

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Пособие
для студентов специальности
1-56 02 01 «Геодезия»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области горнодобывающей промышленности*

Минск
БНТУ
2022

УДК 528.235(075.8)

ББК 26.17я7

М34

С о с т а в и т е л и:

С. М. Крупица, Е. И. Радцевич

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра геодезии и космоаэрокартографии БГУ, зав. кафедрой,
канд. географич. наук, доцент *А. П. Романкевич*;

главный инженер государственного предприятия «Белгеодезия»

А. П. Присяжнюк

М34 Математическая картография : пособие для студентов специальности 1-56 02 01 «Геодезия» / сост.: С. М. Крупица, Е. И. Радцевич. – Минск : БНТУ, 2022. – 87 с.

ISBN 978-985-583-467-1.

Пособие разработано в соответствии с учебной программой по предмету «Математическая картография» и призвано сформировать у студентов необходимые знания о картографии – науке о картах – как об особом способе изображения действительности, методах и технологиях их создания и использования в научной и практической работе.

Издание предназначено для студентов 4 курса специальности 1-56 02 01 «Геодезия».

УДК 528.235(075.8)

ББК 26.17я7

ISBN 978-985-583-467-1

© Белорусский национальный
технический университет, 2022

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ИЗВИЛИСТОЙ ЛИНИИ

Для измерения длины извилистых объектов (реки, дороги и т. п.) на бумажном носителе используются курвиметры – приборы для измерения кривых линий – и циркули-измерители или микроизмерители. Применение курвиметров ограничено вследствие приближенности результатов измерений из-за неточности обвода извилистых линий, особенно сложных.

Более точные результаты измерения длин извилистых линий получают при применении измерителей (микроизмерителей) с небольшим раствором. Под раствором понимается расстояние между иглами ножек измерителя. Обычно величину раствора берут в пределах 1–4 мм.

Измеряемая извилистая линия представляет собой ломаную линию в виде хорд, стягивающих кривые участки. Н. М. Волков (1950) предложил измерения одного и того же объекта, например реки, выполнять двумя растворами измерителя: d_1 и d_2 , причем $d_2 > d_1$. Тем самым будет вводиться поправка в разность между длиной хорды и стягиваемой ею кривой в виде отрезка, увеличивающего длину хорды.

Формула имеет следующий вид:

$$S' = S'_1 + |S'_1 - S'_2| K_1;$$

$$S'' = S''_1 + |S''_1 - S''_2| K_1,$$

где S'_1 (S''_1) и S'_2 (S''_2) – длина объекта, измеренная измерителем соответственно с раствором d_1 и d_2 ($d_2 > d_1$);

$$K_1 = \frac{\sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}} - \text{поправочный коэффициент на разность длины}$$

хорды и кривой.

Для учета картографической генерализации, которая имеется на всех картах, Н. М. Волков предложил измерения длин извилистых объектов выполнять на двух картах разных масштабов. Окончательная длина объекта (реки) определяется по следующей формуле:

$$S = S' + |S' - S''|K_2,$$

где S' и S'' – длина объекта, измеренная соответственно по картам масштабов 1: M_1 и 1: M_2 ;

$$K_2 = \frac{\sqrt{M_1}}{\sqrt{M_2} - \sqrt{M_1}} - \text{поправочный коэффициент на генерализа-}$$

цию, где M_1 и M_2 – знаменатели масштабов карт, причем $M_2 > M_1$.

Для учета линейных искажений в применяемых картографических проекциях и деформации бумаги определяемый объект рекомендуется измерять по частям, которые расположены в разных трапециях. Соответственно в каждой трапеции определяется цена раствора измерителя, под которой понимается число метров или километров, соответствующее в масштабе карты величине раствора измерителя. Цену раствора измерителя устанавливают измерением в количествах растворов дуги параллели или меридиана, в зависимости от направления определяемого объекта. Действительную длину отрезков дуг меридианов и параллелей находят по табл. 1.1.

Таблица 1.1

Длина дуг в 1° параллелей и меридианов и длина дуг меридианов от экватора для значений широты через 1° на эллипсоиде Красовского

Широта в градусах	Длина дуги параллели в 1° по долготе, м	Длина дуги меридиана от экватора до параллели, м	Широта в градусах	Длина дуги меридиана в 1° по широте, м
0	111 321	0	–	–
1	111 305	110 576	0–1	110 576
2	111 254	221 153	1–2	110 577
3	111 170	331 732	2–3	110 579
4	111 052	442 312	3–4	110 580
5	110 901	552 895	4–5	110 583
6	110 716	663 482	5–6	110 587
7	110 497	774 072	6–7	110 590
8	110 245	884 668	7–8	110 596
9	109 960	995 268	8–9	110 600
10	109 641	1 105 875	9–10	110 607
11	109 289	1 216 488	10–11	110 613

Продолжение табл. 1.1

Широта в градусах	Длина дуги параллели в 1° по долготе, м	Длина дуги меридиана от экватора до параллели, м	Широта в градусах	Длина дуги меридиана в 1° по широте, м
12	108 904	1 327 108	11–12	110 620
13	108 487	1 437 737	12–13	110 629
14	108 036	1 548 373	13–14	110 636
15	107 552	1 659 019	14–15	110 646
16	107 036	1 769 675	15–16	110 656
17	106 488	1 880 341	16–17	110 666
18	105 907	1 991 017	17–18	110 676
19	105 294	2 101 706	18–19	110 689
20	104 649	2 212 406	19–20	110 700
21	103 972	2 323 118	20–21	110 712
22	103 264	2 433 844	21–22	110 726
23	102 524	2 544 583	22–23	110 739
24	101 753	2 655 336	23–24	110 753
25	100 952	2 766 103	24–25	110 767
26	100 119	2 876 886	25–26	110 783
27	99 257	2 987 683	26–27	110 797
28	98 364	3 098 497	27–28	110 814
29	97 441	3 209 326	28–29	110 829
30	96 488	3 320 172	29–30	110 846
31	95 506	3 431 035	30–31	110 863
32	94 495	3 541 915	31–32	110 880
33	93 455	3 652 813	32–33	110 898
34	92 386	3 763 728	33–34	110 915
35	91 290	3 874 662	34–35	110 934
36	90 165	3 985 613	35–36	110 951
37	89 013	4 096 584	36–37	110 971
38	87 834	4 207 573	37–38	110 989
39	86 628	4 318 580	38–39	111 007
40	85 395	4 429 607	39–40	111 027
41	84 137	4 540 654	40–41	111 047
42	82 852	4 651 719	41–42	111 065
43	81 542	4 762 804	42–43	111 085
44	80 208	4 873 908	43–44	111 104
45	78 848	4 985 032	44–45	111 124
46	77 465	5 096 176	45–46	111 144
47	76 075	5 207 339	46–47	111 163
48	74 627	5 318 521	47–48	111 182
49	73 173	5 429 723	48–49	111 202
50	71 697	5 540 944	49–50	111 221
51	70 199	5 652 185	50–51	111 241

Окончание табл. 1.1

Широта в градусах	Длина дуги параллели в 1° по долготе, м	Длина дуги меридиана от экватора до параллели, м	Широта в градусах	Длина дуги меридиана в 1° по широте, м
52	68 679	5 763 445	51–52	111 260
53	67 138	5 874 723	52–53	111 278
54	65 577	5 986 021	53–54	111 298
55	63 995	6 097 337	54–55	111 316
56	62 394	6 208 672	55–56	111 335
57	60 773	6 320 025	56–57	111 353
58	59 134	6 431 395	57–58	111 370
59	57 476	6 542 783	58–59	111 388
60	55 801	6 654 189	59–60	111 406
61	54 108	6 765 612	60–61	111 423
62	52 399	6 877 051	61–62	111 439
63	50 674	6 988 506	62–63	111 455
64	48 933	7 099 978	63–64	111 472
65	47 176	7 211 465	64–65	111 487
66	45 405	7 322 967	65–66	111 502
67	43 621	7 434 483	66–67	111 516
68	41 822	7 546 014	67–68	111 531
69	40 011	7 657 558	68–69	111 544
70	38 187	7 769 116	69–70	111 558
71	36 352	7 880 686	70–71	111 570
72	34 505	7 992 268	71–72	111 582
73	32 647	8 103 862	72–73	111 594
74	30 780	8 215 467	73–74	111 605
75	28 902	8 327 082	74–75	111 615
76	27 016	8 438 707	75–76	111 625
77	25 122	8 550 341	76–77	111 634
78	23 219	8 661 984	77–78	111 643
79	21 310	8 773 635	78–79	111 651
80	19 394	8 885 293	79–80	111 658
81	17 472	8 996 958	80–81	111 665
82	15 544	9 108 629	81–82	111 671
83	13 612	9 220 306	82–83	111 677
84	11 675	9 331 987	83–84	111 681
85	9 735	9 443 673	84–85	111 686
86	7 791	9 555 362	85–86	111 689
87	5 846	9 667 053	86–87	111 691
88	3 898	9 778 747	87–88	111 694
89	1 949	9 890 442	88–89	111 695
90	0	10 002 137	89–90	111 695

Таким образом, цена деления раствора измерителя и длина ломаной линии измеряемого объекта будут связаны следующей формулой:

$$S' = t \cdot n = \frac{l}{m} n,$$

где t – цена деления раствора измерителя, $t = \frac{l}{m}$;

l – длина отрезка дуги меридиана или параллели в трапеции на эллипсоиде Красовского;

m – количество уложившихся растворов измерителя по соответствующему меридиану или параллели;

n – количество уложившихся растворов измерителя по определяемому объекту.

С целью избежания грубых ошибок рекомендуется измерять отрезки дуг меридианов и параллелей, определяемый объект дважды, в прямом и обратном направлении, и тем самым будут усредняться стягиваемые хордой кривые. Расхождение между двумя измерениями не должно превышать $1/50$ числа растворов.

Задание. Измерение длин извилистых линий по методу Н. М. Волкова.

Цель задания: получить навыки в измерении длин извилистых линий с учетом искажений в картографических проекциях.

Выполнение задания.

Для своего варианта (табл. 1.2) выполнить измерения географического объекта (реки) двумя растворами микроизмерителя по двум картам разных масштабов. Для определения цены деления растворов измерителя сделать измерения этими растворами длин отрезков дуг меридианов или параллелей в трапециях в зависимости от направления объекта. Результаты измерений и длины отрезков дуг меридианов и параллелей на эллипсоиде Красовского внести в журнал (табл. 1.3) и выполнить все необходимые вычисления.

Таблица 1.2

Варианты задания

№ варианта	Измеряемая река
<i>Бассейн реки Нёман</i>	
1	Свислочь
2	Зельвянка
3	Щара до впадения Гривды
4	Щара от устья Гривды до впадения в Нёман
5	Мышанка
6	Западная Березина
7	Дитва
8	Гавья
9	Вилия до впадения Нарочи
<i>Бассейн реки Западная Двина</i>	
10	Дисна до впадения Голбицы
11	Дисна от устья Голбицы до впадения в Западную Двину
12	Дрисса
13	Оболь
14	Улла
<i>Бассейн реки Припять</i>	
15	Ясельда
16	Бобрик
17	Цна
18	Лань
19	Случь
20	Птичь до г. п. Глуск
21	Птичь от г. п. Глуск до впадения в Припять
22	Словечна
23	Желонь
<i>Бассейн реки Днепр</i>	
24	Березина до впадения Плиссы
25	Березина от устья Плиссы до устья Ольсы
26	Березина от устья Ольсы до впадения в Днепр
27	Друть
28	Проня
29	Беседь
30	Сож до устья Прони

№ варианта	Измеряемая река
31	Сож от устья Прони до впадения в Днепр
32	Вихра
33	Бася
34	Бобр
35	Гайна
36	Свислочь

Указания к выполнению задания

1. Изучить приборы и формулы для измерения и определения длины извилистых объектов.
2. Величину растворов измерителя установить по поперечному масштабу, при этом d_2 должно быть больше d_1 в 2–4 раза.
3. Неполный раствор измерителя оценивать на глаз с точностью до 0,1 раствора.
4. Результаты измерений внести в журнал и вычислить длину извилистой линии по формулам Н. М. Волкова (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Журнал определения длины извилистой линии по методу Н. М. Волкова

Карта масштаба и величина раствора	Число растворов					
	по меридиану или параллели			по измеряемой линии (река Реста)		
	прямо	обратно	средняя величина	прямо	обратно	средняя величина
1:500 000						
$d_1 = 1$ мм	204,0	203,6	203,80	145,5	146,5	146,00
$d_2 = 3$ мм	73,0	72,0	72,50	49,3	49,1	49,20
1:1 000 000						
$d_1 = 1$ мм	104,6	104,4	104,50	71,2	71,8	71,50
$d_2 = 3$ мм	36,7	36,5	36,60	23,4	23,8	23,60

Вычисления:

$$S'_1 = \frac{111,300 \text{ км}}{203,8} \cdot 146,0 = 79,73 \text{ км};$$

$$S'_2 = \frac{111,300 \text{ км}}{72,5} \cdot 49,2 = 75,53 \text{ км};$$

$$S' = S'_1 + |S'_1 - S'_2| \cdot K_1 = 79,73 + |79,73 - 75,53| \cdot 1,37 = 85,48 \text{ км};$$

$$S''_1 = \frac{111,3 \text{ км}}{104,5} \cdot 71,5 = 76,15 \text{ км};$$

$$S''_2 = \frac{111,3 \text{ км}}{36,6} \cdot 23,6 = 71,77 \text{ км};$$

$$S'' = S''_1 + |S''_1 - S''_2| \cdot K_1 = 76,15 + |76,15 - 71,77| \cdot 1,37 = 82,15 \text{ км};$$

$$S = S' + |S' - S''| \cdot K_2 = 85,48 + |85,48 - 82,15| \cdot 2,41 = 93,51 \text{ км}.$$

Длина реки Реста, измеренная по двум картам двумя растворами, равна 93,51 км.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПАЛЕТКАМИ

В основе определения площадей на бумажном носителе палетками лежит геометрический способ определения площадей элементарных фигур (квадрата, треугольника, трапеции). Чаще всего используют палетки квадратные, параллельные и точечные (рис. 2.1).

