размер обрабатываемого изображения 210×300 мм, разрешающая способность сканирующей оптической головки около 5 лин/мм, время обработки изображения около 12 мин при скорости вращения валика 120 об/мин или 6 мин при скорости 240 об/мин. Весь агрегат размещается на обычном письменном столе, общий вес его около 60 кг. Электрическое питание от сети

переменного тока 220 В при частоте 50 Гц, потребляемая мощность — около 500 Вт.

Измерение площадей производится следующим образом. В передающую часть фототелеграфного аппарата, на вращающийся валик, вместо оригинала телеграммы укладывается вырезанный из бумаги контур, изображение которого, сканируемое световым лучом, преобразовывается в электрические сигналы. Из этих сигналов преобразователь аппарата формирует прямоугольные импульсы, которые суммируются частотомером, выдающим на табло цифровой отсчет. Для перевода этого отсчета в квадратные сантиметры или другие единицы показания частотомера табулируются по эталону с заранее заданной площадью.

Наряду с измерениями площадей контуров, предварительно скопированных на белой бумаге (погрешность измерений около 0,5%), и линейными измерениями (погрешность не более 5%) устройство УОФ позволяет получить ряд характеристик, относящихся к яркости изображения на разных его участках, к структуре изображения и даже цвету (Керша, 1977; Веденеева, Керша, 1977).

В проблемной лаборатории Географического факультета МГУ для измерения площадей была применена передающая часть фототелеграфного аппарата «Ладога» (Комиссаров, Расположенный, 1974).

Этот аппарат дополнен рядом устройств, позволяющих выделять цвета на измеряемом контуре многоцветной карты. Цвета на карте должны быть подобраны с таким расчетом, чтобы их могла «различить» машина, а она в настоящее время уже различает до 12 оттенков.

Средняя квадратическая ошибка измерений площадей 1,25, 100 и 2500 мм² составила соответственно 10,0, 3,3, 1,5 и 0,21%. Для обработки листа карты 480×690 мм при суммировании площадей контуров требуется 22 минуты (независимо от их числа).

Имеется некоторый опыт применения фототелеграфных аппаратов для измерения длин не очень извилистых линий. При таких измерениях приходится делить их изображения на участки и поворачивать их при измерениях (Керша, 1974).

Для дальнейшего развития фотоэлектронной картометрии большой интерес представляют исследования Проблемной лаборатории кафедры телевидения Ленинградского электротехнического института связи им. М. А. Бонч-Бруевича, которые привели к созданию цветного фототелеграфа (Соломенко, 1976).

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ КОНТУРОВ, ПОСТРОЕННЫХ В РАЗНЫХ МАСШТАБАХ

При работе с графиками, у которых вертикальный масштаб отличается от горизонтального, изложенные выше способы определения площадей контуров изменяются в соответствии с рекомендациями В. Г. Шурыгина или Э. Ф. Шпурре (Кудрицкий, 1965).

По Шурыгину, площадь контура, построенного в разных масштабах, равна среднему геометрическому из значений площадей S_1 и S_2 , подсчитанных для каждого масштаба отдельно, т. е.

$$S = \sqrt{S_1 S_2}. \quad (6.1)$$

Для вычисления же площади контура при помощи планиметра рекомендуется формула

$$S = (n_2 - n_1) \sqrt{p_1 p_2}, \quad (6.2)$$

по которой площадь контура, построенного в двух разных масштабах, равна произведению площади этого контура, выраженной в делениях планиметра, на среднее геометрическое из значений цены деления планиметра для обоих масштабов.

Между тем Шпурре доказал, что для решения поставленной задачи можно воспользоваться более простым аппаратом, основываясь на формулах, которые применяются при определениях площадей контуров, построенных в одном масштабе. Предлагается два способа решения задачи: графоаналитический и механический, при помощи планиметра.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Возьмем прямоугольник (рис. 25), построенный в разных масштабах, вертикальном $\frac{1}{m_1}$ и горизонтальном $\frac{1}{m_2}$, или в именованном виде, соответственно M_1 и M_2 . Обозначим площадь

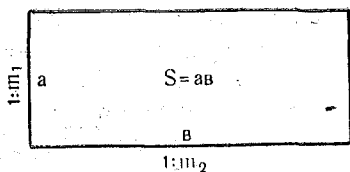


Рис. 25. Эскиз к определению площади контура, построенного в разных масштабах

этого прямоугольника на чертеже через s , а площадь этого же прямоугольника в натуре — через S . Тогда будем иметь

$$S = aM_1 bM_2 = M_1 M_2 ab = Ns, \quad (6.3)$$

где $N = M_1 M_2$ — значение 1 см² чертежа в натуре.

Принимая во внимание, что любую неправильную фигуру можно превратить в равновеликий ей прямоугольник, приходим к следующему правилу определения площади контура, построенного в различных масштабах по двум взаимно перпендикулярным направлениям:

- 1) любым из известных способов, изложенных выше, определяем на чертеже площадь фигуры s в квадратных сантиметрах;
- 2) определяем N — произведение именованных масштабов чертежа;
- 3) по формуле (6.3) находим искомую площадь фигуры.

Пример. Определить площадь линзы грунтовых вод на геологическом профиле, построенном в масштабах: вертикальном 1:500 (в 1 см 5 м) и горизонтальном 1:2000 (в 1 см 20 м).

Решение:

- 1) площадь линзы s , определенная на профиле, оказалась равной 204,25 см²;
- 2) значение в натуре 1 см² чертежа определяем по формуле

$$N = 5 \times 20 = 100 \text{ м}^2;$$

- 3) искомая площадь линзы равна

$$S = Ns = 100 \times 204,25 = 20\,425 \text{ м}^2 = 2,042 \text{ га}.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАНИМЕТРА

В данном случае цена деления планиметра определяется следующим образом:

- 1) учитывая масштабы чертежа, определяем площадь Ns некоторой правильной фигуры (квадрата, прямоугольника) в квадратных единицах натуры, как было показано выше;
- 2) обводом планиметра определяем площадь этой же фигуры в делениях планиметра ($n_2 - n_1$);
- 3) вычисляем цену деления планиметра по формуле

$$p = \frac{Ns}{n_2 - n_1}. \quad (6.4)$$

После этого площадь любой неправильной фигуры на чертеже, построенном в различных масштабах, вычисляется по известной формуле (5.4)

$$S = p(n_2 - n_1).$$

Пример. Определить цену деления планиметра для вычисления площади фигуры, построенной в разных масштабах: вертикальном 1:500 и горизонтальном 1:1000.

Решение:

- 1) строим квадрат 10×10 см. В натуре этому квадрату соответствует прямоугольник, его площадь равна

$$Ns = M_1 M_2 s = 5 \times 10 \times 100 = 5000 \text{ м}^2;$$

2) площадь квадрата в делениях планиметра ($n_2 - n_1$) оказалась равной 1250;

3) цена деления планиметра равна

$$p = \frac{N_s}{n_2 - n_1} = \frac{5000}{1250} = 4 \text{ м}^2.$$

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Действительная или топографическая площадь всхолмленной поверхности отличается от площади ее, измеренной на карте, и иногда довольно значительно. Это различие зависит в первую очередь от угла наклона данной поверхности и в меньшей степени от ее изрезанности.

Зная величину площади горизонтальной проекции S (рис. 26) и угол наклона действительной площади S_0 к горизонту α , можно

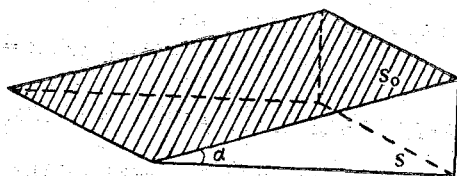


Рис. 26. Эскиз к определению площади топографической поверхности

вычислить действительную площадь по формуле, аналогичной формуле (4.5):

$$S_0 = S \sec \alpha \quad (7.1)$$

или

$$S_0 = S \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (7.2)$$

Для определения угла наклона α применяется формула, предложенная С. Финстервальдером:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h \Sigma l}{S}, \quad (7.3)$$

где h — высота сечения рельефа, Σl — сумма длин горизонталей на участке, S — площадь участка, определенная по карте.

Представив себе некоторый участок негоризонтальной местности в виде ступенчатой призмы, в числителе формулы (7.3) будем иметь сумму вертикальных, а в знаменателе — сумму горизонтальных площадок проекций ступеней призмы.

Значения углов наклона α , вычисляемых по формуле (7.3), следует округлять до десятых долей градуса.

Формулы (7.2) и (7.3) являются строгими для ровных скатов, когда горизонтالي изображаются прямыми линиями как на горизонтальной, так и на вертикальной проекциях ската. У скатов неровных, изрезанных, горизонтали имеют разную конфигурацию, а значит и длину на проекциях. Отсюда следует, что числитель в формуле (7.3), как правило, преувеличен, следовательно, преувеличенным будет и значение угла наклона и площади S_0 , которая называется топографической или действительной площадью участка.

Для уменьшения допускаемой при вычислении углов наклона ошибки следует сгладить рисунок горизонталей на карте перед их измерением, сохраняя общий вид их очертаний (Кудрицкий, 1976а). При массовых измерениях углов наклона на карте в целях выявления общей характеристики распределения углов наклона на исследуемом участке земной поверхности и определения действительной его площади контур участка разбивается на более мелкие части, характеризующиеся одинаковой извилистостью горизонталей.

