

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЫСОТ И ТОЧНОСТИ ЭТИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ

Мелкомасштабные общегеографические карты, т. е. карты мельче масштаба 1:1 000 000, довольно часто находят свое применение в различных областях народного хозяйства. Нередко они могут быть использованы и для выполнения по ним некоторых картометрических работ. При выполнении последних могут возникнуть случаи, когда для намеченной на карте точки земной поверхности необходимо знать ее высоту. В качестве примера укажем, что при составлении карт распределения суши и моря, прилагаемых к нашей работе [1], необходимо было знать высоты (глубины) точек земной поверхности, которые и определялись по мелкомасштабным общегеографическим картам Атласа мира (АМ) [2].

В процессе определения высот на общегеографических картах АМ, которые в дальнейшем будем называть исследуемыми, возник вопрос о точности этих определений. Чтобы в какой-то степени ответить на него, нами и была проделана некоторая работа в этом направлении. При этом мы имели в виду следующее. Если на какой-то карте, которую в дальнейшем будем называть контрольной, имеется ряд точек с известными (т. е. подписанными на карте) высотными отметками, то можно определить плановое положение этих точек на исследуемой карте. Заметим, что контрольная карта должна быть более крупного масштаба по сравнению с исследуемой картой. Затем, используя имеющиеся на исследуемой карте горизонтали (изогипсы), можно определить посредством интерполирования также высоты этих точек, учитывая при этом, что наклон земной поверхности между двумя горизонталями по данному направлению одинаков. Если принять теперь высоты точек на контрольной карте за истинные, а на исследуемой — за измеренные, то разности измеренных и истинных высот будут представлять не что иное, как ошибки, которые были допущены при определении высоты каждой отдельной точки. По полученным таким образом ошибкам можно найти среднюю квадратическую ошибку одного опре-

деления, т. е. установить точность определения высот точек земной поверхности на исследуемых картах.

Перед нами стояла задача: установить точность определения высот на общегеографических картах Атласа мира масштаба 1 : 2 500 000, 1 : 5 000 000 и 1 : 7 500 000, причем только

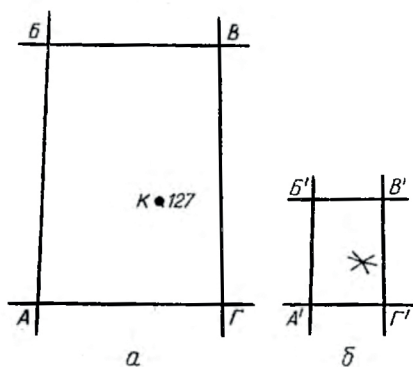


Рис. 1. Определение планового положения точки K на части исследуемой карты, ограниченной меридианами $B'A'$, $B'Г'$ и параллелями $B'B'$, $A'Г'$.

для тех точек земной поверхности, которые расположены на низменных участках равнинной местности, т. е. лежащих на высоте не более 200 м над уровнем моря, и отображены на указанных картах 100- и 200-метровыми изогипсами. В качестве конкретных исследуемых карт (АМ) были приняты карта 41—42 масштаба 1 : 2 500 000, карта 64—65 масштаба 1 : 5 000 000 и карта 18—19 масштаба 1 : 7 500 000. В качестве контрольной карты были приняты

листы общегеографической карты масштаба 1 : 1 000 000.

Процесс определения высот точек состоял из двух последовательных этапов, а именно: из определения планового положения точек на исследуемой карте и из определения на этой карте их высот.

1. Определение планового положения точек. Пусть на части контрольной карты, ограниченной двумя смежными меридианами и параллелями, имеется некоторая точка K с отметкой $H_K = 127$ м (рис. 1, а). Требуется определить положение этой точки на исследуемой карте. Для простоты рассуждений примем, что частота картографической сетки на исследуемой и контрольной картах одинакова и равна 1° по широте и долготе.

Плановое положение этой же точки на исследуемой карте определяем с помощью пропорционального циркуля, подвижный шарнир которого предварительно устанавливается в заданном соотношении, соответствующем коэффициенту уменьшения исследуемой карты по отношению к контрольной карте. Очевидно, тогда измеренные циркулем расстояния AB , $AГ$, AB ,... между узловыми точками на контрольной карте (рис. 1, а) должны соответствовать расстояниям $A'B'$, $A'Г'$, $A'B'$,... на исследуемой карте (рис. 1, б). Однако вследствие того, что масштаб в картографических проекциях не сохраняет своей величины на всем пространстве карты, необходимо

иногда корректировать шарниром эту установку с тем, чтобы всегда стороне некоторой клетки картографической сетки на контрольной карте соответствовало расстояние, равное стороне этой же клетки на исследуемой карте. Затем засечками от узловых точек сетки определяется плановое положение интересующей нас точки. Если в результате засечек образуется треугольник погрешностей, то положение определяемой точки намечается в центре этого треугольника. В нашем случае с целью лучшего производства засечек одна из ножек циркуля была приспособлена для заправки в нее сердцевины карандаша, тщательно заточенной под форму острия ножки циркуля.