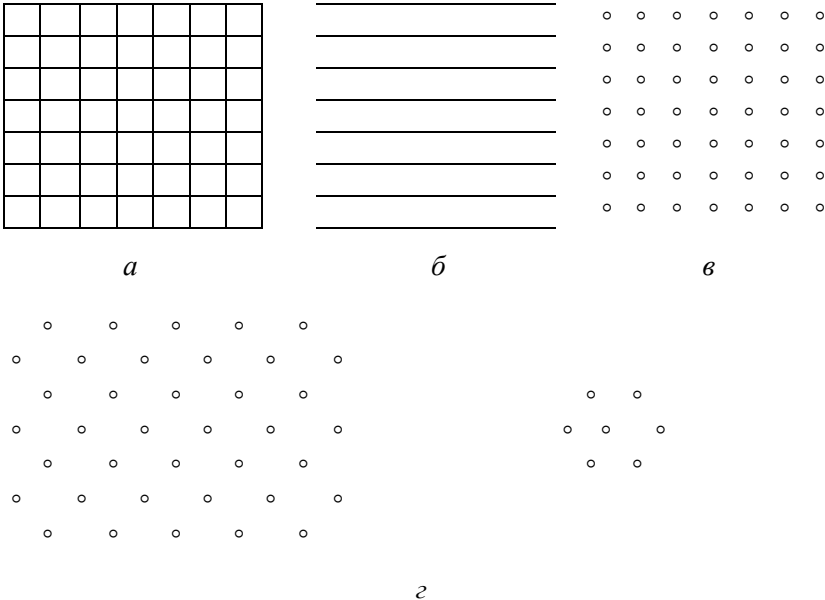


Рис. 2.1. Палетки:
a – квадратная; *б* – параллельная; *в* – точечная квадратная;
г – точечная гексагональная

Квадратная палетка представляет собой сетку квадратов в зависимости от сложности контура со стороной 2–10 мм (рис. 2.1, *a*). Определение площади состоит в подсчете числа квадратов по палетке, которая накладывается на контур. Части неполных квадратов оцениваются на глаз и суммируются. Площадь контура определяется по формуле

$$P = a^2 n \cdot M^2,$$

где a – сторона квадрата в масштабе карты;

n – количество квадратов;

M – масштаб карты в километрах.

Параллельная палетка представляет собой серию параллельных линий, проведенных с одинаковым интервалом 2–5 мм (рис. 2.1, б). Определение площади основано на вычислении площади трапеции. Палетка накладывается на контур так, чтобы крайние точки контура находились точно посередине между линиями. В таком случае прочерченные линии будут представлять собой средние линии трапеции. Сущность определения площади сведется к измерению длин средних линий циркулем-измерителем. Площадь вычисляется по формуле

$$P = \sum l \cdot h \cdot M^2,$$

где $\sum l$ – сумма длин линий;

h – интервалы между линиями;

M – масштаб карты в километрах.

Точечную квадратную палетку можно представить как видоизмененную квадратную палетку, где каждая точка представляет собой центр квадрата (рис. 2.1, в). Количество точек легче подсчитать, чем количество квадратов. Если точка находится на контуре, то она берется с весом 0,5, т. е. две точки, находящиеся на контуре, считаются за одну. Площадь, как и для квадратной палетки, вычисляется по формуле

$$P = a^2 n \cdot M^2,$$

где a – расстояние между точками;

n – количество точек;

M – масштаб карты в километрах.

В точечной гексагональной палетке точки представляют собой вершины равносторонних треугольников (рис. 2.1, г). Геометрическая фигура, которая описывает точку, представляет собой правильный шестиугольник. Гексагональная палетка предпочтительнее то-

ченной квадратной, т. к. образуемые точки лучше вписываются в неправильные контуры, которые представляют собой большинство географических объектов. Площади при применении гексагональной палетки вычисляются по формуле

$$P = \frac{R^2 n \sqrt{3}}{2} = 0,866 R^2 n \cdot M^2,$$

где R – расстояние между точками;

n – количество точек в контуре;

M – масштаб карты в километрах.

Точность вычисления площадей палетками зависит от расстояния между линиями и точками, т. е. от площади элементарных фигур, образуемых ими. Надо помнить, что чем меньше расстояние между точками или линиями, тем утомительнее работа. В целом точность определения площадей с помощью палеток не ниже точности планиметрирования, а для малых контуров – даже выше. При прочих равных условиях большую точность измерения площадей обеспечивают сетки параллельных линий и точечные.

Методика измерения площадей палетками несложная. Палетка накладывается на контур, и работа сводится к подсчету количества квадратов, точек или длин линий. Для избежания грубых ошибок измерения следует проводить дважды, для чего квадратную и квадратную точечную палетку поворачивают на 45° , а параллельную и гексагональную – на 90° .

Задание. Измерение площадей палетками.

Цель задания: изучить способы измерения площадей по картам, приборы и приспособления, применяемые для измерения площадей, и научиться квалифицированно применять их на практике.

Выполнение задания.

Для одного из районов Беларуси измерить его площадь, используя разные виды палеток, по карте «Республика Беларусь» масштаба 1:500 000. Вычислить относительную ошибку определения площади района, используя в качестве теоретической площади данные из табл. 2.1. Для измерения площадей могут быть предложены другие географические объекты и карты.

Таблица 2.1

Районы Республики Беларусь и их площади

№ п/п	Области	Районы	Площадь районов, км ²
1	Брестская	Брестский	1544,11
2		Барановичский	2167,53
3		Березовский	1412,77
4		Ганцевичский	1709,58
5		Дрогичинский	1855,06
6		Жабинковский	684,17
7		Ивановский	1551,41
8		Ивацевичский	2998,11
9		Каменецкий	1687,11
10		Кобринский	2039,79
11		Лунинецкий	2708,51
12		Ляховичский	1352,31
13		Малоритский	1373,63
14		Пинский	3255,89
15		Пружанский	2825,91
16		Столинский	3342,06
17		Витебская	Витебский
18	Бешенковичский		1249,65
19	Браславский		2270,07
20	Верхнедвинский		2140,76
21	Глубокский		1759,58
22	Городокский		2980,13
23	Докшицкий		2267,61
24	Дубровенский		1249,69
25	Лепельский		1822,22
26	Лиозненский		1417,63
27	Миорский		1786,64
28	Оршанский		1707,66
29	Полоцкий		3178,55
30	Поставский		2096,44
31	Россонский		1926,87
32	Сенненский		1966,05
33	Толочинский		1498,56
34	Ушачский	1489,38	

Продолжение табл. 2.1

№ п/п	Области	Районы	Площадь районов, км ²	
35	Витебская	Чашникский	1481,12	
36		Шарковщинский	1189,18	
37		Шумилинский	1695,4	
38	Гомельская	Брагинский	1966,16	
39		Буда-Кошелёвский	1594,5	
40		Ветковский	1558,62	
41		Гомельский	1951,42	
42		Добрушский	1452,72	
43		Ельский	1363,37	
44		Житковичский	2916,27	
45		Жлобинский	2110,77	
46		Калинковичский	2756,24	
47		Кормянский	949,15	
48		Лельчицкий	3221,4	
49		Лоевский	1044,49	
50		Мозырский	1603,47	
51		Наровлянский	1588,66	
52		Октябрьский	1381,19	
53		Петриковский	2835,18	
54		Речицкий	2713,95	
55		Рогачёвский	2066,99	
56		Светлогорский	1899,91	
57		Хойникский	2027,25	
58		Чечерский	1229,88	
59		Гродненская	Берестовицкий	743,58
60			Волковысский	1192,85
61			Вороновский	1418,39
62			Гродненский	2594,05
63			Дятловский	1544,09
64			Зельвенский	869,69
65	Ивьевский		1845,5	
66	Кореличский		1093,66	
67	Лидский		1566,74	
68	Мостовский		1342,04	
69	Новогрудский		1668,01	
70	Ошмянский		1215,92	

Продолжение табл. 2.1

№ п/п	Области	Районы	Площадь районов, км ²
71	Гродненская	Островецкий	1568,77
72		Свислочский	1449,53
73		Слонимский	1470,63
74		Сморгонский	1490,01
75		Щучинский	1911,54
76	Минская	Березинский	1940,34
77		Борисовский	2987,95
78		Вилейский	2453,81
79		Воложинский	1916,78
80		Дзержинский	1189,5
81		Клецкий	974,12
82		Копыльский	1607,66
83		Крупский	2138,73
84		Логойский	2365,02
85		Любанский	1913,75
86		Минский	1902,66
87		Молодечненский	1392,18
88		Мядельский	1964,3
89		Несвижский	862,75
90		Пуховичский	2442,23
91		Слуцкий	1821,06
92		Смолевичский	1392,57
93		Солигорский	2498,91
94		Стародорожский	1370,38
95		Столбцовский	1884,52
96		Узденский	1180,97
97		Червенский	1630,39
98		Могилёвская	Бельничский
99	Бобруйский		1592,67
100	Быховский		2263,16
101	Глусский		1335,44
102	Горецкий		1284,31
103	Дрибинский		766,53
104	Кировский		1295,2
105	Климовичский		1542,78
106	Кличевский		1800,32

№ п/п	Области	Районы	Площадь районов, км ²
107	Могилёвская	Краснопольский	1223,04
108		Кричевский	777,54
109		Круглянский	881,81
110		Костюковичский	1493,84
111		Могилёвский	1895,4
112		Мстиславский	1332,51
113		Осиповичский	1947,21
114		Славгородский	1317,82
115		Хотимский	858,87
116		Чаусский	1471,39
117		Чериковский	1020,2
118	Шкловский	1333,16	

Указания к выполнению задания

1. Изучить методику измерения площадей, изложенную в данном пособии.
2. Выполнить измерения географического объекта, используя одну из палеток.
3. По данным измерений выполнить расчет площади объекта.
4. Вычислить относительную ошибку определения площади района палеткой, используя в качестве теоретической площади данные из табл. 2.1.
5. Сделать выводы о точности определения площади разными палетками.

Пример выполнения задания

Измерить площадь Гродненского района Гродненской области по карте «Республика Беларусь» масштаба 1:2 000 000 палетками.

При измерении площадей палетками использована параллельная (интервал между параллельными линиями 4 мм) и точечная гексагональная (расстояние между точками 4 мм) палетки.

При измерении параллельной палеткой сумма измеренных параллельных линий равна 167,1 мм, а при повороте на 90° – 161,4 мм.

Тогда площадь Гродненского района, измеренная параллельной палеткой, равна:

$$P_1 = \sum l \cdot h \cdot M^2 = 16,71 \text{ см} \cdot 0,4 \text{ см} \cdot 20^2 \text{ км} = 2673,6 \text{ км}^2;$$

$$P_2 = \sum l \cdot h \cdot M^2 = 16,14 \text{ см} \cdot 0,4 \text{ см} \cdot 20^2 \text{ км} = 2582,4 \text{ км}^2;$$

$$P_{\text{пар.}} = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{2673,6 \text{ км}^2 + 2582,4 \text{ км}^2}{2} = 2628 \text{ км}^2.$$

При измерении точечной гексагональной палеткой количество точек в контуре равно 48, а при повороте на 90° – 46. Тогда площадь Гродненского района, измеренная точечной гексагональной палеткой, равна:

$$P_1 = 0,866 \cdot R^2 \cdot n \cdot M^2 = 0,866 \cdot 0,4^2 \text{ см} \cdot 48 \cdot 20^2 \text{ км} = 2660,352 \text{ км}^2;$$

$$P_1 = 0,866 \cdot R^2 \cdot n \cdot M^2 = 0,866 \cdot 0,4^2 \text{ см} \cdot 46 \cdot 20^2 \text{ км} = 2549,504 \text{ км}^2;$$

$$P_{\text{гекс.}} = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{2660,352 \text{ км}^2 + 2549,504 \text{ км}^2}{2} = 2604,928 \text{ км}^2.$$

Определим точность измерения площади параллельной и точечной гексагональной палетками, для чего вычислим абсолютные и относительные ошибки.

Площадь Гродненского района, взятая из табл. 2.1, равна $2594,05 \text{ км}^2$.

При измерении параллельной палеткой:

$$f'_{\text{абс.}} = P_{\text{пар.}} - P_{\text{теор.}} = 2628 \text{ км}^2 - 2594,05 \text{ км}^2 = 33,95 \text{ км}^2;$$

$$f'_{\text{отн.}} = \frac{f'_{\text{абс.}}}{P_{\text{теор.}}} = \frac{1}{P_{\text{теор.}}/f'_{\text{абс.}}} = \frac{1}{2594,05 \text{ км}^2/33,95 \text{ км}^2} \approx \approx \frac{1}{76,41} \approx 0,013 \approx 1,3 \%$$

При измерении точечной гексагональной палеткой:

$$f''_{\text{абс.}} = P_{\text{гекс.}} - P_{\text{теор.}} = 2604,928 \text{ км}^2 - 2594,05 \text{ км}^2 = 10,878 \text{ км}^2;$$

$$f''_{\text{отн.}} = \frac{f''_{\text{абс.}}}{P_{\text{теор.}}} = \frac{1}{P_{\text{теор.}}/f''_{\text{абс.}}} = \frac{1}{2594,05 \text{ км}^2 / 10,878 \text{ км}^2} \approx \\ \approx \frac{1}{238,47} \approx 0,004 \approx 0,4 \text{ \%}.$$

Таким образом, относительные ошибки измерения параллельной и точечной гексагональной палетками площади Гродненского района составили соответственно 1/76,41 и 1/238,47, или 1,3 % и 0,4 %. Из результатов вычислений следует, что измерение площади точечной гексагональной палеткой дает более близкое значение к действительной площади данного района.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ В КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЯХ

Наличие искажений в картографических проекциях, применяемых для географических карт, неизбежно, так как земная поверхность, имеющая форму сфероида, не может быть развернута в плоскость без деформаций: в одних местах возникают разрывы, для устранения которых необходимо равномерное растяжение, в других – перекрытия, требующие равномерного сжатия. Отсюда следует, что на всех географических картах всегда имеются линейные искажения, и масштаб вообще является величиной переменной, меняющейся с изменением места и направления. Наличие искажений длин линий ведет к искажению углов, площадей и форм.

Различают два вида масштаба длин: *главный масштаб*, который подписывается на карте, представляющий степень уменьшения поверхности земного эллипсоида перед последующим изображением его на плоскости и сохраняющийся в зависимости от применяемой картографической проекции в некоторых точках или линиях, называемых точками и линиями нулевых искажений; *частный масштаб*, представляющий отношение бесконечно малого отрезка ds в данной точке и по данному направлению к соответствующему бесконечно малому отрезку dS на эллипсоиде, т. е. $M = \frac{ds}{dS}$. Отно-

шение частного масштаба к главному характеризует **искажение длин** в данной точке. Иногда в качестве показателя линейных искажений берут не значение частного масштаба, а его отличие от главного, который для данной карты принимается за единицу. При этом величину искажения можно выразить в процентах. Например, пусть $M = 1,45$, тогда $M - 1 = 0,45 \cdot 100 \% = 45 \%$. Из всех частных масштабов, рассматриваемых в картографии, наибольшее значение имеют масштабы по меридиану m и параллели n .