При детальных исследованиях распределения углов наклона на значительной площади целесообразно создать набор образцов извилистости горизонталей для участков этой поверхности и для каждого образца определить коэффициент укорочения горизонталей в целях приведения длины каждой из них к длине прямой линии, изображающей горизонталь у ровного ската.

Если в числитель формулы (7.3) будут поставлены укороченные предлагаемым способом горизонталь (при этом отнюдь не имеется в виду редуцирование каждой горизонталь), то в этом случае определяемый угол можно рассматривать, как средний угол наклона исследуемого участка и лишь после этого тем или иным способом прийти к определению среднего угла наклона для всей поверхности.

Представляется целесообразным выражать эти углы не в градусной мере, а в отвлеченных числах, как это принято в технике, с тем чтобы от формулы (7.3) непосредственно переходить к формуле (7.2) для получения искомой площади.

Учет и уточнение угла наклона скажется и на значении площади топографической поверхности, особенно при больших углах наклона, о чем свидетельствует табл. 7.

В Международном руководстве по гидрологическим исследованиям (1971) содержится рекомендация об определении так называемого «показателя уклона водосборного бассейна» в целом для бассейна или для его частей, по эквивалентному прямоугольнику или по построенной специальным способом гипсографической кривой. При использовании этой рекомендации отпадает необхо-

Относительные ошибки площадей, определенных без учета угла их наклона

Угол наклона	Относительная ошибка	Угол наклона	Относительная ошибка
2°	1 : 1640	30°	1 : 6
5	1 : 263	35	1 : 4
10	1 : 66	40	1 : 3
20	1 : 16	45	1 : 2
25	1 : 10		

димось в измерении горизонталей — той операции, которая определяет некорректность формулы (7.3). Об этом пишет также и Г. А. Алексеев (1975 и др.) в работах, уточняющих рекомендации Международного руководства.

Однако действующее Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик (1973) все же рекомендует применение формулы (7.3); правда, в данном случае только для малых рек. Это Руководство рекомендует вычислять уклон в промилле. Геоморфологи пользуются формулой (7.3), выражая углы наклона в градусной мере. Формулу (7.3) применяют также и океанологи для характеристики наклонов морского дна.

Надо признать, что хотя такой учет углов наклона поверхности контуров при определении их площадей и неправилен, все же он уточняет представления исследователей о действительной площади изучаемых объектов.

§ 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ОЗЕРОВИДНЫХ ВОДОЕМОВ

Объемы котловин V , заполненных водой до определенного уровня, могут быть вычислены по формулам объема геометрических тел (табл. 8); эти формулы подбираются с учетом природных особенностей изучаемого объекта.

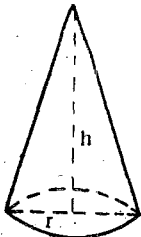
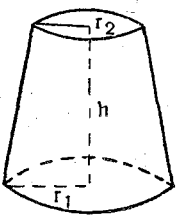
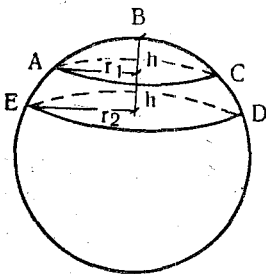
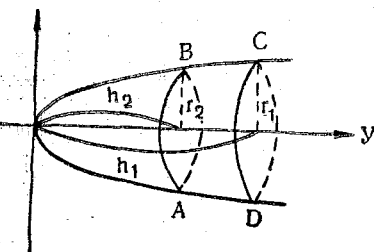
Объем озерной котловины (рис. 27, а) может быть выражен произведением площади его нулевой изобаты S_0 на среднюю глубину $H_{\text{ср}}$

$$V = S_0 H_{\text{ср}}. \quad (8.1)$$

Для определения средней глубины крупного озера на его изображении строится сетка квадратов и для каждого из них определяется средняя глубина, после чего вычисляется средняя глубина озера по формуле

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n}. \quad (8.2)$$

Формулы для вычисления объемов природных объектов

Рисунок	Исходная формула	Применяемая формула
		Конус $V = \frac{h}{3} \pi r^2 \quad \Bigg \quad V = \frac{h}{3} S_0$
		Усеченный конус $V = \frac{h}{3} \pi (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) \quad \Bigg \quad V = \frac{h}{3} (S_0 + S_1 + \sqrt{S_0 S_1})$
		Шаровой сегмент (ABC) $V = \frac{h}{6} \pi (3r^2 + h^2) \quad \Bigg \quad V = \frac{h}{2} \left(S_0 + \frac{\pi h^2}{3} \right)$ $V = \frac{h}{2} \pi (r_1^2 + r_2^2 + \frac{\pi h^3}{6}) \quad \Bigg \quad V = \frac{h}{2} (S_1 + S_2) + \frac{\pi h^3}{6}$
		Параболоид вращения $V = \frac{h}{2} \pi r^2 \quad \Bigg \quad V = \frac{h}{2} S_0$
		Усеченный параболоид вращения (ABCD) $V = \frac{\pi}{2} (h_1 r_1^2 - h_2 r_2^2) \quad \Bigg \quad V = \frac{1}{2} (h_1 S_1 - h_2 S_2)$ или $V = \frac{h}{2} \pi (r_1^2 + r_2^2) \quad \Bigg \quad V = \frac{h}{2} (S_1 + S_2),$ где $h = h_1 - h_2$

Примечание. В приведенных формулах S_0 — площадь нулевой изобаты; S_1 и S_2 — площади, ограниченные смежными изобатами.

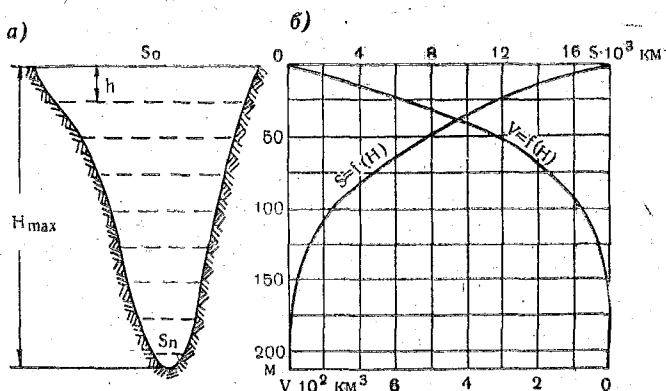


Рис. 27. Батиграфические кривые площадей и объемов

Более точное ее значение, так называемую среднюю взвешенную глубину, можно получить по формуле

$$H_{cp} = \frac{H_1 s_1 + H_2 s_2 + \dots + H_n s_n}{S_0}, \quad (8.3)$$

где S_0 — площадь нулевой изобаты; $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ — площади элементарных площадок; $H_1, H_2, \dots, H_n$ — средние глубины этих площадок.

Вспомогательным средством для определения средних глубин озера, а также и их объемов являются кривые $S=f(H)$ и $V=f(H)$. Для построения таких кривых по оси ординат откладывают отметки изобат, а по оси абсцисс — их площади и объемы (см. рис. 27). Кривая объемов $V=f(H)$ вместе с батиграфической кривой $S=f(H)$ характеризуют изменение основных морфометрических характеристик озера с изменением его глубины.

Для получения средней глубины озера надо измерить площадь, заключенную между батиграфической кривой и осями координат. Площадь эта выражает объем озера V , а частное от деления значения полученного объема на длину основания кривой, выражающую площадь нулевой изобаты, даст искомую среднюю глубину озера:

$$H_{cp} = \frac{V}{S_0}. \quad (8.4)$$

В самом деле, площадь батиграфической кривой $S=f(H)$ можно рассматривать как сумму элементарных площадок (см. рис. 27б):

$$S = s_1 H_1 + s_2 H_2 + \dots + s_n H_n.$$

При условии, что $s_1=s_2=s_3=\dots=s_n$ и что эти отрезки в сумме составляют площадь нулевой изобаты, т. е. $sn=S_0$, напишем

$$S=s\Sigma H=\frac{S_0}{n}\Sigma H,$$

а так как по (8.2)

$$\frac{\Sigma H}{n}=H_{\text{ср}},$$

то в соответствии с (8.1)

$$S=S_0H_{\text{ср}}=V,$$

откуда

$$H_{\text{ср}}=\frac{V}{S_0}. \quad (8.4)$$

Формы озерных котловин весьма многообразны, поэтому отождествление их с геометрическими телами может быть только приближенным.

В лимнологии это отождествление осуществляется с помощью так называемых «показателей формы».

В наиболее простом виде показатель формы выражается формулой

$$C=\frac{H_{\text{ср}}}{H_{\text{max}}}. \quad (8.5)$$

По этой формуле получены следующие показатели: для цилиндра — 1,00, для полушария — 0,67, для параболоида — 0,50 и для конуса — 0,33.

Известны и другие подходы к определению показателей формы (Хомскис, 1969 и др.).

Исследования показали, что объемы, определенные при помощи батиграфической кривой, получаются более точными и несколько меньшими, чем по геометрическим формулам.

Упрощая вычисления объемов, их можно определять по «методу призмы», сущность которого заключается в следующем.