Если частота картографической сетки контрольной и исследуемой карт неодинакова, что имеет место у большинства мелкомасштабных карт атласов, то предварительно производится сгущение сетки исследуемой карты. Это сгущение осуществляется с помощью минутной сетки рамки. В нашем случае такое сгущение, причем только для меридианов, проводилось для карт 64—65 и 18—19 АМ, для которых частота сетки соответственно равна 2 и 4° по широте и долготе. Линии параллелей в этом случае не сгущались, а плановое положение точек определялось следующим образом. Область между двумя смежными параллелями делилась примерно пополам, и в таком «половинном» широтном поясе засечки проводились от узловых точек сетки, расположенных на одной и той же параллели, но на разных одноградусных меридианах.

Небезынтересным здесь является вопрос о точности определения планового положения точек посредством засечек с помощью пропорционального циркуля. Для этого на контрольной карте были выбраны те высотные точки, которые имеются и на исследуемой карте. Принимая положения этих точек на контрольной карте за истинные, засечками определялось их положение на исследуемой карте. Расхождение между плановым положением точки, полученным в результате засечек, и ее действительным положением на исследуемой карте выразит не что иное, как ошибку, с которой определено положение данной точки указанным способом. При этом мы сделали допущение, что высотные точки и картографическая сетка на исследуемых картах нанесены безошибочно. Сами расхождения между центрами точек, имеющих на исследуемой карте и полученных на ней в результате засечек, определялись с помощью эталона толщин линий. По полученным таким образом ошибкам могут быть вычислены для каждой карты средние квадратические ошибки, характеризующие точность определения планового положения точек на указанных картах.

Такая работа была проделана для всех исследуемых нами

карт и дополнительно для карты 52 АМ масштаба 1 : 3 500 000. причем эти определения проводились для точек, которые расположены не только на низменностях, но и на возвышенностях и в горной местности. Только для карты 18—19 такие определения были проведены для точек низменных участков равнинной местности. Некоторые данные об ошибках этих определений, а также величина средней квадратической ошибки приведены в таблице 1 (стр. 121).

Из данных этой таблицы следует, что средняя квадратическая ошибка определения планового положения точек на

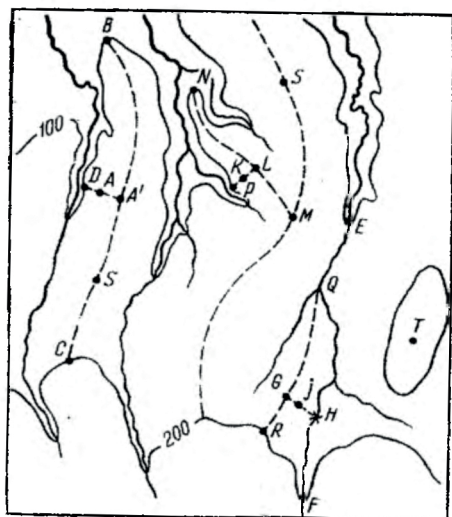


Рис. 2. Примеры определения высот точек земной поверхности.

общегеографических картах указанных масштабов составляет $\pm 0,4—0,5$ мм, причем величина этой ошибки примерно одинакова, независимо от того, проводились ли эти определения только для низменного или для низменного, возвышенного и горного рельефа.

В связи с этим отметим здесь работу А. И. Шабановой [3], в которой рассматривается вопрос точности мелкомасштабных карт. Метод исследования у А. И. Шабановой другой и по сравнению с нашим более точный. Однако в этой работе отсутствуют дан-

ные о точности определения планового положения высотных точек на картах мелкого масштаба, за исключением некоторых карт масштаба 1 : 1 000 000, т. е. карт того же масштаба, которые в нашем случае являются контрольными. Для тиражных экземпляров карт масштаба 1 : 1 000 000, по данным А. И. Шабановой, средняя квадратическая ошибка в плановом положении высотных точек составляет в среднем $\pm 0,6$ мм, в нашем случае для карт более мелкого масштаба аналогичная ошибка составляет $\pm 0,4—0,5$ мм.