Главный масштаб площадей показывает, во сколько раз уменьшены площадные размеры поверхности эллипсоида при ее отображении на карте. *Частный масштаб* представляет отношение бесконечно малой площади на карте к соответствующей бесконечно малой

площади на поверхности эллипсоида, т. е. $p = \frac{dp}{dP}$ и является показателем

искажения площадей. Его часто, как и показатель длин, выражают в относительных величинах. Например, если $p = 1,72$, то относительное искажение будет $p - 1 = (1,72 - 1) \cdot 100\% = 72\%$.

Если взять на эллипсоиде кружок бесконечно малого радиуса, то на карте в общем случае он изобразится бесконечно малым эллипсом, называемым эллипсом искажений. Его размеры и форма вполне характеризуют искажения длин, площадей, углов и форм на карте. В равновеликих проекциях площади бесконечно малых круга и эллипса будут одинаковы. В равнопромежуточных проекциях радиус бесконечно малого круга сохранится или по меридиану, или в направлении параллели, в равноугольных проекциях бесконечно малые кружки изобразятся в виде кружков, разных по размеру.

Осям эллипса на карте соответствуют два главных взаимно-перпендикулярных диаметра, где **наибольший масштаб** a совпадает с направлением большой оси, а **наименьший масштаб** b – с направлением малой оси. При совпадении главных направлений с меридианами и параллелями $a = m$, $b = n$ или $a = n$, а $b = m$. В тех точках, где меридианы и параллели пересекаются под углами, отличными от 90° , они главными направлениями являться не будут.

Искажения углов заключаются в том, что углы между направлениями на карте не равны соответствующим углам на эллипсоиде. Величина искажения угла в данной точке карты зависит от направления сторон угла. В качестве показателя искажения углов на карте принято **наибольшее искажение** ω . В любой точке карты всегда имеется угол, изображающийся без искажения и равный 90° , который соответствует главным направлениям эллипса (осям) искажений. Для характеристики искажения углов на карте между меридианом и параллелью, которые на поверхности эллипсоида встречаются под прямым углом, используют его отклонение от 90° , т. е. $\varepsilon = \theta - 90^\circ$, где θ – угол между касательными к меридиану и параллели в данной точке.

Искажение длин на карте вызывает также **искажение форм** K , представляющее отношение большой полуоси эллипсоида к малой,

или, что одно и то же, отношение наибольшего масштаба к наименьшему, т. е. $K = \frac{a}{b}$.

Искажения на картах могут быть определены посредством:

- а) измерений по карте с последующими вычислениями;
- б) макетов карт с изоколами;
- в) номограмм;
- г) таблиц.

Отметим, что искажения возрастают с увеличением размеров картографируемой территории и по мере удаления от точек и линий нулевых искажений.

Формулы для определения размеров искажений

Значения **частных масштабов по меридиану m и параллели n** , выраженных в единицах главного масштаба, могут быть получены по формулам:

$$m = \frac{l_1 \cdot M_{\text{гл}}}{L_1};$$

$$n = \frac{l_2 \cdot M_{\text{гл}}}{L_2},$$

где l_1 и l_2 – длины дуг меридиана и параллели, измеренные на карте;
 L_1 и L_2 – длины соответствующих дуг меридиана и параллели на эллипсоиде;

$M_{\text{гл}}$ – знаменатель главного масштаба.

Значения l_1 и l_2 обычно измеряют в мм, тогда для L_1 и L_2 , выраженных в метрах, целесообразно вводить в программу $M_{\text{гл}}^{-3}$. Значения L_1 и L_2 могут быть получены по картографической табл. 1.1.

В случае отсутствия таблиц значения L_1 и L_2 могут быть вычислены по формулам математической картографии, которые, учитывая точность измерения по картам, преобразованы в более удобный для вычислений вид:

$$L_1 = 111135 \cdot \Delta B^\circ, \text{ м};$$

$$L_2 = 111425 \cdot \cos B^\circ T \cdot \Delta L, \text{ м},$$

где ΔB° – разность широт, между которыми вычисляется L_1 и измеряется l_1 на карте;

$B^\circ T$ – широта, на которой находится определяемая точка;

ΔL° – разность долгот, между которыми измеряется l_2 .

Искажение площадей в единицах главного масштаба определяется по формуле

$$p = m \cdot n \cdot \sin \theta = m \cdot n \cdot \cos \varepsilon,$$

где θ – угол между касательными к меридиану и параллели в определяемой точке;

$\varepsilon = \theta - 90^\circ$ – величина искажения на карте угла, образованного меридианом и параллелью.

Максимальное искажение углов вычисляют по формулам:

$$a + b = \sqrt{m^2 + n^2 + 2mn \cdot \cos \varepsilon} = \sqrt{m^2 + n^2 + 2p};$$

$$a - b = \sqrt{m^2 + n^2 - 2mn \cdot \cos \varepsilon} = \sqrt{m^2 + n^2 - 2p},$$

где a и b – наибольший и наименьший масштабы.

Отсюда значения **наибольшего** a и **наименьшего** b масштабов будут равны:

$$a = \frac{(a+b) + (a-b)}{2};$$

$$b = \frac{(a+b) - (a-b)}{2}.$$

Формула для **наибольшего искажения** ω имеет следующий вид:

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b};$$

$$\omega = 2 \cdot \arcsin \frac{a-b}{a+b}.$$

Искажение форм можно вычислить по формуле

$$K = \frac{a}{b}.$$

Результаты всех вычислений округляют до 0,01.

Измерения на картах

Исходными данными для определения размеров искажений (m , n , a , b , ω и K) являются измеренные на карте длины дуг меридиана l_1 и параллели l_2 (рис. 3.1) и угол θ , образованный в данной точке касательными к меридиану и параллели.

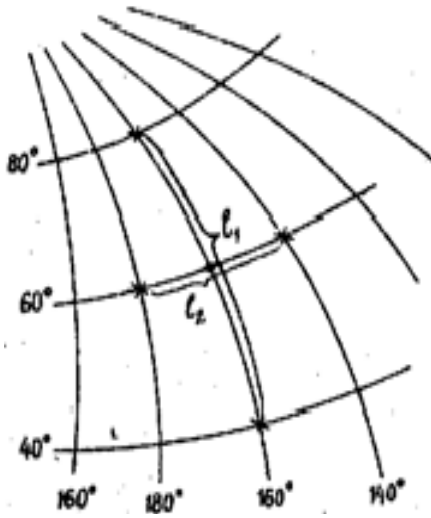


Рис. 3.1. Измерение дуг меридианов и параллелей

Длины дуг, изображаемые кривыми линиями, лучше измерять с помощью металлической линейки: ее можно изгибать и совмещать с кривыми линиями меридианов и параллелей. Например, на карте масштаба 1:50 000 000 («Атлас мира» издания 1967 года) выполнить измерения длин дуг меридиана, параллели и угла θ , образованного касательными к меридиану и параллели в точке с координатами 60° с. ш. и 160° з. д.

Дуга l_1 меридиана 160° з. д., заключенная между параллелями 40° с. ш. и 80° с. ш., равна на карте 157 мм. Дуга l_2 параллели 60° с. ш., заключенная между меридианами 180° и 140° з. д., равна 53,5 мм. Как видно из рис. 3.1, измерения выполнялись до ближайших узловых точек, т. е. пересечения ближайших меридианов и параллелей.

Для измерения угла θ в данной точке проводят касательные к меридиану и параллели (рис. 3.2).

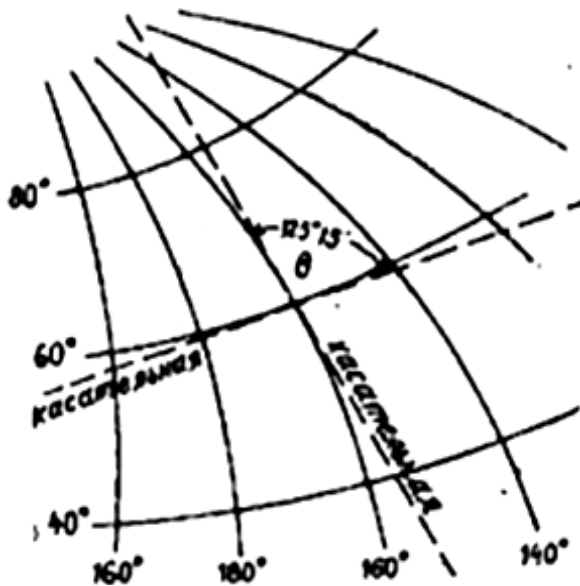


Рис. 3.2. Измерение угла между касательными к меридиану и параллели

Угол θ , измеренный между касательными к меридиану и параллели геодезическим транспортиром, равен $125^\circ 15'$.

Тогда искажение угла ε между меридианом и параллелью в данной точке, т. е. отклонение его от прямого, вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \theta - 90^\circ = 125^\circ 15' - 90^\circ = 35^\circ 15', \text{ или } 35,25^\circ.$$

Задание. Определение размеров искажений.

Цель задания: научиться определять размеры искажений и характер их распределения в картографических проекциях, учитывать величину искажений при различных измерениях на карте и в других картографических работах.

Выполнение задания.

Для трех точек, взятых в разных частях карты для своего варианта, определить следующие величины и проследить характер изменения искажений в картографической проекции:

- а) масштабы по меридиану m ;
- б) масштабы по параллели n ;
- в) масштабы площади p ;
- г) наибольшее искажение углов ω ;
- д) наибольший масштаб a ;
- е) наименьший масштаб b ;
- ж) искажение форм K .

Указания к выполнению задания

Чтобы определить величины искажений для точки с данными координатами B и L , необходимо:

1. Измерить длины дуг меридиана l_1 и параллели l_2 данной точки между ближайшими от нее узловыми точками, как указано на рис. 3.1, с точностью до 0,1 мм и записать в соответствующую строку журнала (табл. 3.1).

2. По табл. 1.1 определить длины отрезков меридиана L_1 и параллели L_2 на эллипсоиде между соответствующими узловыми точками и занести их в журнал.

3. Провести касательные к меридиану и параллели в данной точке и транспортиром измерить угол θ , образованный ими, с точностью до $0,1^\circ$.

Таблица 3.1

Журнал определения размеров искажений

Название карты и главный масштаб		Политическая карта мира, 1:50 000 000		
Координаты точек		1	2	3
		60° с. ш. 160° з. д.		
l_1 , мм	– длина дуги меридиана на карте	157,0		
l_2 , мм	– длина дуги параллели на карте	53,5		
L_1 , м	– длина дуги меридиана на сфероиде	4 455 686		
L_2 , м	– длина дуги параллели на сфероиде	2 232 040		
$m = \frac{l_1 \cdot M_{\text{гл}}}{L_1}$	– искажение длины дуги меридиана	1,7618		
$n = \frac{l_2 \cdot M_{\text{гл}}}{L_2}$	– искажение длины дуги параллели	1,1985		
θ , °	– угол, образованный касательными к меридиану и параллели	125,25		
$\varepsilon = \theta - 90^\circ$	– искажение угла между меридианом и параллелью	35,25		
$\cos \varepsilon$		0,816641555		
$p = m \cdot n \cdot \cos \varepsilon$	– искажение площадей	1,7244		
$m^2 + n^2$		4,540341490		
$m^2 + n^2 + 2 \cdot p$		7,989141490		
$m^2 + n^2 - 2 \cdot p$		1,091541490		
$a + b = \sqrt{m^2 + n^2 + 2 \cdot p}$		2,826506941		
$a - b = \sqrt{m^2 + n^2 - 2 \cdot p}$		1,044768630		

Название карты и главный масштаб		Политическая карта мира, 1:50 000 000		
Координаты точек		1	2	3
		60° с. ш. 160° з. д.		
$a = \frac{(a+b) + (a-b)}{2}$	– наибольший масштаб	1,9356		
$b = \frac{(a+b) - (a-b)}{2}$	– наименьший масштаб	0,8909		
$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b}$		0,369632430		
$\omega = 2 \cdot \arcsin \frac{a-b}{a+b}$	– наибольшее искажение углов	43,3859		
$K = \frac{a}{b}$	– искажение форм	2,1726		

4. Вычислить искажение угла ϵ , образованного меридианом и параллелью, как разность между измеренным углом θ и 90° и записать ее в журнал.

5. Вычислить значения m , n , p , a , b , ω и K , округляя их при записи в журнал до 0,001.

6. Сделать оценку характера распределения искажений в определяемой проекции.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАТЧАЙШЕГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПУНКТАМИ ПО ИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИМ КООРДИНАТАМ

Понятие об ортодромии и локсодромии. Формулы для вычисления кратчайшего расстояния между пунктами

Известно, что на мелкомасштабных географических картах из-за перехода от поверхности земного эллипсоида к плоскости неизбежны искажения длин линий, исключая отдельные направления, совпадающие с линией сечения поверхности эллипсоида и поверхности вспомогательных фигур (плоскости, конуса, цилиндра), используемых для проектирования. Непосредственное измерение расстояний по прямой на мелкомасштабных картах может привести к большим ошибкам, т. к. кратчайшее расстояние будет иметь вид кривой линии.

Кратчайшая линия на поверхности земного эллипсоида, представляющая собой дугу большого круга, называется *ортодромией* (рис. 4.1).

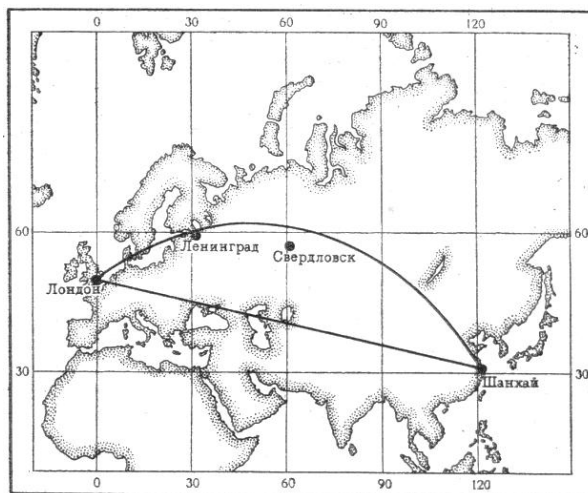


Рис. 4.1. Ортодромия

Представить ее можно следующим образом. Если взять на глобусе две точки, удаленные друг от друга, а затем между ними натянуть нитку, то она ляжет по ортодромии. Нетрудно при этом заметить, что ортодромия будет пересекать меридианы под разными углами. Следовательно, азимуты ортодромии в разных ее точках будут различны. Сама же ортодромия на всех картах будет изображаться кривой, исключая отдельные направления (прямолинейные меридианы и экватор).