Ввиду того что плоскости, проходящие через соответствующие изобаты делят озеро на ряд слоев (см. рис. 27 а), каждый из которых может рассматриваться как призма, объем такой призмы вычисляется по формуле

$$V=\frac{S_i+S_{i+1}}{2}h. \quad (8.7)$$

Полная формула для вычисления объема тела, которое рассматривается как составленное из ряда стоящих одна на другой призм, а углубление имеет вид конуса с основанием s_n , равным площади, ограниченной самой нижней изобатой (см. рис. 27 а), представится таким образом:

$$V = \frac{s_0 + s_1}{2} h_1 + \frac{s_1 + s_2}{2} (h_2 - h_1) + \dots + \frac{s_{n-1} + s_n}{2} (h_n - h_{n-1}) + s_n \frac{h_{\max} - h_n}{3}. \quad (8.8)$$

Если сечение h одинаково, то формула примет вид

$$V = \frac{h}{2} (s_0 + 2s_1 + 2s_2 + \dots + 2s_{n-1} + s_n) + s_n \frac{h_{\max} - h_n}{3}. \quad (8.9)$$

При сложной конфигурации горизонталей для вычисления объема слоя углубления (горы) следует применить формулу Н. Г. Келля:

$$V = \left[\frac{1}{6} (s_n - s_b) + \frac{2}{3} s' \right] h, \quad (8.10)$$

где s_n и s_b — площади, ограниченные соответственно нижней и верхней горизонталями; s' — площадь, ограниченная горизонталью, проведенной посередине между верхней и нижней горизонталями данного слоя.

Для вычисления объема дна котловины Н. Г. Келль рекомендует воспользоваться следующей, несколько упрощенной формулой для определения объема шарового сегмента

$$V_n = \frac{1}{2} (H - H_n) s_n + \frac{1}{6} \pi (H - H_n)^3, \quad (8.11)$$

где H — глубина котловины; H_n — отметка последней горизонтали; s_n — площадь, ограниченная этой горизонталью.

При более остроугольном дне шаровой сегмент заменяется параболоидом вращения и его объем определяется по формуле, получаемой из предыдущей:

$$V_n = \frac{1}{2} (H - H_n) s_n. \quad (8.12)$$

Отметим в заключение еще один способ вычисления объемов озерных котловин по планам — в горизонталях или изобатах — «объемную палетку» (лист прозрачного материала), на которой точками отмечены центры квадратов со стороной в 1 см. Отметки этих центров определяются интерполированием отметок горизонталей.

Искомый объем определяется как сумма объемов вертикальных призм с одинаковыми основаниями по формуле

$$V = M^2 \sum h, \quad (8.13)$$

где M , как и раньше, — именованный частный масштаб карты (в данном случае M^2 значение 1 см² в натуре); $\sum h$ — сумма глубин (высот).

По краям измеряемого контура палетка отделяет неполные квадратные призмы и их приходится комбинировать друг с другом, подбирая части с одинаковыми высотами до полной призмы. При аккуратной работе это сказывается на точности определения объема не очень существенно.

Изложенный способ можно упростить, присвоив центрам квадратов отметки полугоризонталей. В таком случае работа с объемной палеткой сводится к подсчету числа точек, находящихся между двумя смежными горизонталями. При этом к числу точек, расположенных между горизонталями с отметками H_i и H_{i+1} , приплюсовывается половина точек, попавших на самые горизонталы, следующим образом: половина точек, находящихся на горизонтали H_i , приплюсовывается к сумме точек, учтенным ниже — внутри предшествующих горизонталей H_i и H_{i-1} , а половина точек, расположенных на горизонтали H_{i+1} , должна быть приплюсована к сумме точек, учитываемых выше, между горизонталями H_{i+1} и H_{i+2} .

Результаты измерений записываются в соответствующую ведомость произвольной формы.

Искомый объем вычисляется по формуле

$$V = S_k \sum n H_m M^2, \quad (8.14)$$

где S_k — площадь ячейки палетки, см²; n — число точек, отнесенных к данному промежутку между двумя смежными горизонталями; $H_m = \frac{H_i + H_{i+1}}{2}$; M — именованный частный масштаб карты.

Для достижения точности 1—2% измерения следует повторить два-три раза, меняя ориентировку палетки.

§ 9. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАРТОМЕТРИИ

Перечисленные в § 1 задачи картометрии до сего времени решаются с помощью сравнительно простых и общедоступных инструментов и методов, в той или иной мере удовлетворяющих запросы потребителей как в отношении точности результатов, так и своевременности их получения. Однако запросы эти до-

тельно быстро растут, поэтому картометрия должна совершенствоваться и, используя достижения современной измерительной и вычислительной техники, перевооружаться (Кудрицкий, 1976 б).

Обстоятельства, обуславливающие необходимость перевооружения картометрии таковы:

1) требование существенного повышения точности и максимального ускорения картометрических работ в связи с большим и все возрастающим увеличением их объема;

2) необходимость более тщательного учета характера и особенностей, а кроме того, и обеспечения сохранности документов, на которых производятся измерения, документов, являющихся во многих случаях уникальными;

3) существенное увеличение количества направлений применения картометрии как научно-технической дисциплины, ставшей тематической.

В этих условиях, естественно, должна измениться и методика самих измерений: ее разработка, с одной стороны, связана с использованием уже имеющихся приборов и оборудования, а с другой — с применением новых, специально создаваемых, в том числе и приборов автоматических, универсального характера.

Необходимость механизации и автоматизации картометрических работ ощущалась уже давно; в настоящее время в связи с развитием дистанционных методов изучения Земли от решения этой задачи в немалой степени зависит успех применения дистанционных методов и самая возможность использования получаемых с их помощью сведений.

С применением новых средств открылись и новые возможности картометрии, проявившиеся в различных направлениях. Так, с использованием автоматической аппаратуры для считывания графической информации и ЭВМ в десятки раз ускорилось и облегчилось определение координат точек по планам и картам. Более просто находятся прямоугольные координаты, для определения же географических координат требуется составление специальных программ, учитывающих при реализации на ЭВМ кроме всего прочего также и свойства проекции, в которой составлена данная карта. С помощью тех же средств оценивается высотное положение точек как самостоятельная задача или в целях построения профилей по любому заданному направлению. Существенно облегчается измерение длин линий любой формы, измеряются не только площади, но и объемы фигур по картам с соответствующими изолиниями. Таким образом, можно констатировать, что с помощью уже имеющихся полуавтоматических приборов и ЭВМ в настоящее время могут быть решены все известные задачи картометрии. При условии, что используемые приборы и оборудование обслуживаются соответствующими специалистами, от картометриста требуется в одних слу-

чаях наведение визирной марки на точку или проведение ее по контуру и подача команды на работу прибора в ручном или автоматическом режиме, а в других — подготовка контура для измерений, выполняемых соответствующим автоматом. Таково в общих чертах современное положение картометрии.

Завершением этого этапа развития картометрии можно считать предложения В. Г. Полякова (1968), В. С. Полоника (1970) и Е. Е. Ширяева (1973, 1975, 1976).

В. Г. Поляков создал прибор, в котором используется фотоимпульсный вариант развертки площади измеряемой фигуры с обходом вращаемого луча по контуру, как в обычном планиметре. Несмотря на то, что опытный экземпляр планиметра В. Г. Полякова показал довольно грубые результаты по причинам, указанным самим автором, идея прибора оказалась плодотворной и, как можно предполагать, в одном из вариантов получила осуществление в описываемом ниже универсальном приборе «Геотрейсер» фирмы AGA (Швеция).

Созданный по предложению В. С. Полоника телевизионный автомат определяет площадь контура суммированием длительности видеоимпульсов, возникающих от пересечения изображения контура на фотослое передающей трубки сканирующим лучом, на выходе он имеет прибор, проградуированный в единицах площади. Испытания макета прибора показали достаточно устойчивую его работу в различных условиях с точностью порядка 3%.

Используя сканирующее устройство фототелеграфного аппарата и ЭВМ Е. Е. Ширяев разработал автоматический способ измерения площадей и периметров (1973), а затем способ определения объемов по картам изолиний (1976 г.), указав при этом на целесообразность применения вертикальных плоскостей сечения фигуры.

Процесс массовых измерений по Ширяеву состоит из следующих этапов:

- 1) считывание изображений контуров и ввод их в ЭВМ;
- 2) отслеживание контуров, т. е. определение упорядоченной последовательности координат точек по каждому контуру;
- 3) определение по найденным координатам площадей, периметров, объемов;
- 4) выдача значений искомых величин суммарно или отдельно по каждому контуру на автоматическое цифровое печатающее устройство (АЦПУ).

Предварительные исследования показали, что средняя ошибка измерения составляет около 0,1 %. Наиболее высокая точность достигается при работе с печатными картами, которые Е. Е. Ширяев (1975) предлагает печатать люминисцентными красками,

обеспечивающими точность выделения контуров и их автоматического распознавания. Это предложение представляет интерес и, очевидно, должно найти применение в тематической картометрии.

На Международной выставке «Картография и география-76», состоявшейся в Москве, в числе других приборов, предназначенных для цифровой обработки графической информации, демонстрировался Геотрейсер-326, являющийся, по существу, универсальным картометрическим прибором, с помощью которого решаются все задачи, перечисленные в § 1, а также и многие другие задачи, возникающие в различных областях науки и техники.

Геотрейсер-326 предназначен для преобразования графических данных в цифровую форму в целях их ввода в запоминающее устройство или непосредственно в ЭВМ. Как указано в фирменном описании прибора, он состоит из двух подвижных рычагов (рис. 28) с двумя оптико-кодирующими устройствами, преобразовывающими углы α и β , которыми однозначно определяется точка на чертеже, в координаты x и y с помощью подключенной настольной ЭВМ.