2. Определение высот точек. Установив положение некоторой интересующей нас точки на исследуемой карте, определяют ее высоту посредством интерполирования между смежными изогипсами. При этом допускается, что наклон земной поверхности между этими изогипсами по данному направлению одинаков. Кроме того, учитывается также орогра-

фия того участка местности со всеми ее высотными данными, на которой расположена определяемая точка. В работе [1] рассмотрен конкретный пример определения высот точек на карте, а также описаны некоторые трудности, связанные с этим определением.

Рассмотрим в качестве примера на рис. 2 некоторые случаи определения высот точек.

а) Точка A находится между двумя приблизительно одинаковыми по величине реками и между двумя смежными по шкале высот изогипсами. Исходя из того, что обе реки имеют свои водосборные площади, а следовательно, между ними должен проходить водораздел, намечают на карте его приблизительное расположение (пунктирная линия BC на рис. 2). Его обычно проводят посередине между реками, но если известна асимметрия склонов или если эти реки по своим характеристикам неодинаковы, то водораздельную линию проводят с учетом этих данных.

Исходя из принятого предположения относительно одинакового наклона между двумя смежными изогипсами, определяют на водораздельной линии вспомогательную точку A' и интерполированием находят ее высоту. Затем по направлению $A'D$, на котором находится определяемая точка A , также путем интерполирования определяют высоту точки A .

б) Точка K находится между двумя основными, а также между двумя второстепенными реками и между двумя смежными по шкале высот изогипсами. Здесь, как и в предыдущем случае, проводят линию водораздела между основными для этого участка реками, а затем еще и второстепенный водораздел NM между притоками. На основном водоразделе, как и ранее, определяют вспомогательную точку M и ее высоту, на второстепенном водоразделе NM — точку L и ее высоту, а затем уже по направлению LP определяют высоту точки K .

Если на водораздельной линии (основной или второстепенной) имеется некоторая высотная точка, например точка S , то в этом случае интерполирование проводится от этой точки до той изогипсы, в направлении которой находится вспомогательная точка (например, точки A' или M на рис. 2).

в) Точка J расположена между двумя реками и изогипсой. В этом случае сначала определяется высота местности у слияния обеих рек (точка Q). Определение высоты этой точки состоит в следующем. Микроизмерителем измерялись по карте длины реки EF и EQ (или QF) в мм. Так как согласно рис. 2 длине EF по шкале высот соответствует 100 м, то можно определить, как изменяется по высоте расстояние EQ с удалением от E , а следовательно можно найти высоту точки Q . Затем между этими реками, как и раньше, проводилась водораздельная линия QR и на ней интерполированием определя-

лась высота вспомогательной точки G . От нее в направлении определяемой точки у реки намечалась точка H и также интерполированием между известными высотами точек Q и F вычислялась ее высота, после чего в направлении GH определялась высота точки J .

г) Определяемая точка находится внутри одноименной замкнутой изогипсы*. В этом случае трудность определения высоты такой точки довольно большая, так как нет необходимых данных для интерполирования. В качестве последних могут служить отметки самых высоких (низких) точек, иногда отметки урезов вод озер, рек и т. д. На мелкомасштабных общегеографических картах таких отметок очень мало, а потому для данной цели иногда их явно недостаточно. Если внутри замкнутой изогипсы таких высотных отметок нет, то при определении высоты некоторой расположенной там точки можно допустить ошибку почти на целую ступень высотной шкалы. Действительно, при шкале высот через 100 м, как это показано на рис. 2, высота точки T при отсутствии дополнительных данных может принимать значения от 201 м до значения следующей по шкале высот изогипсы. Поэтому с целью уменьшения таких ошибок для участка, ограниченного такой изогипсой, устанавливается точка с максимальной высотой (глубиной) и примерное ее расположение, для чего используются другие справочные материалы — более крупномасштабные карты атласов, иногда физико-географические описания местности и др. После этого уже обычным путем находят высоту данной точки. Вполне понятно, что точность определения высот точек будет меньшая, чем в рассмотренных выше случаях.

Таковы, примерно, некоторые случаи определения высот точек на картах. Конечно, они не исчерпывают и других возможных случаев, которые могут возникнуть при выполнении такого рода работ. Однако, зная методику этих определений и учитывая при этом орографические особенности местности, всегда можно установить для каждого отдельного случая способ определения высот.

Для выяснения вопроса о точности определения высот точек низменностей на всех трех исследуемых картах было проведено по 250 определений высот**. В результате были получены три ряда ошибок измерений, в которых по величине среднего из всех ошибок выявлено наличие значительной ее

* При выполнении данной работы таких случаев определения высот не было, но они иногда имели место при составлении карт, прилагаемых к работе [1].