Линия на поверхности земного эллипсоида, пересекающая все меридианы под одним и тем же углом, называется *локсодромией* (рис. 4.2), и в общем случае она изображается спиралевидной кривой.

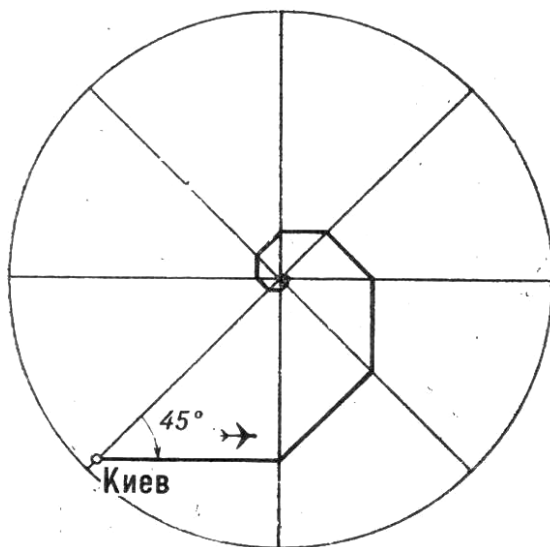


Рис. 4.2. Локсодромия

Эта линия имеет большое значение для мореплавания, т. к. движение судна на каждом участке своего пути в открытом море обычно контролируется при помощи компаса. Имеется нормальная цилиндрическая равноугольная проекция Меркатора, которая до сих пор используется для навигационных карт. Локсодромия на этих картах изображается прямой линией.

Кратчайшее расстояние, т. е. расстояние по ортодромии, можно вычислять по географическим координатам пунктов, используя следующие формулы:

$$\cos B^\circ = \sin B_1 \cdot \sin B_2 + \cos B_1 \cdot \cos B_2 \cdot \cos(L_2 - L_1);$$

$$S_{\text{км}} = \frac{S^\circ \cdot R}{\rho^\circ},$$

где B_1 и B_2 – географическая широта начального и конечного пунктов;
 L_1 и L_2 – географическая долгота начального и конечного пунктов;
 $R = 6371,12$ км – средний радиус кривизны земного эллипсоида;
 $\rho = 57,3^\circ$ – радиан.

Из приведенных формул видно, что для вычисления кратчайшего расстояния необходимо определить географические координаты начального и конечного пунктов.

Определение географических координат пунктов

Для определения географических координат пунктов лучше использовать географические атласы, в которых помещены карты отдельных государств, составленные, как правило, в нормальных конических и цилиндрических проекциях, равнопромежуточных по меридианам. Использование неравнопромежуточных по меридианам проекций может привести к значительным ошибкам в определении широты. В других же проекциях меридианы и параллели, а часто и те, и другие вместе, изображаются кривыми линиями, что усложняет графические работы.

Для определения географических координат пункта следует провести через него меридиан и параллель.

Положение меридиана пункта A можно найти следующим образом (рис. 4.3).

Установив ножку кругового циркуля, или измерителя, в пункт A , найти точки касания к северной и южной параллели трапеции, в которой находится этот пункт. Отрезки a_1 и a_2 , соединяющие точки касания и данный пункт A , при правильном геометрическом построении должны находиться на одной прямой, которая и будет меридианом этого пункта.

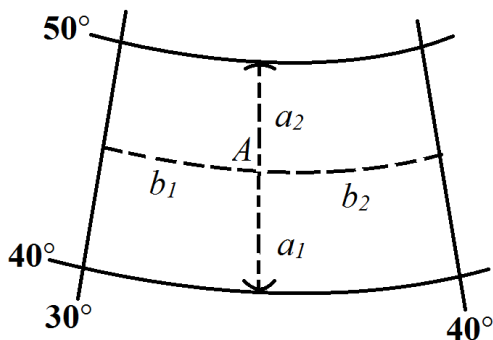


Рис. 4.3. Построение меридиана и параллели пункта A

Для построения параллели пункта A на ближайших от него меридианах измерителем откладывают отрезки, равные a_1 или a_2 , и плавной кривой через эти три точки проводят параллель. Положение ее в трапеции можно уточнить проверкой расстояния в других точках до северной или южной параллели, которое должно быть равно отрезку a_1 или a_2 .

Отрезки дуг параллели b_1 и b_2 при измерении на практике часто заменяют хордами ввиду небольшой кривизны параллелей в пределах трапеции. При измерении хорд с помощью поперечного масштаба на картах 1:3 000 000–1:10 000 000 относительная ошибка от замены дуги хордой не превысит 1 %.

Для вычисления географических координат пункта A определяют частоту градусной сетки ΔB и ΔL и с помощью измерителя и поперечного масштаба измеряют отрезки a_1 , a_2 , b_1 и b_2 (рис. 4.1). Вычисления координат выполняют по следующим формулам:

$$\Delta B = B_C - B_{Ю};$$

$$\Delta L = L_B - L_3;$$

$$B_A = B_{Ю} + \frac{a_1 \cdot \Delta B}{a_1 + a_2};$$

$$L_A = L_3 + \frac{b_1 \cdot \Delta L}{b_1 + b_2},$$

где B_C и $B_{Ю}$ – широта северной и южной параллелей трапеции;

$L_З$ и $L_В$ – долгота западного и восточного меридианов трапеции.

Результаты вычисления координат пункта A можно проконтролировать по формулам:

$$B_A = B_C - \frac{a_2 \cdot \Delta B}{a_1 + a_2};$$

$$L_A = L_В - \frac{b_2 \cdot \Delta L}{b_1 + b_2}.$$

Задание. Вычислить кратчайшее расстояние между пунктами по их географическим координатам.

Цель задания: получить знания об ортодромии и локодромии, научиться определять географические координаты пунктов и вычислять кратчайшие расстояния между ними.

Выполнение задания.

1. Для двух пунктов, указанных в вариантах (табл. 4.1), пользуясь картами из атласов, определить географические координаты начального (B_1, L_1) и конечного пункта (B_2, L_2).

Таблица 4.1

Варианты заданий

№ п/п	Название пункта		Расстояние из интернета, км
	начального	конечного	
1	Минск	Монреаль	6 703,8
2	Киев	Мельбурн	14 795,5
3	Харьков	Шанхай	7 093,5
4	Рига	Рио-де-Жанейро	10 864,4
5	Вильнюс	Каракас	9 207,9
6	Москва	Манила	8 266,6
7	Одесса	Аддис-Абеба	4 244,2
8	Омск	Сидней	12 343,4
9	Новосибирск	Джакарта	7 162,5
10	Ташкент	Ханой	4 107,4

№ п/п	Название пункта		Расстояние из интернета, км
	начального	конечного	
11	Тбилиси	Пекин	5 851,9
12	Ереван	Харбин	6 407,9
13	Баку	Сингапур	6 946,7
14	Санкт-Петербург	Бомбей	5 657,7
15	Владивосток	Мурманск	5 931,6
16	Стокгольм	Детройт	6 631
17	Нижний Новгород	Лос-Анджелес	9 839,2
18	Екатеринбург	Мозамбик	9 578,7
19	Минск	Филадельфия	7 258,4
20	Варшава	Монтевидео	12 236,7
21	Берлин	Сан-Франциско	9 115,3
22	Прага	Вашингтон	6 906,6
23	Будапешт	Мехико	10 373,1
24	Мадрид	Киншаса	5 356,2
25	Ростов-на-Дону	Сеул	6 875
26	Минск	Токио	8 134,4
27	Лондон	Сантьяго	11 685,8
28	Нью-Йорк	Кейптаун	12 578,8
29	Рим	Богота	9 384,6

2. Вычислить кратчайшее расстояние между указанными пунктами.

Указания к выполнению задания

1. Измерение отрезков дуг меридианов и параллелей с помощью поперечного масштаба выполнять с точностью до 0,1 мм.

2. Значения географических координат вычислять с точностью до 0,01°.

3. Координаты широт в южном полушарии и долгот в западном вводить в калькулятор при решении со знаком минус.

4. Вычисленное кратчайшее расстояние округлить до 0,1 км.

5. Измерить расстояние между начальным и конечным пунктами с помощью поперечного масштаба по карте мира или частей света.

6. Сравнить вычисленное кратчайшее расстояние между пунктами с расстоянием, измеренным по карте, и определить относительную погрешность измерения по карте.

Пример выполнения задания

Определить кратчайшее расстояние между городами Минск и Чикаго и вычислить относительную погрешность измерения этого расстояния по прямой по карте мира, используя «Географический атлас учителя» издания 2016 года (далее – Атлас). Все результаты измерений и вычислений целесообразно выполнять в ведомости (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Ведомость определения географических координат пунктов
и вычисления кратчайшего расстояния между ними

Значения определяемых величин	Названия пунктов	
	начальный	конечный
a_1 , мм	24,4	
a_2 , мм	0,1	
$a_1 + a_2$, мм	24,5	
b_1 , мм	0,5	
b_2 , мм	12,9	
$b_1 + b_2$, мм	13,4	
$\Delta B = B_c - B_{ю}$	10	
$\Delta L = L_B - L_3$	10	
$B_{1,2} = B_{ю} + a_1 \cdot \Delta B / (a_1 + a_2)$	59,96	
$L_{1,2} = L_3 + b_1 \cdot \Delta L / (b_1 + b_2)$	30,37	
$\sin B$	0,865668994	
$\cos B$	0,500616812	
$L_2 - L_1$	42,46	
$\cos (L_2 - L_1)$	0,737746463	
$\sin B_1 \cdot \sin B_2$	0,284001619	
$\cos B_1 \cdot \cos B_2$	0,472909061	
$\cos S^\circ = \sin B_1 \cdot \sin B_2 + \cos B_1 \times$ $\times \cos B_2 \cdot \cos (L_2 - L_1)$	0,632888607	
$S_{\text{выч}} = S^\circ \cdot R / \rho$, км	5641,325249	
$S_{\text{изм}}$, км	5657,7	
$f_s = 1 / (S_{\text{выч}} / (S_{\text{изм}} - S_{\text{выч}}))$	-0,120064917	

1. Для определения географических координат Минска и Чикаго используются карты Атласа.

2. В трапециях с городами Минск и Чикаго провести меридианы и параллели через эти города (рис. 4.2).

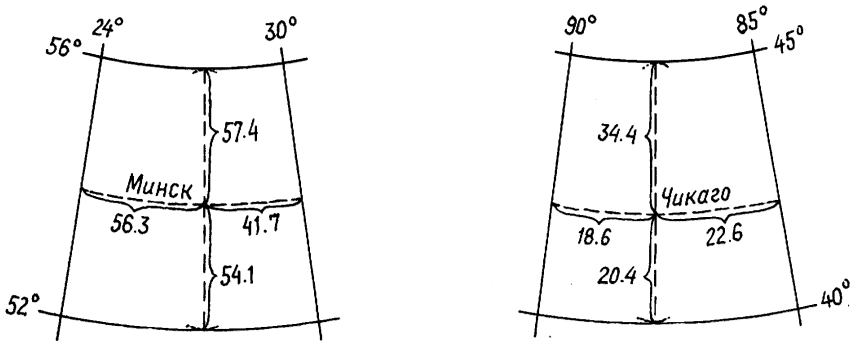


Рис. 4.2. Определение географических координат г. Минск и г. Чикаго

3. Измерить с помощью поперечного масштаба отрезки a_1 и a_2 , b_1 и b_2 и внести их в ведомость (табл. 4.2).

Минск – $a_1 = 54,1$ мм; $a_2 = 57,4$ мм; $b_1 = 56,3$ мм; $b_2 = 41,7$ мм.

Чикаго – $a_1 = 20,4$ мм; $a_2 = 34,4$ мм; $b_1 = 18,6$ мм; $b_2 = 22,6$ мм.

4. Вычислить частоту градусной сетки ΔB и ΔL для каждой трапеции как разность соответственно значений параллелей и меридианов, образующих эти трапеции.

Минск – $\Delta B = 56^\circ - 52^\circ = 4^\circ$; $\Delta L = 30^\circ - 24^\circ = 6^\circ$.

Чикаго – $\Delta B = 45^\circ - 40^\circ = 5^\circ$; $\Delta L = 85^\circ - 90^\circ = -5^\circ$.

5. Вычислить координаты B_1 и L_1 для Минска, B_2 и L_2 для Чикаго.
Минск:

$$B_1 = B_{Ю} + \frac{a_1 \cdot \Delta B}{a_1 + a_2} = 52^\circ + \frac{54,1 \cdot 4^\circ}{54,1 + 57,4} = 52^\circ + 1,94^\circ = 53,94^\circ;$$

$$L_1 = L_3 + \frac{b_1 \cdot \Delta L}{b_1 + b_2} = 24^\circ + \frac{56,3 \cdot 6^\circ}{56,3 + 41,7} = 24^\circ + 3,45^\circ = 27,45^\circ.$$

Чикаго:

$$B_2 = B_{Ю} + \frac{a_1 \cdot \Delta B}{a_1 + a_2} = 40^\circ + \frac{20,4 \cdot 5^\circ}{20,4 + 34,4} = 40^\circ + 1,86^\circ = 41,86^\circ;$$

$$L_2 = L_3 + \frac{b_1 \cdot \Delta L}{b_1 + b_2} = 90^\circ + \frac{18,6 \cdot (-5^\circ)}{18,6 + 22,6} = 90^\circ - 2,26^\circ = 87,74^\circ.$$

6. Вычислить кратчайшее расстояние по географическим координатам для Минска и Чикаго.

$$S_{\text{выч.}} = 7\,721,3 \text{ км.}$$

7. Измерить по карте мира на стр. 48–49 Атласа расстояние по прямой между указанными городами.

$$S_{\text{изм.}} = 10\,230 \text{ км.}$$

8. Определить относительную погрешность измерения расстояния по карте.

$$f_S = \frac{S_{\text{изм.}} - S_{\text{выч.}}}{S_{\text{выч.}}} = \frac{\Delta S}{S_{\text{выч.}}} = \frac{1}{S_{\text{выч.}} : \Delta S} = \frac{1}{7721,3 : 2508,7} \approx \frac{1}{3}.$$

Лабораторная работа № 5

РАСПОЗНАВАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Понятие о картографических проекциях и их классификация

При переходе от физической поверхности Земли к ее отображению на плоскости (карте) выполняют две операции:

- 1) проектирование физической поверхности отвесными линиями на поверхность эллипсоида;
- 2) изображение поверхности эллипсоида на плоскости посредством картографической проекции (рис. 5.1).