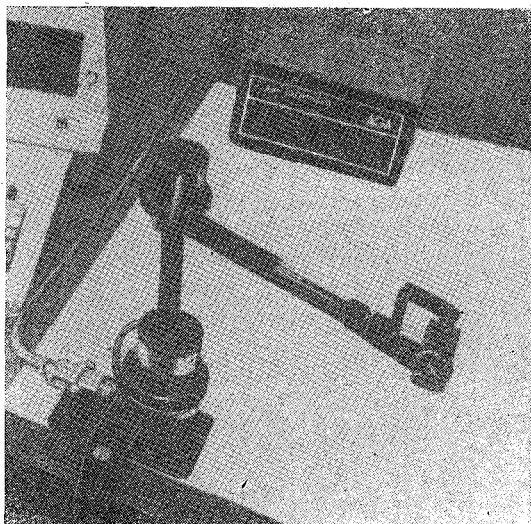


Рис. 28. Геотрейсер AGA

Оптическая считывающая головка с командной кнопкой на ней и визирной маркой в виде кружка, награвированного на стеклянной пластинке, обладает углом обзора 45° при шестикратном увеличении, что обеспечивает возможность работы на больших чертежах.

Прибор может подключаться к любой ЭВМ и любому запоминающему устройству, в которые может вводиться цифровая информация. Пульт управления состоит из сменных печатных плат-носителей стандартных программ для каждой решаемой задачи. С помощью специального устройства — мультиплексора — можно закладывать в память вместе с угловыми данными буквенно-цифровую информацию и таким образом обеспечить перевод аналоговых данных с карт в форму, приемлемую для ЭВМ. Прибор можно также подключать к ленточному перфоратору и к устройству для магнитной записи. Геотрейсер может работать и в ручном режиме, кодируя одну точку при нажатии кнопки на считывающей головке, и в автоматическом режиме, при котором осуществляется непрерывное считывание точек, причем, скорость считывания на требуемое значение может устанавливаться автоматически.

Геотрейсер-326 имеет шесть модификаций с изменением размера обрабатываемого изображения — от 420×594 до 840×1188 мм; колеблется и точность, обеспечиваемая различными моделями — от 0,15 до 0,40 мм. Максимальный вес прибора около 6 кг, он может быть установлен на любом чертежном столе.

Прибор, демонстрировавшийся на выставке (модель D), приобретен кафедрой картографии МГУ.

На этом можно закончить рассмотрение методов и средств для производства собственно картометрических работ на планах и картах. При обращении к материалам аэрофотосъемки, особенно космической фотосъемки, возникает необходимость рассмотрения некоторых их особенностей, обуславливающих своеобразие, а в некоторых случаях и другие подходы к решению таких задач, как, например, определение площади того или иного природного объекта по его изображению на фотографическом снимке.

Если полученный с того или иного носителя фотографический снимок прошел надлежащую фотограмметрическую обработку (трансформирование), то он пригоден для производства картометрических работ любым из описанных выше способов. В противном случае, т. е. при желании определить площадь по нетрансформированному космическому снимку, задача крайне усложняется. Для ее решения потребовалось разработать два алгоритма: сначала по программе «Контур на сфере», а затем по программе «Контур на плоскости», которые затем были последовательно реализованы на ЭВМ. В процессе дальнейших исследований обе программы были сведены в одну программу, предназначенную для географической привязки космических снимков и их измерительного дешифрирования.

Автор программ Г. Б. Гонин указывает, что измерения площадей на космических снимках можно выполнять без геодезических

координат точек местности; он полагает, что фотограмметрические методы измерения площадей отдешифрированных контуров, осуществляемые по программе «Контур на плоскости», обеспечивают точность порядка 3—4% (Космическая фотосъемка. . . с. 165).

Пока еще совершенно не разработаны вопросы, связанные с использованием в целях получения количественных характеристик природных объектов радиолокационных, инфракрасных и других новых видов аэроснимков. Выяснилось лишь, что существующая аппаратура для фотограмметрической обработки получаемых как фотографическими, так и нефотографическими путями изображений не может обеспечить точности, достигнутой при составлении топографических и других карт по материалам обычной аэрофотосъемки и космической съемки. Требуются совершенно новые решения и принципиально иные приборы (Доливо-Добровольский, 1976).

Укажем в заключение, что все способы и приемы картометрических работ, изложенные в этом пособии, позволяют получать количественные характеристики элементов ландшафта и их состояния, изображенных на карте далеко не одновременно, а часто и без даты составления карты. Строго датированные, отражающие сиюминутное состояние элементов ландшафта, изображения получаются только на аэрофотоснимках и космических снимках. В этом состоит одно из преимуществ этих документов перед картами. Однако получающиеся на них изображения элементов, ландшафта, как и на картах, «застывшие», статические. Поэтому, естественно, картометрия и по таким документам не может дать сведений об изменениях, которым подвержены динамичные природные объекты, она была и остается статической картометрией, несмотря на свое вооружение новейшими техническими средствами.

Правда, некоторые, преимущественно качественные, характеристики процессов, происходящих на объектах исследований, можно получить даже по одиночным фотоснимкам. Так, например, по «застывшему» изображению мы судим о наличии и даже об интенсивности ледохода на реке, оцениваем степень загрязнения водоема и т. д. Для изучения атмосферных и других процессов и явлений, а также для прогноза их изменений данные о них наносятся на карту, приобретающую таким образом специальную нагрузку, придающую карте известную выразительность. Однако сведения о динамике процесса, которые удастся получить по фотоснимку или специальной карте, получаются лишь за счет «домысливания» изображений, не более.

При многократных фотографических съемках изучаемого объекта, выполненных с борта того или иного носителя, с использованием материалов наземных наблюдений, стало возможным по-

лучение сведений также о динамике объекта; такой прием получения сведений получил довольно широкое применение. Однако и в этом случае картометрия остается статической потому, что в методике измерений, выполняемых на каждом изображении отдельно, как и при синтезе их, — ничего не изменилось.

Потребовался принципиально новый подход к использованию всего комплекса полученных различными способами и средствами сведений об изучаемом объекте и специальная их обработка с помощью ЭВМ. Только при таком подходе стала возможной постановка вопроса об использовании картометрии также и для изучения динамики природных, в первую очередь водных объектов.

Автор этого предложения В. А. Жолондзь (1973), располагая материалами многократной аэрофотосъемки устья одной из больших рек и данными учтенных на период съемки наблюдений уровня воды, создал дискретную цифровую модель устья в натуральную величину и показал, что по разработанной им программе можно получать значения площадей и объемов воды в устье при любом, наперед заданном значении отметки уровня воды в пределах приливного цикла.

Таким образом, можно утверждать, что картометрия, радикально улучшив свои возможности для решения основных своих задач, приобрела новое, динамическое, направление, позволяющее средствами картометрии изучать изменения динамичных природных объектов в пространстве и во времени. Особый интерес для исследователей представляет возможность получения зримых моделей изучаемых объектов с помощью устройства «дисплей».

Применение современной измерительной и вычислительной техники позволит ускорить и по крайней мере на один разряд повысить точность картометрических работ, выполняемых на различных документах, в том числе и на стереомоделях, с получением реальных значений количественных характеристик различных элементов ландшафта, в том числе и динамичных.

Таким можно представить себе в общих чертах ближайшее будущее картометрии. Ее развитие при исследованиях природной среды и ее ресурсов должно продолжаться вместе с совершенствованием техники этих исследований, становящихся в подлинном смысле слова дистанционными.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Г. А. Определение средних уклонов водосбора и реки. — «Метеорология и гидрология», 1975, № 6, с. 68—73.

Бородин А. В. Полуавтоматические приборы для гравирования линий и измерения длин линий на картах. — Изв. вузов. Сер. геодезия и аэрофотосъемка, вып. 4, 1967, с. 79—84.

Веденеева Ю. П., Керша В. О. Применение универсального электронного планиметра в картометрических работах. — Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка, 1977, вып. 6, с. 124—125.

Волков Н. М. Принципы и методы картометрии. М., 1950. 327 с.

Доливо-Добровольский А. В. Геометрия радиолокационных, инфракрасных и других новых видов аэроснимков. Л., 1976. 50 с.

Жолондз В. А. Дискретное моделирование гидрологических характеристик водных объектов с использованием аэрофотосъемки. — В кн.: Применение аэрофотосъемки при изучении лесного и болотного мелиоративного фондов. Л., 1973, с. 102—106.

Запасский С. И. Дополнительные вопросы по картографии. М., 1975. 76 с. (ЛВИМУ им. С. О. Макарова).

Знаменщиков Г. И. Оценка точности измерения длин рек на топографических картах способом Гидрометслужбы. Новосибирск, 1959, с. 95—104 (Труды Новосибир. ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии, т. XII).

Кантер Ц. А. Исследование некоторых свойств барического поля свободной атмосферы методом площадей и циркулярного моделирования. Саратов, 1975. 271 с.

Керша В. О. Обработка изображений с помощью электронных аналоговых устройств. — «Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка», 1974, вып. 6, с. 53—56.

Керша В. О. Электронный планиметр. — «Изв. вузов. Сер. геодезия и аэрофотосъемка», 1977, вып. 3, с. 62—64.

Комиссаров В. В., Расположенский Н. А. Автоматизация измерения площадей на картах по цветовым признакам — «Вестник МГУ», 1974, вып. 6, с. 103—106.

Космическая фотосъемка и геологические исследования. Под ред. Г. Б. Голина и С. И. Стрельникова. Л., 1975. 416 с.