** Две ошибки величиной минус 81 и минус 72 м в третьем ряду ошибок (карта 18—19) в дальнейшую обработку мы не включали, считая их грубыми ошибками.

Некоторые данные об ошибках определения планового положения точек

№ карты АМ	Масштаб карты	Для равнинного* и горного рельефа				Для низменностей			
		К-во опре- делен.	Ошибки опреде- ления, м			К-во опре- делен.	Ошибки опреде- ления, м		
			мини- мал.	максим.	Средняя квад- рат. ±		мини- мал.	макси- мал.	Средняя квад- рат. ±
41—42	1:2 500 000	40	0,05	0,75	0,37	14	0,05	0,75	0,36
52	1:3 500 000	40	0,05	0,70	0,36	7	0,10	0,70	0,42
64—65	1:5 000 000	19	0,10	1,20	0,46	13	0,10	1,20	0,48
18—19	1:7 500 000	—	—	—	—	8	0,25	0,65	0,46

* В том числе и для низменностей.

систематической части. Она оказалась равной для карты 41—42 — минус 4,64 м, для карты 61—65 — минус 5,79 м и для карты 18—19 — минус 9,65 м. Эта систематическая (отрицательная) часть ошибок вызвана, по-видимому, тем, что при определении высот не учитывалась выпуклость рельефа в межречных пространствах, а само интерполирование проводилось по наклонной прямой (хорде). Следует отметить, что вопрос об учете выпуклости (а также вогнутости) рельефа при определении высот точек на карте по горизонталям может служить предметом специального исследования.

После исключения в этих ошибках ее систематической части были получены новые ряды ошибок, которые по своему характеру должны быть уже случайными. Эти ошибки в том виде, как они распределились по своей абсолютной величине, приведены в таблице 2. По значениям этих ошибок была вычислена средняя квадратическая ошибка m определения высот, которая оказалась равной для карты 41—42— ± 14 м, для карты 64—65— ± 16 м и для карты 18—19— ± 15 м; максимальная же ошибка определения высот точек на указанных картах не превосходит 50 м.

На основании полученных результатов применительно к низменным участкам равнинной местности можно сделать некоторые выводы.

**Некоторые данные об ошибках определения высот точек на картах
Атласа мира**

Интервалы	Количество ошибок					
	Карта 41—42		Карта 64—65		Карта 18—19	
	всего	в %	всего	в %	всего	в %
Нулевые ошибки	7	2,8	9	3,6	6	2,4
От 1 м до 10 м	149	59,6	118	47,2	115	46,4
„ 11 м „ 20 м	56	22,4	79	31,6	85	34,3
„ 21 м „ 30 м	27	10,8	30	12,0	35	14,1
„ 31 м „ 40 м	5	2,0	10	4,0	4	1,6
„ 41 м „ 50 м	6	2,4	4	1,6	3	1,2
Всего	250	100,0	250	100,0	248	100,0
Средняя квадратическая ошибка <i>m</i>	±14,3 м		±15,6 м		±14,9 м	
Предельная ошибка = 3 <i>m</i>	±43 м		±47 м		±45 м	
Максимальная ошибка	+44 м и -49 м		+49 м и -49 м		+32 м и -50 м	

ВЫВОДЫ

1. Несмотря на то, что масштабы исследуемых карт разные, точность определения как высотного, так и планового положения точек на всех трех картах примерно одинакова и составляет соответственно $\pm 14-16$ м и $\pm 0,4-0,5$ мм.

2. По общегеографическим картам Атласа мира масштабов 1 : 2 500 000, 1 : 5 000 000 и 1 : 7 500 000 интерполированием между горизонталями и с учетом орографических особенностей рельефа высоты точек низменностей можно определить с точностью приблизительно $\frac{1}{6}$ сечения рельефа (при шкале высот 0, 100, 200 м).

3. Пропорциональным циркулем при хорошей его установке в заданном соотношении и при тщательной корректировке этой установки в процессе работы можно проводить некоторые картометрические измерения, в том числе и определения путем засечек планового положения точек; при этом желательно, чтобы коэффициент уменьшения исследуемой карты по отношению к контрольной карте был небольшой.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Н. Гудз. Вековое изменение высот и береговых линий в связи с перемещением полюсов Земли. Научные записки Львовского политехнического института, серия геодезическая № 8, Львов, 1961.

2. Атлас мира. ГУГК, М., 1954.

3. А. И. Шабанова. О точности карт мелкого масштаба. «Геодезия и картография» № 10, 1957.

Львовский политехнический
институт

Работа поступила
21 мая 1961 г.