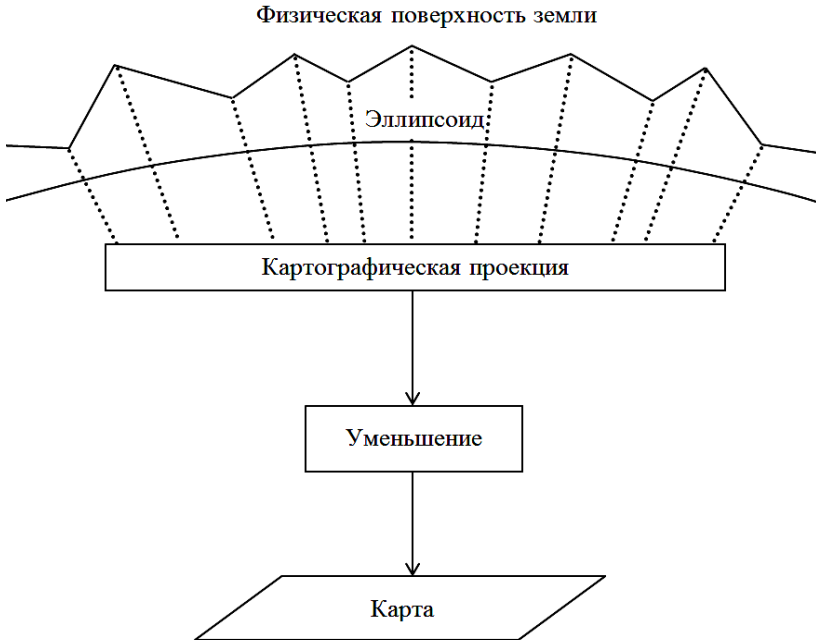


Рис. 5.1. Переход от физической поверхности Земли к плоскости (карте)

Картографической проекцией называется математически определенный способ отображения поверхности земного эллипсоида на

плоскости. Он устанавливает функциональную зависимость между географическими координатами точек поверхности земного эллипсоида и прямоугольными координатами этих точек на плоскости:

$$X = f_1(B, L) \quad \text{и} \quad Y = f_2(B, L).$$

Картографические проекции классифицируются по характеру искажений, по виду вспомогательной поверхности, по виду нормальной сетки (меридианов и параллелей), по ориентировке вспомогательной поверхности относительно полярной оси и др.

По характеру искажений выделяют следующие проекции:

1) *равновеликие*, в которых отсутствуют искажения площадей, т. е. сохраняются соотношения площадей участков на карте и эллипсоиде, однако сильно искажаются формы бесконечно малых фигур и масштабы длин по разным направлениям. Бесконечно малые кружки в разных точках таких проекций изображаются равноплощадными эллипсами, имеющими разную вытянутость (рис. 5.2, а);

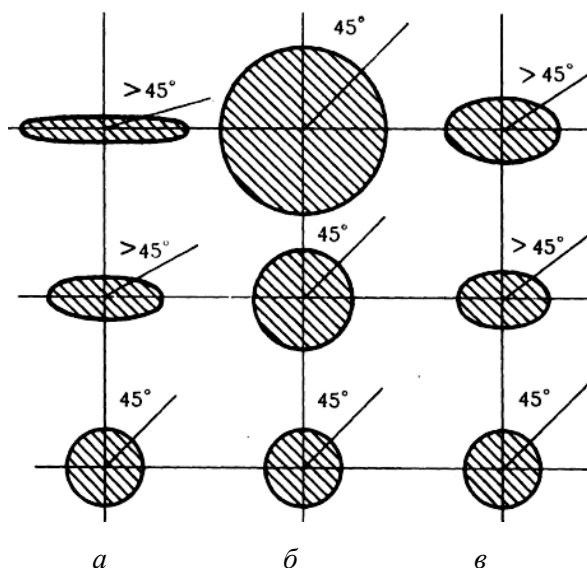


Рис. 5.2. Вид эллипса искажений в проекциях
(на рисунке показано искажение угла 45°):
а – равновеликой; б – равноугольной; в – равнопромежуточной

2) *равноугольные*, которые передают величину углов без искажения и, следовательно, не искажают формы бесконечно малых фигур, а масштаб длин в любой точке остается одинаковым по всем направлениям. В таких проекциях эллипсы искажений изображаются окружностями разного радиуса (рис. 5.2, б);

3) *произвольные*, в которых имеются в разных соотношениях искажения и углов, и площадей. Среди них выделяются равнопромежуточные, в которых масштаб длин по одному из главных направлений (меридианам или параллелям) остается постоянным, т. е. сохраняется длина одной из осей эллипса (рис. 5.2, в).

По виду вспомогательной поверхности для проектирования выделяют следующие проекции:

1) *азимутальные*, в которых поверхность земного эллипсоида переносится на касательную или секущую его плоскость (рис. 5.3);

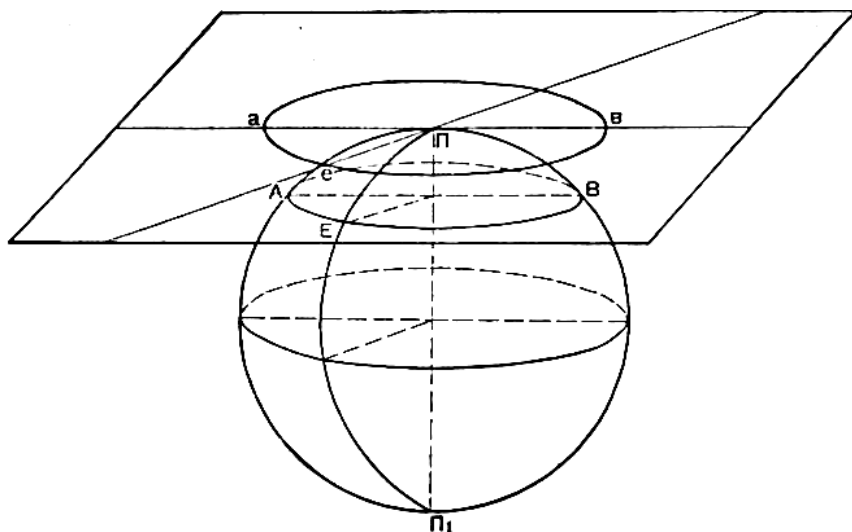


Рис. 5.3. Азимутальная проекция

2) *цилиндрические*, в которых вспомогательной поверхностью служит боковая поверхность цилиндра, касательная к эллипсоиду или секущая его (рис. 5.4);

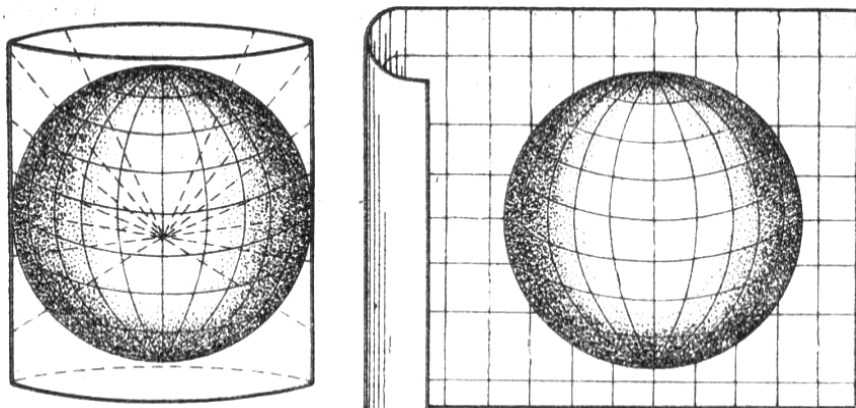


Рис. 5.4. Цилиндрическая проекция

3) *конические*, в которых поверхность эллипсоида переносится на боковую поверхность конуса, касательную к эллипсоиду или секущую его (рис. 5.5).

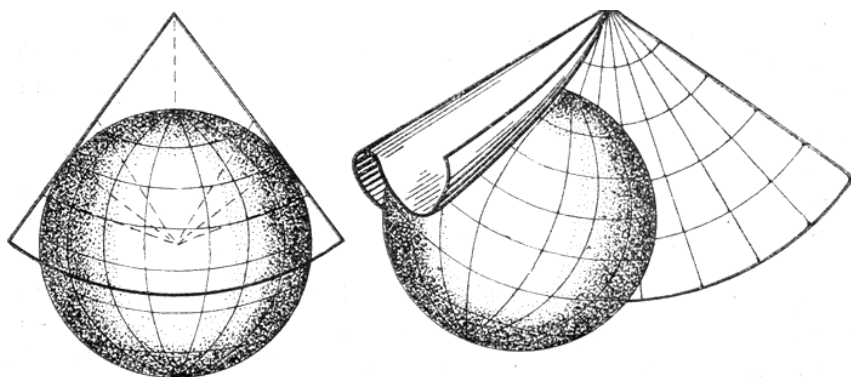


Рис. 5.5. Коническая проекция

На рис. 5.6 показаны различные положения плоскости, касательной к поверхности земного эллипсоида.

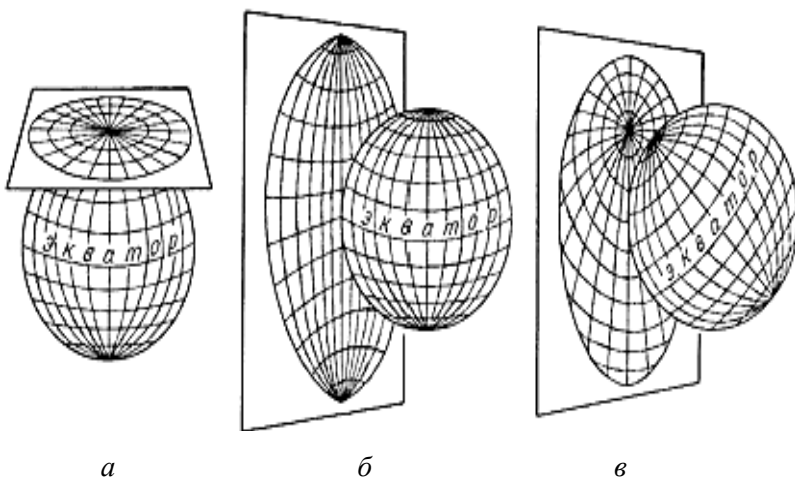


Рис. 5.6. Виды проекций по ориентировке вспомогательной поверхности относительно полярной оси:
а – нормальная; *б* – поперечная; *в* – косая

По ориентировке вспомогательной поверхности относительно полярной оси проекции подразделяются на:

а) *нормальные*, в которых ось вспомогательной фигуры совпадает с осью земного эллипсоида; в азимутальных проекциях плоскость перпендикулярна к нормали, совпадающей с полярной осью (рис. 5.6, *а*);

б) *поперечные*, в которых ось вспомогательной поверхности лежит в плоскости земного экватора; в азимутальных проекциях нормаль вспомогательной плоскости лежит в экваториальной плоскости (рис. 5.6, *б*);

в) *косые*, в которых ось вспомогательной поверхности фигуры совпадает с нормалью, находящейся между земной осью и плоскостью экватора; в азимутальных проекциях плоскость к этой нормали перпендикулярна (рис. 5.6, *в*).

Классификация проекций по виду нормальной сетки (меридианов и параллелей) является одной из основных. По этому признаку выделяется восемь классов проекций:

1) *азимутальные*. В нормальных азимутальных проекциях меридианы изображаются прямыми, сходящимися в одну точку (полюс)

под углами, равными разности их долгот, а параллели – концентрическими окружностями, проведенными с общего центра (полюса). В косых и большинстве поперечных азимутальных проекциях меридианы, исключая средний, и параллели представляют кривые линии. Экватор в поперечных проекциях – прямая линия;

2) *конические*. В нормальных конических проекциях меридианы изображаются прямыми, сходящимися в одной точке под углами, пропорциональными соответствующим разностям долгот, а параллели – дугами концентрических окружностей с центром в точке схода меридианов. В косых и поперечных – параллели и меридианы, исключая средний, – кривые линии;

3) *цилиндрические*. В нормальных цилиндрических проекциях меридианы изображаются равноотстоящими параллельными прямыми, а параллели – перпендикулярными к ним прямыми, в общем случае не равноотстоящими. В косых и поперечных проекциях параллели и меридианы, исключая средний, имеют вид кривых линий;

4) *поликонические*. При построении этих проекций сеть меридианов и параллелей переносится на несколько конусов, каждый из которых разворачивается в плоскость. Параллели, исключая экватор, изображаются дугами эксцентрических окружностей, центры которых лежат на продолжении среднего меридиана, имеющего вид прямой линии. Остальные меридианы – кривые, симметричные к среднему меридиану;

5) *псевдоазимутальные*, параллели которых представляют концентрические окружности, а меридианы – кривые, сходящиеся в точке полюса и симметричные относительно одного или двух прямолинейных меридианов;

6) *псевдоконические*, в которых параллели представляют собой дуги концентрических окружностей, а меридианы – кривые линии, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана, который может не изображаться;

7) *псевдоцилиндрические*, в которых параллели изображаются параллельными прямыми, а меридианы – кривыми, симметричными относительно среднего прямолинейного меридиана, который может не изображаться;

8) *круговые*, меридианы которых, исключая средний, и параллели, исключая экватор, изображаются дугами эксцентрических окружностей. Средний меридиан и экватор – прямые.

Выбор и распознавание картографических проекций

На выбор картографических проекций для мелкомасштабных карт влияют следующие факторы: назначение карты, географическое положение картографируемой территории, ее конфигурация и размеры, а также специфические требования к проекции, такие как общий вид меридианов и параллелей, изображение полюса и компоновка карты.

Назначение карты, прежде всего, определяет предпочтительный характер искажений. Так, для карт, предназначенных для измерения площадей, выбирают равновеликие проекции, для измерения углов, азимутов – равноугольные.

Географические факторы, т. е. форма, размеры и положение картографируемой территории, позволяют найти в отобранной группе проекций такую, которая имела бы наименьшие искажения, их определенное распределение по территории или другие ценные для карты свойства (показ полюса, шарообразности, зональности климата и т. п.).

С учетом вышеприведенных факторов на практике при картосоставлении применяется ограниченное количество проекций в зависимости от величины изображаемой территории (карты мира, полушарий, материков, государств и их частей), что позволило составить табл. 5.1, где дана их классификация по виду нормальной сетки, характеру изображения меридианов и параллелей и по изображаемой территории, что в значительной мере облегчит распознавание проекции.