Кудрицкий Д. М. Картометрические работы (конспект лекций по части курса геодезии). Л., 1965. 69 с. (ОЗО ЛГМИ).

Кудрицкий Д. М. О технике фотографической съемки облаков. — «Метеорология и гидрология», 1968, № 12, с. 85—88.

Кудрицкий Д. М. Электроника в картометрии. — В кн.: «Доклады Комиссии аэросъемки и фотограмметрии», вып. 7. Л., 1969, с. 127—136.

Кудрицкий Д. М. (а) О морфометрии Каспийского моря по современным данным. — «Изв. Всес. Географ. об-ва», 1976, т. 108, № 6, с. 538—543.

Кудрицкий Д. М. (б) Опыт применения машины ФЭИ-О в картометрии. — Труды ГГИ, вып. 232. Л., 1976, с. 38—44.

Кудрицкий Д. М. (в) Современное состояние и перспективы развития гидрологической картометрии. — Труды ГГИ, вып. 237. Л., 1976, с. 135—142.

Маслов А. В. Способы и точность определения площадей. М., 1955. 227 с.

Методические указания Управлению Гидрометслужбы Гос. Гидролог. института, № 56. Л., 1960, 96 с.

Полоник В. С. Телевизионная автоматика. Библиография по автоматике, вып. 386. М., 1970. 78 с.

Поляков В. Г. Электронное планиметрирование с обходом по контуру. — В кн.: «Методы и устройства преобразования графической информации». Киев, 1968, с. 164—169.

Репрезентативные и экспериментальные бассейны (Международное руководство по исследованиям и практике. Под ред. К. Таубса и В. Урываева, ЮНЕСКО). Л., 1971. 428 с.

Рехтзамер Г. Р. Основы картографии (учебное пособие). Л., 1974. 217 с. (ЛГМИ).

Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., 1973. 111 с.

Сенков Е. П. Измерение длины рек с помощью усовершенствованного курвиметра КС. — «Метеорология и гидрология», 1958, № 4, с. 28—30.

Соломенко А. Ученые ведут поиск. — «Ленинградская правда», 1976, № 67.

Хомский В. Р. Динамика и термика малых озер. Вильнюс, 1969. 204 с.

Ченяева Ф. А. Сравнение методов планиметрирования и взвешивания при определении площадей по картам. — В кн.: «Новые проблемы и методы картографии». Л., 1967, с. 90—97.

Ширяев Е. Е. Автоматический способ измерения площадей и периметров контуров с помощью сканирующих устройств и ЭВМ — «Геодезия и картография», 1973, № 5, с. 65—72.

Ширяев Е. Е. Нормализация карт и их чтение с помощью сканирующих устройств и ЭВМ. — «Геодезия и картография», 1975, № 7, с. 64—70.

Ширяев Е. Е. Определение объемов по картам изолиний с помощью специализированного сканирующего устройства и ЭВМ. — «Изв. АН СССР. Сер. географ.». 1976, № 1, с. 118—122.

АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ КАРТЫ

На современных картах (обычно в правом нижнем углу) можно встретить сведения о проекции, в которой составлена данная карта; кроме того, на некоторых картах, как, например, на синоптических картах, приводится сводный график линейных масштабов для всех параллелей карты.

Если сведения о проекции и масштабах карты на разных параллелях отсутствуют, то их приходится отыскивать для получения сведений о тех поправках, которые необходимо вводить в определяемые по карте характеристики изучаемого объекта.

Анализ карты начинается с установления масштаба карты.

На карте различаются: *частный масштаб*, выражаемый отношением бесконечно малого отрезка dl на карте к соответствующему ему отрезку dL на земной поверхности, т. е.

$$\mu = \frac{dl}{dL}, \quad (1.1)$$

и *главный* или *общий масштаб*, выражающий отношение длины некоторой линии на расчетном глобусе к длине соответствующей линии на земной поверхности. Этот масштаб подписывается под картой; он, как это будет показано дальше, сохраняется только на определенных линиях, а иногда — только в одной точке на карте. Как частный, так и главный масштабы выражаются дробями с числителями, равными единице.

Для облегчения последующих вычислений и более наглядной характеристики искажений формы и размеров объектов, изображенных на карте, введено понятие об *увеличении масштаба*; последнее представляет собой отношение частного масштаба μ к главному μ_0 , т. е.

$$C = \frac{\mu}{\mu_0}. \quad (1.2)$$

Поскольку увеличение главного масштаба равно единице, то выражение $\sigma = (C-1) 100\%$ характеризует относительное искажение длины линии на карте по данному направлению.

Поставим своей задачей определение частного масштаба карты μ в некоторой точке M с координатами φ и λ по направлению A , задавшись для этого бесконечно малым отрезком $MM_1=r$ на сфероиде и соответственно $M'M'_1=r_1$ — на карте (рис. 29). Тогда

$$\mu = \frac{r_1}{r}. \quad (1.3)$$

Линейными координатами точки M на сфероиде являются отрезки меридиана x и параллели y ; на карте они изображаются в соответствующих частных масштабах:

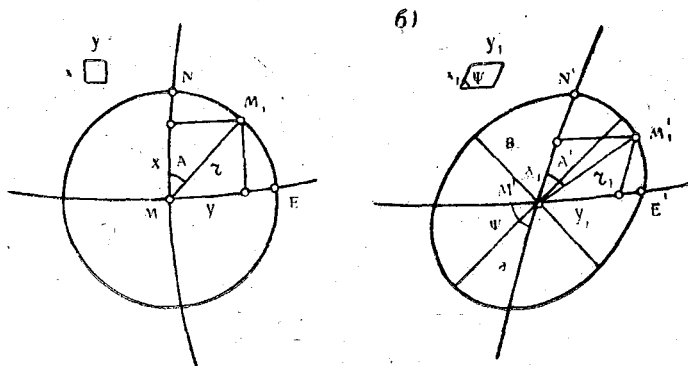


Рис. 29. Бесконечно малый круг и его изображение на карте

по меридиану $m = \frac{x_1}{x}$, по параллели $n = \frac{y_1}{y}$.

Из рассматриваемой точки M опишем окружность радиуса r , ее уравнение будет $x^2 + y^2 = r^2$.

Заменим в этом уравнении значения x и y

$$x = \frac{x_1}{m_1} \text{ и } y = \frac{y_1}{n},$$

тогда будем иметь

$$\frac{x_1^2}{m^2} + \frac{y_1^2}{n^2} = r^2.$$

Разделим теперь обе части этого уравнения на r^2 и таким образом получим уравнение эллипса, выражающее через сопряженные полу диаметры mr и nr :

$$\frac{x_1^2}{m^2 r^2} + \frac{y_1^2}{n^2 r^2} = 1. \quad (4.1)$$

Отсюда следует, что бесконечно малый круг, построенный на поверхности сфероида, на карте изображается эллипсом.

Известно, что в любом эллипсе имеется только одна пара сопряженных взаимноперпендикулярных диаметров, поэтому, записывая уравнение эллипса в канонической форме

$$\frac{x_1^2}{a^2} + \frac{y_1^2}{b^2} = 1,$$

замечаем, что $mr = a$ и $nr = b$.

Отсюда следует, что полуоси a и b представляют собой значения наибольшего и наименьшего масштаба в данной точке карты (рис. 29б).

Такой эллипс называется *эллипсом искажений*; будучи рассчитанным для различных точек карты, он самой своей формой характеризует распределение искажений на карте и их величину. Этой же цели служат семейства кривых-изоколов, соединяющих точки с одинаковыми характеристиками искажений тех или иных параметров карты.

Расчетные формулы для определения искажений площадей фигур, построенных при выбранной нами точке M (рис. 29), можно получить двумя путями.

1. На основании рис. 29 приходим к выводу, что взятый на сфероиде прямоугольник на карте изобразится в виде параллелограмма. Поэтому масштаб площади в точке M выразится следующим образом:

$$p = \frac{S_{\text{пар}}}{S_{\text{пр}}} = \frac{x_1 y_1 \sin \psi}{xy} = mn \sin \psi. \quad (1.5)$$

Если $\psi = 90^\circ$, то $m = a$ и $n = b$. Тогда формула примет следующий вид:

$$p = ab. \quad (1.6)$$

2. Эта же формула может быть получена из сравнения площади эллипса на карте с площадью соответствующего ему круга на сферонде; приняв $r = 1$, получаем, как и ранее:

$$p = \frac{\pi ab}{\pi r^2} = ab. \quad (1.6)$$

Для вычисления элементов эллипса искажений a и b воспользуемся известной в аналитической геометрии теоремой Аполлония:

«сумма квадратов любых двух сопряженных полуосей эллипса есть величина постоянная и равная сумме квадратов полуосей эллипса», в нашем случае она запишется так:

$$a^2 + b^2 = m^2 + n^2. \quad (1.7)$$

Введем в левую часть равенства $\pm 2ab$, а в правую $\pm 2mn \sin \psi$. Произведя соответствующие действия, получаем

$$\begin{aligned} a+b &= \pm \sqrt{m^2 + n^2 + 2p}, \\ a-b &= \pm \sqrt{m^2 + n^2 - 2p}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Складывая и вычитая почленно эти равенства, находим значения $2a$ и $2b$, а затем a и b элементов эллипса искажений.

Теперь, зная масштабы по главным направлениям a и b , можно вычислить частный масштаб в точке M карты по некоторому направлению A . В общем виде (1.1) он был записан $\mu = \frac{r_1}{r}$.

В соответствии с рис. 29 а для точки M_1 напомним:

$$\begin{aligned} x &= r \cos A, \\ y &= r \sin A; \end{aligned}$$

после замены x и y их значениями получим

$$\begin{aligned} x_1 &= mr \cos A, \\ y_1 &= nr \sin A. \end{aligned}$$

Для случая, когда направление полуоси a совпадает с осью X , а направление полуоси b — с осью Y (рис. 29 б),

$$\begin{aligned} x_1 &= ar \cos A, \\ y_1 &= br \sin A, \\ r_1 &= \sqrt{x_1^2 + y_1^2}. \end{aligned}$$

После подстановки

$$r_1 = \sqrt{a^2 r^2 \cos^2 A + b^2 r^2 \sin^2 A}.$$

Вынесем теперь из под корня r и разделим на него обе части написанного уравнения, тогда получим искомую формулу для вычисления частного масштаба карты по любому направлению, заданному из данной на ней точки:

$$\mu = \frac{r_1}{r} = \sqrt{a^2 \cos^2 A + b^2 \sin^2 A}. \quad (1.9)$$

Максимальное искажение азимута направления, заданного из точки, в которой определялись элементы эллипса искажений, определяется по формуле

$$\sin \omega = \frac{a-b}{a+b}. \quad (1.10)$$

Наибольшее искажение угла, вершиной угла которого является та же точка M' , равно 2ω .

Все выведенные формулы сведены в формуляр (прил. 2), при пользовании которым необходимо учитывать следующее замечание. Величины m , n , a и b представляют собой дроби с числителями, равными единице. Для облегчения вычислений в формуляре все рабочие формулы выражены через увеличения масштабов C , которые на последней стадии вычислений умножаются на μ_0 и искомые величины получаются в виде дробей с числителями, равными единице. Так, например, если $C_a = 1,34$, то при $\mu_0 = 1:8\,000\,000$. $a = 1:5\,970\,000$.

Все картографические проекции, используемые в научных и практических целях, классифицируются по двум основным признакам:

1) по характеру и свойствам искажений;
2) по способу проектирования земного шара (расчетного глобуса) на картиную плоскость и виду картографической сетки.

По первому признаку различаются равноугольные, равновеликие, равнопромежуточные и произвольные проекции.

Равноугольными (конформными) называются проекции, не искажающие направлений и углов на карте.

У таких проекций соблюдается условие (1.10)

$$\sin \omega = \frac{a-b}{a+b} = 0,$$

удовлетворяемое при $a=b$. Из формулы (1.9) следует

$$\mu = \pm \sqrt{a^2 \cos^2 A + a^2 \sin^2 A} = a. \sqrt{\cos^2 A + \sin^2 A} = a,$$

откуда заключаем, что частные масштабы в данной точке карты одинаковы по всем направлениям и изменяются лишь при переходе из одной точки в другую.

Масштаб площади в этой проекции в соответствии с формулой (1.5) выражается следующей формулой:

$$p = a^2 = b^2.$$

Таким образом, выясняется, что изображения контуров на карте сохраняют подобие общих очертаний на местности, площади же их искажаются и в некоторых проекциях очень значительно, особенно в высоких широтах.

Равновеликие (эквивалентные) проекции сохраняют пропорциональность площади контуров карты площадям соответствующих контуров на местности.

Равновеликие проекции характеризуются соблюдением условия (1.5):

$$p = ab = 1,$$

которое удовлетворяется за счет существенных искажений формы контуров, а следовательно — длин линий и углов. Вычисление натурального значения площади контура по карте, составленной в этой проекции, выполняется в главном масштабе карты, а не в частном, как это надлежит делать при работе с картами, составленными в других проекциях.

Равнопромежуточные (эквидистантные) проекции сохраняют неизкаженными длины в каждой точке по одному из главных направлений; следовательно, на основании формулы (1.9), необходимо, чтобы

$$\text{либо } a=1, \text{ либо } b=1.$$

В частном случае может быть поставлено условие, чтобы кроме меридианов длины линий не искажались также на одной или двух параллелях.

Произвольные проекции не сохраняют ни одного из свойств других проекций. Искажения элементов изображений контуров в этих проекциях распределяются на площади карты в соответствии с поставленными при вычислении проекции условиями.

По второму признаку — по способу проектирования расчетного глобуса на картинную плоскость — можно выделить два типа проектирования: а) непосредственное проектирование шара на плоскость и б) проектирование шара на поверхность конуса и цилиндра с последующим развертыванием их на плоскость. Третий возможный тип — произвольные проекции, рассчитанные при заданных условиях — отмечен выше.

В настоящем пособии рассматриваются проекции, нашедшие практическое применение в гидрометеорологических исследованиях.

Непосредственное проектирование шара на плоскость

Этот тип мы рассмотрим в двух вариантах перспективной проекции шара на плоскость: центральной или гномонической и стереографической. Для построения перспективных проекций картинная плоскость в нормальном случае избирается касательной к расчетному глобусу в точке полюса, северного или южного, а точка зрения для центральной проекции избирается в центре глобуса, а для стереографической — на его поверхности, на противоположном полюсе. В обеих проекциях меридианы выражаются пучком прямых, исходящих из точки, которой изображается полюс, а параллели — концентрическими окружностями с центром в той же точке. Искажения этих проекций на различных широтах представлены в табл. 1.

Таблица 1

Центральная проекция					Стереографическая проекция		
φ	a	b	p	ω	$a=b$	p	$\xi\omega$
90°	1,000	1,000	1,000	0°00'	1,000	1,000	0°
75	1,072	1,035	1,110	1°59'	1,017	1,035	"
60	1,333	1,155	1,540	8°14'	1,072	1,049	"
45	2,000	1,414	2,828	19°45'	1,172	1,373	"
30	4,000	2,000	8,000	38°57'	1,333	1,778	"
15	14,928	3,864	57,676	72°09'	1,589	2,524	"
0	∞	∞	∞	180°00'	2,000	4,000	"

Особенностью центральной проекции является изображение на ней дуг больших кругов в виде прямых линий — *ортодромий*, выражающих кратчайшие расстояния между точками на шаре. Экватор в этой проекции не изображается.

Стереографическая проекция является равноугольной. Искажения длин вдоль меридианов и искажения площадей в этой проекции растут значительно медленнее, чем в центральной проекции. Полушарие в этой проекции изображается полностью, но используется она только для изображения поверхности выше 30° по широте; на синоптических картах главный масштаб стереографической проекции задается на параллели с широтой 60°.

Проектирование шара на поверхность конуса и цилиндра

Конические проекции получаются при помощи осуществляемого математическим путем проектирования географической сетки расчетного глобуса на поверхность конуса, касательного к глобусу или секущего его по двум заданным условиями проекции параллелям сечения.

На картах, составленных в конических проекциях, меридианы изображаются в виде пучка прямых, исходящих из одной точки—изображения полюса, а параллели в виде дуг концентрических окружностей, описанных из этой же точки.

Условие равноугольности в этой проекции выражается в заданном при вычислениях равенстве масштабов по главным направлениям.

Коническая проекция на секущем конусе содержит меньше искажений длин, соответственно и искажения площадей у нее меньше и располагаются как те, так и другие равномернее, чем в проекции на касательном конусе, у которой значение главного масштаба выдерживается только на одной параллели (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика искажений равноугольных конических проекций

	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
	На секущем конусе								
$a=b$	1,041	1,017	1,000	0,989	0,985	0,988	1,000	1,025	1,070
p	1,084	1,034	1,000	0,978	0,970	0,976	1,000	1,051	1,145
	На касательном конусе								
$a=b$	1,054	1,031	1,014	1,004	1,000	1,004	1,017	1,044	1,092
p	1,111	1,063	1,028	1,008	1,000	1,008	1,034	1,090	1,193

Равновеликая коническая проекция на секущем конусе характеризуется следующими искажениями (табл. 3).

Таблица 3

φ	a	b	p	ω
90°	0,000	∞	1,000	180°
80	0,868	1,152	"	16°09'
70	1,000	1,000	"	0°00'
60	1,015	0,985	"	1°43'
50	1,000	1,000	"	0°
40	1,970	1,031	"	3°27'
30	0,930	1,075	"	8°16'

Разновидностью конических проекций является поликоническая проекция, несколько видоизмененная при разработке и осуществлении проекта составления Международной и Государственной карты СССР в масштабе 1:1 000 000. Проекция этой карты отличается незначительными искажениями: наибольшее искажение углов не превышает $\pm 7''$, а искажения длин — 0,14%, искажения площадей — до 0,08%, поэтому листами этой карты и производных от нее карт более крупных масштабов можно пользоваться как планами.

Цилиндрические проекции получают при проектировании глобуса на внутреннюю поверхность цилиндра, касательного к глобусу по экватору или секущего его по двум заданным параллелям. На картах в этой проекции меридианы изображаются параллельными, равноотстоящими друг от друга, прямыми.

Параллели также изображаются прямыми, перпендикулярными меридианам с возрастающими от экватора к полюсам расстояниями между ними. Эти расстояния вычисляются различно, в зависимости от поставленных для проекций условий. Так, равноугольность в проекции основных морских карт — проекции Меркатора — достигается за счет выравнивания искажений меридианных частей при изображении их на карте и искажений соответствующих параллелей, для чего ставится условие:

$$a = b = \sec \varphi.$$

Отличительное свойство проекции Меркатора состоит в том, что путь корабля по заданному курсу на карте, составленной в этой проекции, изображается прямой линией, называемой *локсодромией*.