Таблица 5.1

Классификация картографических проекций
и их использование

Классификация проекций по		Изображение (вид)		Изображаемая территория на картах
ориентировке вспомогательной поверхности	виду меридианов и параллелей	меридианов	параллелей	
цилиндрические	нормальные	прямые	прямые	Карты мира. Экваториальные государства
	поперечные	прямые	кривые	Топографические карты, отдельные государства
	косые	кривые	кривые	Карты СНГ (СССР) для начальной школы

Окончание табл. 5.1

Классификация проекций по		Изображение (вид)		Изображаемая территория на картах
ориентировке вспомогательной поверхности	виду меридианов и параллелей	меридианов	параллелей	
конические	нормальные	прямые	дуги концентрических окружностей	Карты СНГ (СССР) и других государств, Западная Европа, Австралия
	поперечные	кривые	кривые	Не используются
	косые	кривые	кривые	Отдельные государства, мало используются
азимутальные	нормальные	прямые	концентрические окружности	Карты Арктики и Антарктиды
	поперечные	кривые	кривые	Западное и Восточное полушария, Африка, экваториальные государства
	косые	кривые	кривые	Карты материков, материковое и океаническое полушария, отдельные государства
поликонические		кривые	дуги эксцентрических окружностей	Карты мира, СССР (для карт вузов 1953–1959 гг.), океанов
псевдоцилиндрические		кривые	прямые	Карты мира, океанов, Африка
псевдоконические		кривые	дуги концентрических окружностей	Карты Евразии и других материков
псевдоазимутальные (косые и поперечные)	на основе косых и поперечных азимутальных проекций	кривые	кривые	Карты океанов
круговые		дуги эксцентрических окружностей	дуги эксцентрических окружностей	Карты мира, Западное и Восточное полушария

Распознать картографическую проекцию – это значит установить по виду меридианов и параллелей ее название, принадлежность к определенному классу по способу построения и по характеру искажений, а также авторство.

Для этого вначале следует ознакомиться с картографической сеткой и по изображению меридианов и параллелей с помощью табл. 5.1 определить, к какому классу проекций можно отнести данную сетку – к коническим, цилиндрическим, азимутальным, псевдоконическим и т. д. Так, если меридианы и параллели будут взаимно перпендикулярными прямыми, то карта составлена в нормальной цилиндрической проекции, а если параллели прямые и меридианы кривые, симметричные относительно прямолинейного среднего меридиана, то проекция будет псевдоцилиндрической. Если меридианы представляют собой сходящиеся прямые линии, а параллели – дуги концентрических окружностей, то это будет нормальная коническая проекция, а в случае прямых меридианов, сходящихся в полюсе, и параллелей, изображаемых концентрическими окружностями, будет нормальная азимутальная проекция.

Более сложным является определение косых азимутальных, цилиндрических, а также поликонических проекций, у которых меридианы и параллели изображаются кривыми. Чтобы установить, является ли параллель или меридиан дугой окружности или кривой, на кальке (пластике) отмечают на этой линии три точки. Затем, передвигая кальку по определяемой линии в разных ее частях, прослеживают положения этих точек. Если все точки совпадают с линией, то она является дугой окружности, в других случаях – кривой. Концентричность дуг окружностей параллелей легко проверяется путем измерения расстояний между соседними параллелями: если эти расстояния равны, то это будут одноцентричные окружности или их дуги. У эксцентрических окружностей этот интервал будет увеличиваться к западу и востоку от среднего меридиана.

Симметричность построения криволинейных меридианов относительно прямолинейного среднего проверяется измерением интервалов между меридианами к западу и востоку от него по разным параллелям.

По величине отрезков между параллелями на среднем меридиане можно определить равноугольные, равновеликие и равнопромежуточные проекции. При удалении от средней части этого меридиана

к северу и югу промежутки в равноугольных увеличиваются, в равновеликих – уменьшаются, в равнопромежуточных – остаются постоянными. Если проекция равновеликая, то клетки трапеций между соседними параллелями и рядом пересекающих их меридианов будут равны по площади. Если меридианы и параллели в некоторых частях карты пересекаются не под прямым углом, то проекция не может быть равноугольной, хотя признак перпендикулярности еще не означает, что проекция является равноугольной.

На картах Восточного и Западного полушарий, которые, как правило, строятся в поперечных азимутальных проекциях, следует обратить внимание на промежутки вдоль среднего меридиана и экватора. По характеру этих промежутков можно определить проекции: ортографическую, стереографическую, Гинзбурга, Постеля, Ламберта.

При распознавании проекций следует помнить, что для определенных территорий применяются соответствующие проекции. По этому признаку составлены табл. 5.3–5.8 для определения проекций.

Задание. Определение картографических проекций.

Цель задания: получить знания о картографических проекциях, их классификациях и уметь распознавать их по виду сетки меридианов и параллелей.

Выполнение задания: используя табл. 5.1, 5.3–5.8, определить проекции, указанные в вариантах (табл. 5.2). Результаты работы могут быть представлены в виде текста или таблицы (см. пример выполнения задания, табл. 5.9)

Таблица 5.2

Варианты заданий
по определению картографических проекций

Номер варианта	Номера рисунков в прил.		
1	3	38	22
2	15	24	37
3	1	42	20
4	11	34	39
5	2	44	46
6	16	19	43

Номер варианта	Номера рисунков в прил. 1		
7	12	33	57
8	4	21	32
9	10	35	30
10	13	50	45
11	6	23	27
12	8	59	51
13	5	36	47
14	9	48	49
15	14	31	53
16	7	17	60
17	18	26	58
18	25	55	41
19	28	52	56
20	29	40	54

Указания к выполнению задания

1. Ознакомиться с табл. 5.1, 5.3–5.8.
2. Выяснить, какая по охвату территория изображается на карте.
3. Определить, какими линиями (прямые, кривые, дуги концентрических или эксцентрических окружностей) изображаются меридианы и параллели.
4. Выяснить, какие дополнительные признаки имеет определяемая проекция согласно табл. 5.3–5.8, и если будет необходимо, то выполнить указанные измерения и назвать проекцию.

Определитель картографических проекций карт мира

Форма рамки карты или вид всей сетки	Вид параллелей и меридианов	Как изменяются промежутки между параллелями по прямому меридиану с удалением от экватора	Название проекции
Сетка и рамка – прямоугольник, полюс в рамке карты не изображается	Прямые	Сильно увеличиваются: между параллелями 60° и 80° приблизительно в три раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Нормальная равноугольная цилиндрическая Меркатора
		Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° приблизительно в 2,6 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Нормальная цилиндрическая произвольная Урмаева 1945 г. 1 вариант
Рамка – прямоугольник, полюс в рамке карты не изображается	Параллели: – прямые, меридианы – кривые	Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° приблизительно в 1,8 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Нормальная цилиндрическая произвольная Урмаева 1948 г. 2 вариант
		Не изменяются	Нормальная цилиндрическая равнопромежуточная
Рамка – прямоугольник, полюс в рамке карты не изображается	Параллели: – прямые, меридианы – кривые	Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,5 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Нормальная цилиндрическая произвольная Голла (БСАМ)
		Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,3 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая произвольная ЦНИИГАиК
		Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,5 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая произвольная Урмаева

Форма рамки карты или вид всей сетки	Вид параллелей и меридианов	Как изменяются промежутки между параллелями по прямому меридиану с удалением от экватора	Название проекции
Сетка с разрывами, полностью изображаются рядом прямых		Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° приблизительно в 1,7 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая равновеликая Эккерта – Гуда (БСАМ)
Боковые рамки имеют форму синусоид, полусы – прямые		Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° приблизительно в 1,7 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая равновеликая синусоидальная Каврайского
Сетка с разрывами, полюс изображается несколькими точками		Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,5 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая равновеликая Мольвейде – Гуда
Рамка имеет форму синусоид, полюсы изображаются точками		Сохраняются равными	Псевдоцилиндрическая равновеликая Сансона
Сетка и рамка – эллипс, полюсы изображаются прямыми		Сохраняются равными	Псевдоцилиндрическая эллиптическая произвольная Каврайского
Сетка и рамка – эллипс, полюсы изображаются точками		Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,5 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая равновеликая Мольвейде
	Кривые	Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,2 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Условная производная равновеликая Аитова – Гаммера

Окончание табл. 5.3

Форма рамки карты или вид всей сетки	Вид параллелей и меридианов	Как изменяются промежутки между параллелями по прямому меридиану с удалением от экватора	Название проекции
Рамка – прямоугольник, полюсы в рамке карты не изображаются	Дуги эллиптических окружностей	Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° примерно в 2 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Круговая произвольная Грингена
		Сохраняются равными. В 60° дуги экватора содержатся примерно 101° дуги 80-й параллели	Поликоническая произвольная ЦНИИГ АиК, вариант ФГАМ
	Параллели дуги эллиптических окружностей, меридианы – кривые	Сохраняются равными. В 60° дуги экватора содержатся примерно 160° дуги 80-й параллели	Поликоническая произвольная ЦНИИГ АиК, вариант 1939–1949 гг.
		Сохраняются равными. В 60° дуги экватора содержатся примерно 117° дуги 80-й параллели	Поликоническая произвольная ЦНИИГ АиК, вариант 1950 г.
		Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° примерно в 1,2 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°. В 60° дуги экватора содержатся примерно 121° дуги 80-й параллели	Поликоническая произвольная ЦНИИГ АиК, вариант БСЭ
		Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° примерно в 1,2 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°. В 60° дуги экватора содержатся примерно 102° дуги 80-й параллели	Поликоническая произвольная ЦНИИГ АиК, вариант 1954 г.

Таблица 5.4

**Определитель картографических проекций карт
Восточного и Западного полушарий**

Вид параллелей	Как изменяются промежутки по среднему меридиану и экватору от центра полушария к его краям	Название проекции
Кривые, увеличивающие кривизну с удалением от среднего меридиана к крайним	Уменьшаются почти в 1,4 раза	Поперечная азимутальная равновеликая Ламберта
	Уменьшаются почти в 1,3 раза	Поперечная азимутальная произвольная Гинзбурга
	Равны	Поперечная азимутальная равнопромежуточная Постеля
Дуги окружностей	Увеличиваются почти в 2 раза	Поперечная азимутальная равноугольная стереографическая
	Равны	Круговая шаровая (глобулярная) произвольная Арроусмита
Прямые	Сильно уменьшаются (примерно в 6–7 раз)	Поперечная азимутальная произвольная ортографическая
	Уменьшаются по меридиану и не изменяются по экватору	Псевдоцилиндрическая равновеликая Мольвейде

Таблица 5.5

**Определитель картографических проекций карт
Северного и Южного полушарий, карт Арктики и Антарктики**

Вид параллелей и меридианов	Как изменяются промежутки между параллелями по меридианам от центра полушария к его краям	Название проекции
Параллели концентрических окружностей, меридианы – прямые	Равны	Нормальная азимутальная равнопромежуточная Постеля
	Уменьшаются примерно в 1,3 раза	Нормальная азимутальная равновеликая Ламберта
Параллели концентрических окружностей, меридианы – прямые	Увеличиваются	Нормальная азимутальная равноугольная стереографическая
	Сильно увеличиваются	Перспективная азимутальная центральная произвольная

Таблица 5.6

**Определитель картографических проекций
карт материков и частей света**

Вид параллелей и меридианов	Вид линии экватора	Как изменяются промежутки между параллелями по среднему (прямому) меридиану от центра материка к северу и югу	Как изменяются промежутки между соседними параллелями с удалением от среднего меридиана к западу и востоку	Название проекции
Кривые с увеличивающейся кривизной при удалении от среднего (прямого) меридиана	кривая	уменьшаются	увеличиваются	Косая азимутальная равновеликая Ламберта
	прямая	уменьшаются	увеличиваются	Поперечная азимутальная равновеликая Ламберта
	кривая	сохраняются равными	увеличиваются	Косая азимутальная равнопромежуточная Постеля
Параллели – пологие кривые, близкие к дугам окружностей; меридианы – кривые	кривая	уменьшаются	изменяются мало и при этом по-разному в разных местах	Условная произвольная ЦНИИГАиК для карт Евразии
Параллели – дуги концентрических окружностей; меридианы – кривые	дуга окружности	не изменяются	не изменяются	Псевдоконическая равновеликая Бонна
Параллели – дуги концентрических окружностей; меридианы – прямые	дуга окружности	увеличиваются	не изменяются	Нормальная коническая равноугольная Ламберта – Гаусса
Параллели – прямые, меридианы – кривые	прямая	не изменяются	не изменяются	Псевдоцилиндрическая равновеликая Сансона

Определитель картографических проекций карт СССР

1 Вид параллелей и меридианов	2 Как изменяются промежутки между параллелями по среднему (прямоугольному) меридиану от центра к северу и к югу	3 Дополнительные (особые) признаки	4 Название проекции
Параллели – дуги концентрических окружностей, меридианы – прямые	Увеличиваются	Точка Северного полюса может быть получена в пересечении меридианов	Нормальная коническая равноугольная Ламберта – Гаусса
Параллели и меридианы – кривые. Сетка зрительно передает шарообразность Земли	Равны	Точка пересечения меридианов отстоит от дуги с широтой в 90° примерно на 3°	Нормальная коническая равнопромежуточная Красовского
Параллели и меридианы – кривые. Сетка зрительно передает шарообразность Земли	Увеличиваются к северу; между полюсом и параллелью 80° в 1,3 раза больше, чем между параллелями 40° и 50°	Точка пересечения меридианов отстоит от дуги с широтой в 90° примерно на 6°	Нормальная коническая равнопромежуточная Каврайского
Параллели и меридианы – кривые. Сетка зрительно передает шарообразность Земли	Увеличиваются к северу и югу; между полюсом и параллелью 80°, а также параллелями 40° и 50° в 1,1 раза больше, чем между параллелями 60° и 70°	Промежутки между меридианами по параллелям увеличиваются симметрично к западу и востоку с удалением от среднего (прямого) меридиана	Косая перспективно-цилиндрическая произвольная Соловьева
		Промежутки между меридианами по средней (60°) параллели при удалении от среднего (прямого) меридиана увеличиваются, а затем немного уменьшаются	Условная произвольная ЦНИИГАиК для начальной школы с симметричной сеткой