Искажения, присущие равноугольным цилиндрическим проекциям на касательном и секущем цилиндре, представлены в табл. 4.

Таблица 4

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
	На касательном цилиндре ($\varphi_0 = 0^\circ$)								
$a = b$	1,000	1,015	1,064	1,155	1,305	1,556	2,000	2,924	5,759
p	1,000	1,030	1,132	1,334	1,703	2,241	4,000	8,550	33,166
	На секущем цилиндре ($\varphi_0 = 40^\circ$)								
$a = b$	0,766	0,777	0,815	0,885	1,000	1,192	1,532	2,239	4,417
p	0,587	0,604	0,664	0,783	1,000	1,421	2,347	5,013	19,451

Проекция на касательном цилиндре для синоптических карт применяется лишь для узкой приэкваториальной полосы ($\pm 22^\circ, 5$). Проекция на секущем цилиндре имеет очень широкое применение, причем для каждого моря установлена своя параллель сечения — главная параллель карты, на которой сохраняется ее главный масштаб.

Судя по искажениям, цилиндрические проекции мало пригодны для выполнения картометрических работ, особенно, в высоких широтах, но поскольку производить их все же приходится, то следует помнить, что учет искажений в этой проекции, возрастающих по закону секанса, весьма затруднителен.

Очень просто, хотя и не с геодезической точностью, измеряются длины прямых линий. Для определения расстояния между двумя точками на карте необходимо измерить его циркулем («взять на циркуль») и отложить на вертикальной рамке таким образом, чтобы середина растрова циркуля расположилась против середины проекции измеряемой линии: на рамку и сделать отсчет числа минут между концами проекции. Число минут, соответствующих проекции измеряемой линии, выражает искомое расстояние («плавание») в морских милях (одна стандартная морская миля равна 1852 м). Аналогично решается и обратная навигационная задача — определение местоположения судна по его курсу — азимуту и расстоянию — плаванию.

При измерении длин рек и берегов, если их приходится производить по морским картам, следует корректировать результаты измерений по учтенным определениям частных масштабов, т. е. вести измерения по частям. Для этой цели необходимо сгустить сетку меридианов и параллелей или воспользоваться палеткой. Что же касается измерений площадей, то здесь особенно важно придерживаться способа Савича, изложенного в § 6. Заметим кстати, что с этим способом согласуются рекомендации относительно измерения площадей фигур, построенных в разных масштабах (§ 6).

Поставив условием, чтобы масштабы измеряемых линий в пределах широтных зон изменялись не более чем на 1/300, а масштабы площадей в пределах 1/1000, С. И. Запасский (1975) указал предельную ширину широтных зон для картометрических работ на разных широтах (табл. 5).

Таблица 5

φ	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$\Delta\varphi$	2°12'	1°05'	При измерениях длин						
			0°31'	0°20'	0°14'	0°09',6	0°06',6	0°04',2	0°02',0
$\Delta\varphi$	0°39',4	0°19',6	При измерениях площадей						
			0°09',4	0°05',8	0°04',0	0°02',8	0°02',0	0°01',2	0°00',6

Практическое применение данных, приведенных в этой таблице, должно сочетаться с выбором карты соответствующего, безусловно крупного, масштаба, в частности при измерениях площадей.

При этом следует иметь в виду, что одновременно с уменьшением ширины широтной зоны возрастают ошибки за счет измерений площадей, связанные с их уменьшением, а кроме того, с ухудшением конфигурации контуров, на что обращалось внимание в § 5. В связи с этим не исключена возможность, что ожидаемое уточнение получаемых результатов будет погашено указанными выше ошибками полностью, а может быть, и с превышением. Поэтому нам представляется, что предлагаемая в некоторых пособиях (Рехтзамер, 1974; Запасский, 1975) методика измерений площадей на морских картах излишне усложнена, и, кроме того, не вполне согласуется со способом Савича в отношении определения цены деления планиметра: рекомендуемый способ не учитывает влияния деформации бумаги.

Следует отметить также, что требования, с которыми подсчитывались размеры широтных зон в табл. 5, несколько преувеличены. Как известно, точность измерения длин по способу Шокальского составляет 2%. Того же порядка и точность измерений площадей относительно мелких контуров (см. табл. 3). Следовательно, размеры широтных зон для измерения площадей могут быть по крайней мере удвоены. Что же касается ширины зон, избираемой при измерении длин, то здесь уменьшение размеров зон облегчает учет искажений, их полезно рассчитать для каждой параллели, пересекающей объект измерений, и определить величину допускаемой ошибки за счет усреднения масштаба в зоне и принять решение об ее ширине. Подобный расчет должен быть выполнен и при подготовке к измерениям рабочей карты, принятой для определения площадей с учетом сделанных выше замечаний. После этого можно приступить к измерениям в соответствии с рекомендациями, изложенными в § 4 и 5.

Выбор той или иной проекции зависит от задач, которые будут решаться на карте, выбранной в качестве рабочей. Так, при метеорологических исследованиях в соответствии с решением Международного метеорологического комитета, принятым в 1937 году, применяются равноугольные проекции: для карт Арктики и Антарктики — полярная стереографическая проекция с главным масштабом на параллели с широтой 60°; для средних широт — коническая проекция Гаусса с сохранением главного масштаба на параллелях 30° и 60°; для приэкваториальных районов — цилиндрическая проекция Меркатора с главным масштабом на параллелях $\pm 22^\circ,5$.

Видоизмененная поликоническая проекция применяется для полетных и бортовых карт масштаба 1:1 000 000, 1:2 000 000 и 1:4 000 000.

В СССР применяются следующие главные масштабы синоптических карт: для карты мира 1:40 000 000, для карт полушарий 1:30 000 000, для карт Евразии 1:20 000 000, для карт Европы и СССР 1:10 000 000, для карт отдельных районов 1:5 000 000, для карт Кавказа 1:2 000 000. Кроме того, выпускаются разные бланковые карты для различных специальных исследований.

При водных исследованиях наряду с перечисленными применяются топографические и специальные карты, на которых поверхностные воды представлены с наибольшей полнотой.

Важное практическое значение имеют карты, составленные в равновеликих проекциях, на которых существенно облегчается измерение площадей.

В связи с широким применением фотографических методов практическое значение получила центральная проекция, в которой получают фотографические снимки; она используется также и для составления карт в высоких широтах.

Наряду с отмеченными применяются и другие проекции, избираемые в каждом конкретном случае; в большинстве своем они представлены в различных атласах, общегеографических и специальных. Там же содержатся и описания их.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ КАРТЫ

Полное название карты

в точке с координатами: $\varphi =$ _____ $\lambda =$ _____

Э с к и з

Данные:

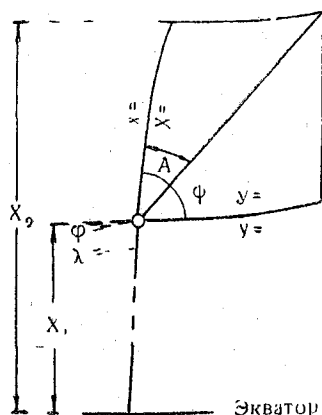
$x =$ _____ см $y =$ _____ см

$X_2 =$ _____ $\psi =$ _____

$X_1 =$ _____

$X =$ _____ см $Y =$ _____ см

Величины x и y измеряются по карте, значения X_1 , X_2 и Y берутся из таблиц (прил. 3), угол ψ измеряется транспортиром между касательными в данной точке



$\mu_0 =$ _____

1. Определение частных масштабов

по меридиану $m = \frac{x}{X} = \frac{1}{X:x} = 1 : \text{_____}$

по параллели $n = \frac{y}{Y} = \frac{1}{Y:y} = 1 : \text{_____}$

2. Определение увеличений масштабов

по меридиану $C_m = \frac{m}{\mu_0}$

$C_m =$ _____

по параллели $C_n = \frac{n}{\mu_0}$

3. Определение относительных искажений длин

по меридиану $v_m = (C_m - 1) 100\%$

$v_m =$ _____

по параллели $v_n = (C_n - 1) 100\%$

$v_n =$ _____

$$\bar{C}_n =$$

Значения C вычисляются

до сотых долей

4. Определение искажения площадей

$$C_p = C_m C_n \sin \psi =$$

$$v_p = (C_p - 1) 100 \%$$

$$C_p =$$

$$v_p =$$

5. Определение наибольшего и наименьшего масштабов в данной точке

$$C_a + C_b = \pm \sqrt{C_m^2 + C_n^2 + 2C_p} =$$

$$2C_a =$$

$$C_a - C_b = \pm \sqrt{C_m^2 + C_n^2 - 2C_p} =$$

$$C_a =$$

$$\mu_a = C_a \mu_0 = 1 : \underline{\hspace{2cm}}$$

$$2C_b =$$

$$\mu_b = C_b \mu_0 = 1 : \underline{\hspace{2cm}}$$

$$C_b =$$

$$\text{Контроль: } C_p = C_a C_b =$$

6. Определение масштаба вдоль линии, заданной из точки с координатами φ и λ под азимутом A

$$C_\mu = \pm \sqrt{C_a^2 \cos^2 A + C_b^2 \sin^2 A} =$$

$$C_\mu =$$

$$\mu = C_\mu \mu_0 = 1 : \underline{\hspace{2cm}}$$

7. Определение наибольшего искажения направления и угла, построенного при данной точке

$$\sin \omega = \frac{C_a - C_b}{C_a + C_b} =$$

$$\omega =$$

$$2\omega =$$

Размеры дуг меридианов и параллелей

Эллипсоид Ф. Н. Красовского

Широта, °	Длина дуг параллелей в 1°, м	Длина дуг меридиана в 1°, м	Длина мери- диана от экватора до широты, м	Широта
1	2	3	4	5
0	111321		0	0
1	111305	110576	110576	1
2	111254	110577	221153	2
3	111170	110579	331732	3
4	111052	110580	442312	4
5	110901	110583	552895	5
6	110716	110586	663481	6
7	110497	110590	774071	7
8	110245	110595	884666	8
9	109960	110600	995266	9
10	109641	110606	1105872	10
11	109289	110613	1216485	11
12	108904	110620	1327105	12
13	108487	110628	1437733	13
14	108036	110637	1548370	14
15	107552	110646	1659016	15
		110656		