Окончание табл. 5.7

1	2	3	4
<p>Параллели и меридианы – кривые. Сетка зрительно передает шарообразность Земли</p>	<p>Увеличиваются к югу незначительно, к северу сначала уменьшаются, затем увеличиваются</p>	<p>Сетка несимметрична относительно среднего (прямого) меридиана; к востоку параллели имеют большую кривизну, а промежутки по ним между меридианами меньше</p>	<p>Условная произвольная ЦНИИГ АиК для начальной школы с несимметричной сеткой</p>
<p>Параллели и меридианы – кривые</p>	<p>Равны</p>	<p>Многие меридианы меняют направление выпуклости относительно среднего (прямого) меридиана, 80° параллель представляет округлость. В рамку обычно включен приполярный район</p>	<p>Косая цилиндрическая равнопромежуточная ЦНИИГ АиК</p>
<p>Параллели и меридианы – кривые</p>	<p>Незначительно уменьшаются</p>	<p>Меридианы в северной части выпуклые от среднего (прямого) меридиана, а в южной – вогнутые. 80° параллель представляет собой эллипс. В рамку обычно включен приполярный район</p>	<p>Косая перспективно-цилиндрическая произвольная ЦНИИГ АиК</p>
<p>Параллели и меридианы – кривые</p>	<p>Уменьшаются</p>	<p>Промежутки между параллелями и промежутки между меридианами по параллелям уменьшаются к западу и востоку от среднего (прямого) меридиана</p>	<p>Косая перспективная азимутальная произвольная ЦНИИГ АиК</p>
<p>Параллели – дуги экцентрических окружностей, меридианы – кривые</p>	<p>Уменьшаются от юга к северу; между полюсом и параллелью 80° в 1,1 раза меньше, чем между параллелями 40° и 50°</p>	<p>Прямой меридиан – 90° в. д.</p>	<p>Видоизмененная поликоническая произвольная Салмановой</p>

Определитель картографических проекций карт океанов

Вид меридианов и параллелей	Изображение полюса	Вид линии экватора	Как изменяются промежутки между параллелями по среднему (прямому) меридиану с удалением от центра океана	Название проекции
Меридианы – кривые, параллели – прямые	Точка	Прямая	Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,5 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая равновеликая Мольвейде
	Линия		Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,5 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая произвольная Урмаева (с небольшими искажениями площадей)
	Точка	Кривая	Уменьшаются: между параллелями 60° и 80° почти в 1,8 раза меньше, чем между экватором и параллелью 20°	Псевдоцилиндрическая синусоидальная равновеликая Урмаева
			Сохраняются равными	Псевдоцилиндрическая эллиптическая произвольная Каврайского
Меридианы и параллели – кривые	Точка	Прямая	Уменьшаются	Косая азимутальная равновеликая Ламберга
			К северу не изменяются, к югу уменьшаются	Косая псевдоазимутальная произвольная ЦНИИГ АиК
			Уменьшаются незначительно	Поперечная псевдоазимутальная произвольная ЦНИИГ АиК

Окончание табл. 5.8

Вид меридианов и параллелей	Изображение полюса	Вид линии экватора	Как изменяются промежутки между параллелями по среднему (прямому) меридиану с удалением от центра океана	Название проекции
Меридианы – кривые, параллели – дуги эксцентрических окружностей	Линия	Прямая	Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° примерно в 1,2 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Поликоническая произвольная ЦНИИГ АиК, вариант БСЭ
Меридианы и параллели – прямые, взаимоперпендикулярные			Увеличиваются: между параллелями 60° и 80° приблизительно в три раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Нормальная цилиндрическая равноугольная Меркатора

Пример выполнения задания

Определить картографическую проекцию карты, помещенной на стр. 235 «Географического атласа учителя» издания 2016 года.

На карте изображена Южная Америка, поэтому определение картографической проекции необходимо выполнять по табл. 5.1 и 5.6. Меридианы и параллели, в том числе и экватор, изображаются кривыми линиями. Поэтому, согласно табл. 5.6, проекция относится к косым азимутальным проекциям. Промежутки между параллелями по среднему (прямому) меридиану уменьшаются от центра материка, а промежутки между параллелями с удалением от среднего меридиана увеличиваются. Согласно табл. 5.6 это будет косая азимутальная равновеликая проекция Ламберта.

Пример оформления задания представлен в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Пример оформления задания

Атлас, стр., № приложения	Изображаемая территория	Форма рамки	Какими линиями изображаются меридианы и параллели	Как изменяются промежутки между параллелями по прямому меридиану	Дополнительные признаки проекции	Вид проекции по характеру искажения	Название проекции
Географический атлас учителя, стр. 235	Южная Америка	Прямоугольная	Меридианы и параллели – кривые. Экватор – кривая	Уменьшаются	Промежутки между параллелями с удалением от среднего меридиана увеличиваются	Равновеликая	Косая азимутальная равновеликая Ламберта

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБОВ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ НА КАРТАХ

Для показа на картах разных сторон географической действительности применяются различные картографические способы изображения. Ими передают явления и объекты, локализованные по пунктам, линиям и площадям, явления сплошного и рассеянного распространения. При этом они могут отображать качественные и количественные характеристики объектов и явлений, их перемещение в пространстве и изменение во времени. Эти характеристики могут изменяться мало, постепенно или резко, скачкообразно.

Географ должен хорошо представлять возможности и пределы использования каждого способа, иметь навыки чтения карт, уметь обрабатывать исходный материал при их составлении и правильно выбирать способы картографического изображения.

В настоящее время для передачи содержания на географических картах применяются следующие способы картографического изображения: значковый, линейные знаки, знаки движения, качественный и количественный фон, локализованные диаграммы, точечный способ, ареалы, изолинии (изолинии с послойной окраской), картодиаграммы и картограммы.

Способ значков. Применяется для показа объектов, локализованных на местности, но не выражающихся в масштабе карты. Значки используются для изображения населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, культурно-бытовых учреждений, месторождений полезных ископаемых и т. д. Способ значков наиболее применим на социально-экономических картах (рис. 6.1).

Используются три вида значков: геометрические, буквенные и наглядные. Геометрические значки имеют форму простейших геометрических фигур (кружок, квадрат, прямоугольник и т. д.). Они могут быть простыми и структурными. Так, предприятия разных отраслей промышленности, расположенные в одном населенном пункте, передаются общим кружком промышленного пункта, разделенным на секторы соответствующего числа отраслей.

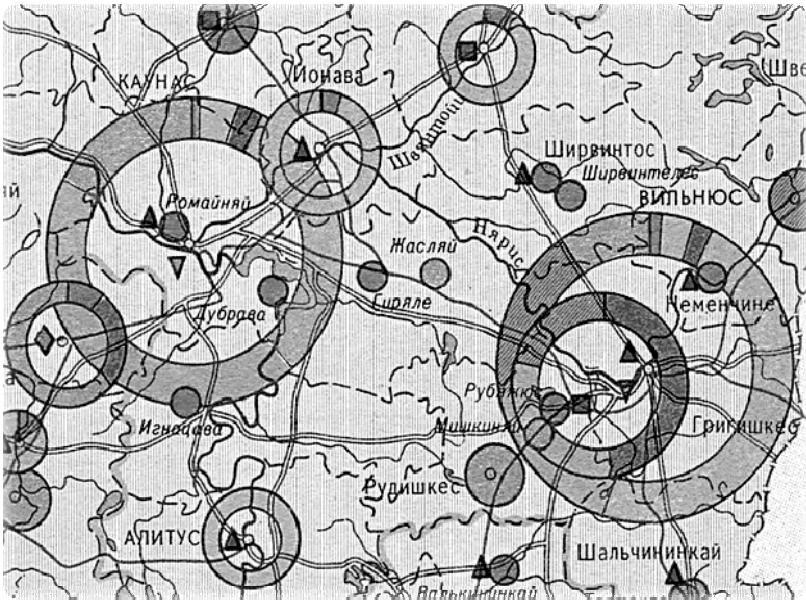


Рис. 6.1. Способ значков

Буквенные значки представляют собой одну или две буквы, поясняющие изображаемый объект или явление. Применяют традиционно для показа месторождений полезных ископаемых. Для улучшения читаемости их часто вписывают в простую геометрическую фигуру – кружок или квадрат.

Наглядные значки по своему рисунку напоминают изображаемый объект (например, знак автомобиля – автомобильный завод) или символизируют его (например, знак якоря – морской порт).

Передача количественных характеристик передается величиной значков (линейными, площадными или объемными размерами), для чего разрабатывают шкалы абсолютные или условные, которые, в свою очередь, могут быть непрерывными или ступенчатыми. На изданных атласах и картах СССР чаще всего применяются условные ступенчатые шкалы.

Качественная характеристика объектов передается цветом и формой значков.

Динамика объектов и явлений может быть показана путем наложения друг на друга значков («нарастающие» значки), характеризующих величину объектов на определенный период, или окраской значков, отображающей темпы роста (рис. 6.2).

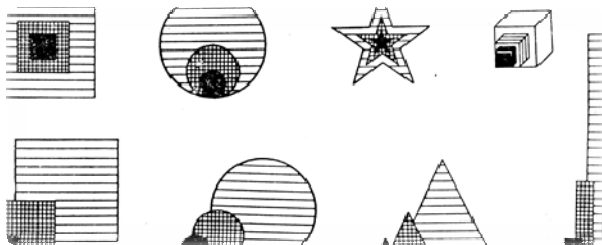


Рис. 6.2. Нарастающие значки различной формы. Динамика явлений

Линейные знаки применяются для отображения объектов и явлений, локализованных по линиям, передавая при этом их местоположение и особенности (дорожную сеть, гидрографию, тектонические разломы, нефтепроводы и т. д.) (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Способ линейных знаков

Рисунком и цветом обычно передаются качественные характеристики (типы берегов, виды дорожной сети, линии теплового и холодного фронтов и т. д.), а шириной линейных знаков – количественные (величина приливов, полоса затопления при половодьях и т. д.).

Изменение положения объектов и явлений во времени передается сочетанием линейных знаков разного рисунка, отнесенных к определенному времени.

Способ знаков движения используется для показа передвижения в пространстве природных и социально-экономических объектов и явлений точечного (передвижение корабля), линейного (перемещение военных фронтов), площадного (экономические связи страны), сплошного (воздушные массы) и рассеянного (перемещение птиц и животных) распространения. С помощью знаков движения можно отображать скорость, направление, количество, мощность и структуру перемещаемых объектов и явлений (рис. 6.4).

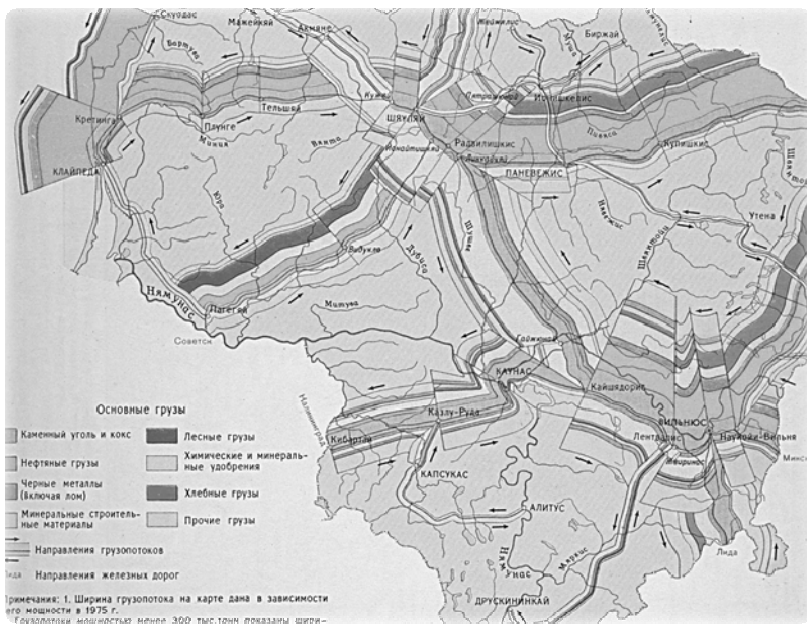


Рис. 6.4. Способ знаков движения

Основной графический способ показа перемещения – векторы (стрелки), которые могут различаться по ориентировке, форме, величине, светлоте, цвету, внутренней структуре. Другой способ – применение лент-полос, ширина которых характеризует количественные показатели. Качественные различия показывают цветом или штриховкой.

Знаки движения могут передавать перемещение точно по пути, например по железной дороге, или схематично, указывая начало и конец движения (экономические связи).

Этот способ часто применяется на картах транспорта, экономических связей, климатических, океанографических и других.

Способ качественного фона используется для передачи явлений, имеющих сплошное или массовое распространение, и показывает качественное подразделение территории (районирование) на однородные участки по тем или иным природным или социально-экономическим признакам (рис. 6.5).

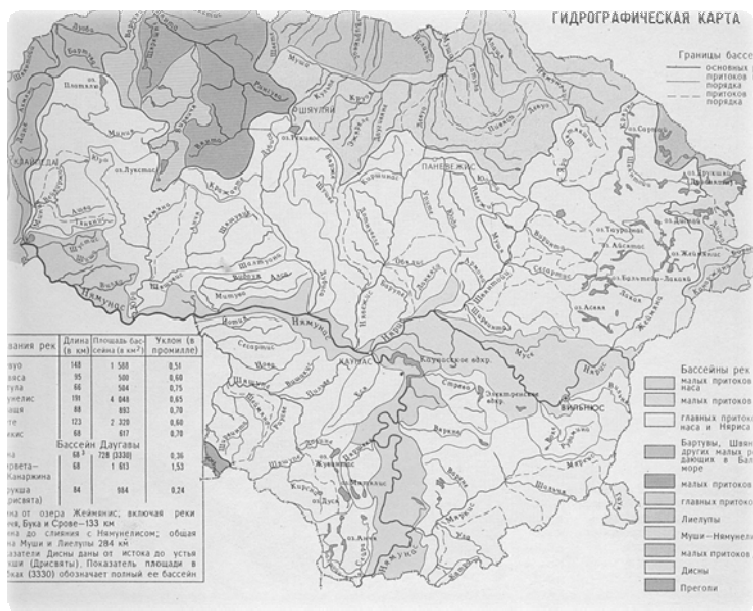


Рис. 6.5. Способ качественного фона

Для изображаемого на карте явления по какому-либо признаку вначале разрабатывается классификация, согласно которой картографируемая территория делится на однородные участки, закрашиваемые определенными цветами или заполняемые штриховками. Для улучшения читаемости карт могут применяться индексы (буквы) или цифры. Для некоторых карт, например геологических, почвенных, разработаны типовые классификации, шкалы для раскраски и индексы.

Способом качественного фона можно показать районирование по одному признаку (характеристика населения по национальному составу), по сочетанию признаков (типы климатов, общие геологические и почвенные карты, зоны специализации сельского хозяйства и т. п.) или путем подразделения территории на неповторяющиеся районы (физико-географическое районирование).