1	2	3	4	5
16	107036	110666	1769672	16
17	106488	110677	1880338	17
18	105907	110688	1991015	18
19	105294	110700	2101703	19
20	104649	110713	2212403	20
21	103972	110726	2323116	21
22	103264	110739	2433842	22
23	102524	110753	2544581	23
24	101754	110767	2655334	24
25	100952	110783	2766102	25
26	100119	110797	2876884	26
27	99257	110814	2987681	27
28	98364	110829	3098494	28
29	97440	110846	3209324	29
30	96488	110863	3320170	30
31	95506	110880	3431033	31
32	94495	110898	3541913	32
33	93455	110915	3652811	33
34	92386	110934	3763726	34
35	91290	110951	3874659	35
36	90165	110971	3985611	36
37	89013	110989	4096581	37
38	87834	111007	4207570	38
39	86628	111027	4318578	39
40	85395	111047	4429605	40

1	2	3	4	5
41	84137	111065	4540651	41
42	82852	111085	4651717	42
43	81542	111104	4762802	43
44	80208	111124	4878906	44
45	78848	111144	4985030	45
46	77465	111163	5096174	46
47	76057	111182	5207337	47
48	74627	111202	5318519	48
49	73173	111221	5429721	49
50	71697	111241	5540942	50
51	70199	111260	5652183	51
52	68679	111279	5763443	52
53	67138	111298	5874722	53
54	65577	111316	5986020	54
55	63995	111335	6097336	55
56	62394	111353	6208671	56
57	60773	111371	6320024	57
58	59134	111388	6431395	58
59	57476	111406	6542783	59
60	55801	111423	6654189	60
61	54108	111439	6765612	61
62	52399	111456	6877051	62
63	50674	111471	6988507	63
64	48933	111487	7099978	64
65	47176	111502	7211465	65

1	2	3	4	5
66	45405	111516	7322967	66
67	43621	111531	7434483	67
68	41822	111544	7546014	68
69	40011	111558	7657558	69
70	38187	111570	7769116	70
71	36352	111582	7880686	71
72	34505	111594	7992268	72
73	32647	111605	8103862	73
74	30780	111615	8215467	74
75	28902	111625	8327082	75
76	27016	111634	8438707	76
77	25122	111643	8550341	77
78	23220	111651	8661984	78
79	21310	111658	8773635	79
80	19394	111665	8885293	80
81	17472	111671	8996958	81
82	15544	111677	9108629	82
83	13612	111681	9220306	83
84	11675	111685	9331987	84
85	9735	111689	9443672	85
86	7791	111692	9555361	86
87	5846	111694	9667053	87
88	3898	111695	9778747	88
89	1949	111696	9890442	89
90	0		10002138	90

Площади трапеций мелкомасштабных карт

φ	$S_{\text{км}^2}$	φ	$S_{\text{км}^2}$	φ	$S_{\text{км}^2}$	φ	$S_{\text{км}^2}$
1	2	3	4	5	6	7	8

$1^\circ \times 1^\circ$

30°	10642,76	43°	8985,79	56°	6857,67	69°	4361,90
31	10533,90	44	8837,67	57	6677,23	70	4158,26
32	10421,83	45	8686,79	58	6494,66	71	3953,26
33	10306,58	46	8533,19	59	6310,02	72	3746,97
34	10188,16	47	8376,92	60	6123,34	73	3539,47
35	10066,62	48	8218,01	61	5934,71	74	3330,80
36	9941,98	49	8056,52	62	5744,16	75	3121,05
37	9814,29	50	7892,49	63	5551,76	76	2910,28
38	9683,56	51	7725,96	64	5357,57	77	2698,55
39	9549,84	52	7556,99	65	5161,66	78	2485,94
40	9413,17	53	7385,62	66	4964,06	79	2272,51
41	9273,58	54	7211,92	67	4764,87	80	
42	9131,10	55	7035,91	68	4564,12		

$2^\circ \times 2^\circ$

30°	42353,32	44°	35048,92	58°	25609,36	70°	16223,04
32	41456,82	46	33820,22	60	24116,10	72	14572,88
34	40509,56	48	32549,06	62	22591,84	74	12903,70
36	39512,54	50	31236,90	64	21038,46	76	11217,66
38	38466,80	52	29885,22	66	19457,86	78	9516,90
40	37313,50	54	28495,66	68	17852,04	80	
42	36233,78	56	27069,80				

φ°	S_{KM^2}	φ°	S_{KM^2}	φ°	S_{KM^2}	φ°	S_{KM^2}
-----------------	------------	-----------------	------------	-----------------	------------	-----------------	------------

$2^\circ \times 3^\circ$

30°	63529,99	44°	52573,38	56°	40604,70	68°	26778,07
32	62185,23	46	50730,32	58	38414,04	70	24334,55
34	60764,34	48	48823,58	60	36174,16	72	21859,34
36	59268,81	50	46855,35	62	33887,77	74	19355,53
38	57700,20	52	44827,83	64	31557,69	76	16826,48
40	56060,26	54	42743,48	66	29186,80	78	14275,36
42	54350,68						

$3^\circ \times 3^\circ$

30°	94795,47	45°	86790,70	60°	53406,63	72°	31851,72
33	91684,08	48	72501,06	63	48212,97	75	26189,64
36	88319,49	51	68005,71	66	42879,15	78	20450,37
39	84709,77	54	63316,50	69	37420,26	81	
42	80863,68	57	58445,73				

$4^\circ \times 4^\circ$

30°	167620,28	46°	132738,56	62°	87260,60	74°	48242,72
34	160044,20	50	122244,24	66	74619,80	78	34641,16
38	151680,60	54	111130,92	70	61591,84	82	
42	142565,40	58	99450,92				

φ_0	S_{KM^2}	φ_0	S_{KM^2}	φ_0	S_{KM^2}	φ_0	S_{KM^2}
-------------	------------	-------------	------------	-------------	------------	-------------	------------

$4^\circ \times 4^\circ$

32—36	163932,76	44—48	137738,28	56—60	105358,32	68—72	68150,16
36—40	155958,68	48—52	127571,92	60—64	93415,88	72—76	54953,16
40—44	147214,56	52—56	116761,76	64—68	80992,64	76—80	41469,12

$4^\circ \times 6^\circ$

32—36	245899,13	44—48	206607,38	56—60	158037,43	68—72	102225,24
36—40	233938,06	48—52	191357,82	60—64	140123,85	72—76	82429,75
40—44	220821,87	52—56	175142,65	64—68	121488,98	76—80	62203,68

Основные синоптические карты

$5^\circ \times 5^\circ$

0—5	307358	30—35	260466	60—65	143558
5—10	305080	35—40	245281	65—70	119083
10—15	300538	40—45	228207	70—75	93644
15—20	293758	45—50	209357	75—80	67442
20—25	284781	50—55	188865	80—85	40628
25—30	273661	55—60	166877	85—90	2720

$10^\circ \times 10^\circ$

0—10	1224876	30—40	1011496	60—70	525282
10—20	1188592	40—50	875128	70—80	322172
30—40	1116884	50—60	711484	80—90	86816

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
§ 1. Предмет и задачи картометрии	3
§ 2. Подготовка карты к измерениям. Учет деформации бумаги	5
§ 3. Определение координат и высот точек на карте	7
§ 4. Измерение длин линий, определение их наклона и направления. Отграничение водосборных бассейнов	11
§ 5. Определение площадей контуров по планам и географическим картам	23
§ 6. Определение площадей контуров, построенных в разных масштабах	44
§ 7. Определение площади топографической поверхности	46
§ 8. Определение объемов озеровидных водоемов	48
§ 9. Современное состояние и перспективы развития картометрии	53
Литература	59

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Анализ искажений карты	62
2. Определение искажений карты	71
3. Размеры дуг меридианов и параллелей	73
4. Площади трапеций мелкомасштабных карт	77

Дмитрий Михайлович Кудрицкий

Картометрические работы

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *И. Н. Базилевская*

Корректор *Р. В. Федорова*

М- 09684. Сдано в набор 5-VII 1977 г. Подп. к печати 23.XI. 1978 г.
 Формат 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Дополнительный темплан 1978 г., поз. 343.
 Тираж 900. Объем печ. л. 5. Уч.-изд. л. 5. Зак. 457. Цена 30 коп.
 ЛПИ, 195251, Ленинград, Политехническая, 29.

Типография ВВМУПП им. Ленинского комсомола