Способ качественного фона широко применяется на картах природы и некоторых социально-экономических картах (сельскохозяйственное и другое районирование).

На картах можно показать два и больше явлений качественным фоном, используя для этого цвет, штриховки, индексы или оцифровку.

Способ количественного фона. Этот способ, как и способ качественного фона, отображает подразделение территории на однородные районы, но по количественному признаку. Для этого по имеющимся источникам выделяют согласно разработанной ступенчатой шкале однородные районы, которые затем закрашивают цветом разной насыщенности или заполняют соответствующими штриховками (рис. 6.6).

Для использования этого способа требуется хорошая изученность территории по определенным показателям в количественном отношении. Очень часто для построения карт необходимо выполнение картометрических работ, например составление морфологических карт по топокартам.

Способ количественного фона используется главным образом для составления карт природы (геоморфологических, гидрологических, гидрогеологических и др.), хотя его можно встретить и на социально-экономических картах, например на картах плотности населения.

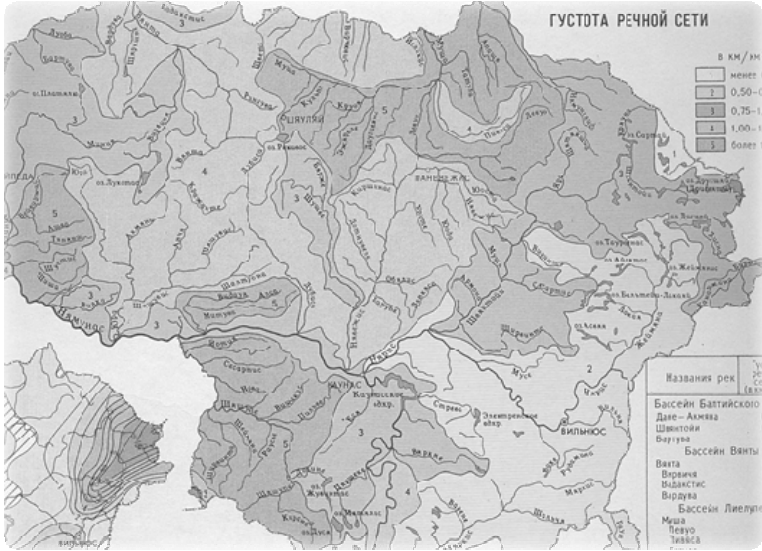


Рис. 6.6. Способ количественного фона

Способ локализованных диаграмм применяется для отображения явлений сплошного или линейного распространения в виде диаграмм, относящихся к отдельным пунктам. Пункты с диаграммами даются выборочно и в совокупности позволяют получить представление о явлении, охватывающем определенную территорию (рис. 6.7).

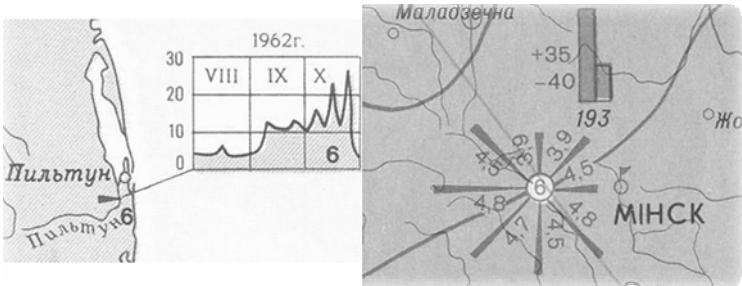


Рис. 6.7. Способ локализованных диаграмм

Диаграммы строят в прямоугольной или полярной («розы») системе координат (рис. 6.7). На них можно совмещать качественно разные явления (осадки, температуру, давление и т. п.). Количественные характеристики передаются в абсолютных или относительных показателях. Локализованные диаграммы могут передавать усредненную характеристику, например, для градусных трапеций.

Этот способ используется главным образом для показа сезонных и периодических явлений на климатических, гидрологических и других картах.

Точечный способ применяется для показа массовых рассредоточенных явлений, таких как размещение сельского населения, посевных культур, поголовья сельскохозяйственных животных и т. д.

Для графической передачи используются точки (кружки диаметром 0,2–0,6 мм), которые наносятся в местах данного явления, а в легенде обязательно указывается «вес» точки, т. е. количество единиц, которое приходится на одну точку (рис. 6.8).



Рис. 6.8. Точечный способ

При большой контрастности явления на территории могут использоваться два «веса» точек с различной их графической величиной или формой.

Способ хорошо передает количественные характеристики явлений, качественные – передаются цветом. Цветом точек можно передать и изменение явления во времени.

Точечный способ часто применяется на картах сельского хозяйства и населения.

Способ ареалов (от лат. *area* – площадь) применяется для показа районов сплошного или рассеянного размещения, растений, животных, пахотных земель, полезных ископаемых и т. п. В легенде условный знак ареала обычно поясняется словами «район (область) распространения» (рис. 6.9).

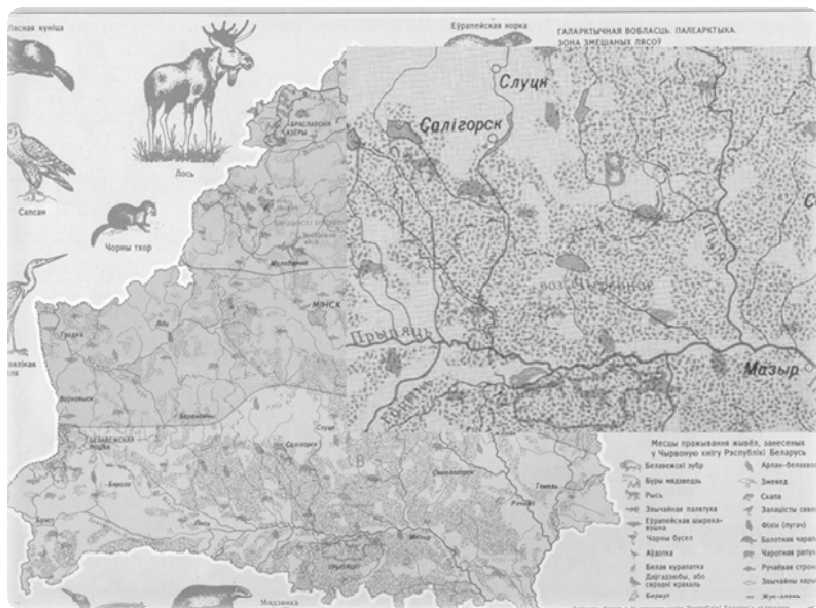


Рис. 6.9. Способ ареалов

Ареалы бывают абсолютными, вне которых данное явление не встречается, и относительными, внутри которых явление обладает определенными свойствами, например ареал промышленной разработки каменного угля в пределах области его залегания. Ареалы иногда могут сопровождаться количественными показателями,

например относительная плотность ареала распространения животных или птиц.

Графически возможности изображения ареалов разнообразны: это сплошная или пунктирная линия различного рисунка и цвета, цветные штриховки или окраска, геометрические или наглядные значки или даже надпись (рис. 6.9). На одной карте можно совместить несколько ареалов.

Способ ареалов широко используется на зоогеографических, геоботанических (ареалы растений и животных) и других картах природы, а также на социально-экономических картах, отображающих районы выращивания каких-либо сельскохозяйственных культур.

Способ изолиний (изолиний с послышной окраской). Изолинии – это кривые линии, соединяющие точки с одинаковой заданной величиной какого-либо показателя. Способ изолиний применяется для изображения количественных характеристик явлений, имеющих непрерывное распространение и постепенно изменяющихся в пространстве (рис. 6.10).

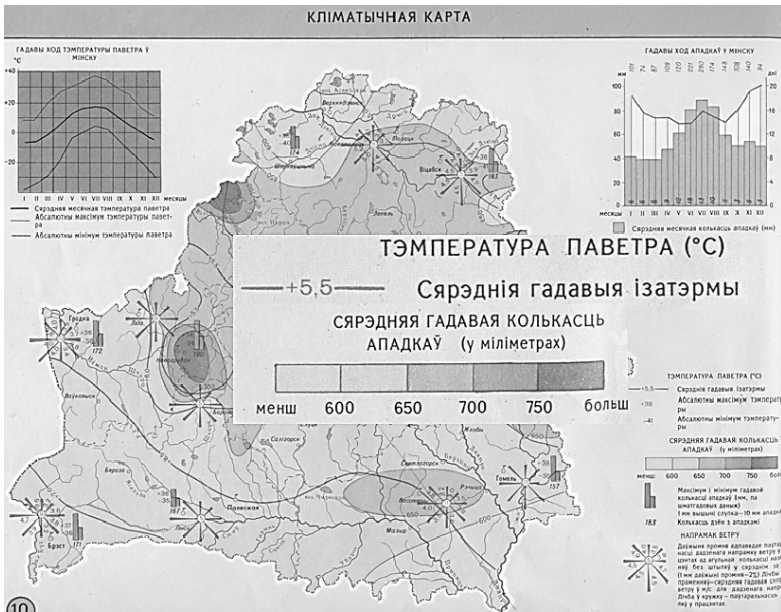


Рис. 6.10. Способ изолиний (изолиний с послышной окраской)

Характеристика явлений при этом способе передается совокупностью изолиний, что определяет важность правильного выбора интервала между изолиниями. Для большей наглядности промежутки между изолиниями закрашивают цветом, насыщенность которого увеличивается по мере увеличения количественного показателя. На одной карте можно совместить несколько систем изолиний, но только для одной можно применить послынную окраску.

Изолинии на карте в зависимости от отображаемого явления часто носят свое название: изобары, изогипсы, изотермы, изогеты, изохроны и т. д.

С помощью изолиний можно передавать изменение величины явления во времени, перемещение явления, время его наступления и повторяемость. Качественные различия между явлениями передаются цветом изолиний.

Способ изолиний широко применяется на климатических, гидрологических, тектонических, гидрогеологических и других картах.

Изолинии иногда используют для показа явлений, лишенных непрерывности, например плотности населения, лесистости и т. п. Такие изолинии называют *псевдоизолиниями*.

Картодиаграмма выражает суммарную величину явления в пределах территориальных единиц посредством диаграмм, расположенных внутри ячеек территориального деления одного ранга (рис. 6.11).



Рис. 6.11. Способ картодиаграммы

Чаще всего используются административные единицы. Природными территориальными единицами могут быть бассейны рек, озер, лесные хозяйства, физико-географические и другие районы.

Картодиаграммы строят на основании абсолютных показателей отображаемых явлений посредством линейных, площадных и объемных диаграмм. Реже применяют относительные показатели в процентах.

Диаграммные фигуры могут быть структурными, отображая, например, структуру сельскохозяйственных угодий, посевных площадей и т. д.

Картодиаграмма может показывать динамику явления путем совмещения нескольких диаграмм, характеризующих явление на определенный период времени.

Недостатком картодиаграммы является то, что она сильно затушевывает географический характер размещения явления.

Картодиаграмма по внешнему виду напоминает способ значков, хотя их сущность очень различна. Значки показывают локализованные объекты и не связаны с территориальным делением, в то время как картодиаграмма без территориальных границ немыслима и имеет собирательный характер.

Картограмма отображает среднюю интенсивность явления в пределах территориальных единиц одного ранга, чаще всего административных (рис. 6.12).

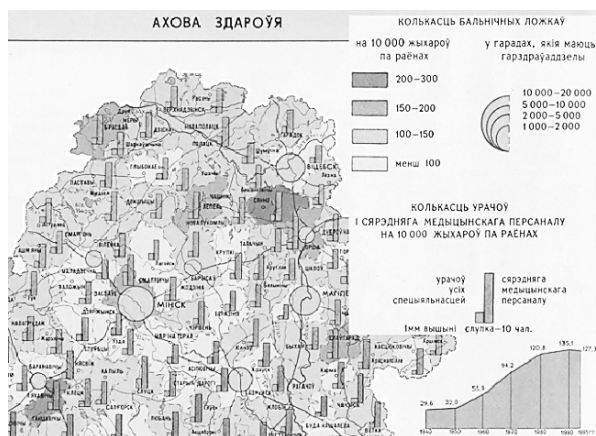


Рис. 6.12. Способ картограммы

В картограмме используют относительные показатели, получаемые путем деления абсолютных величин явления на площадь территориальных единиц. Выделенные территориальные единицы согласно разработанным ступенчатым шкалам раскрашивают или штрихуют, передавая насыщенностью интенсивность явления.

Картограмма чаще всего отображает такие социально-экономические явления, как плотность населения, процент пахотных земель ко всей площади, процент площади возделывания какой-либо сельскохозяйственной культуры ко всей посевной площади, количество школ, библиотек, больничных коек и прочего на определенное количество жителей и т. д. Способ применяется и для отображения интенсивности природных явлений (лесистость, заболоченность и т. д.).

Картограмма может также передавать изменения средней величины явления за промежутки времени.

Картограмма, как и картодиаграмма, сильно затушевывает географические особенности явления на территории. На картах способы картограммы и картодиаграммы часто совмещают. Для их составления используются статистические данные.

Для передачи разносторонних характеристик явления на карте одновременно могут использоваться несколько способов картографического изображения, и в то же время для нескольких разных явлений может применяться один способ. Например, на экономической карте способом значков могут быть показаны центры промышленности, энергетики, месторождения полезных ископаемых, речные порты и т. п.

Способы картографического изображения по своему внешнему графическому оформлению и своей сущности часто очень схожи. Некоторые способы довольно близки по существу и особенностям изображаемых явлений, другие же только внешне похожи, а по существу сильно отличаются.

Чтобы различать способы картографического изображения, надо внимательно ознакомиться с легендой карты и ее содержанием, определить характер распространения явлений. Ранее указывалось внешнее графическое сходство картодиаграммы и способа значков, хотя по существу явления, изображаемые этими способами, сильно отличаются.

Способ значков внешне похож на способ ареалов, когда распространение отображаемого явления графически показывают значка-

ми. Различие между этими способами можно установить, определив характер размещения явлений. Если, например, рисунком рыбы показан район морских рыбных промыслов, то на карте применен способ ареалов. Такими же по внешнему виду значками могут быть показаны рыбные порты или рыбоперерабатывающие заводы. В этом случае применен способ значков, т. к. он отображает объекты, локализованные по пунктам на местности.

Сходны между собой способы значков и локализованных диаграмм. Различие между ними в характере размещения явления: у локализованных диаграмм оно площадное, а у значков – локализованное по пунктам.

Внешнее сходство имеют картограмма, количественный фон и способ изолиний. Но для явлений, изображаемых способом изолиний, характерно плавное изменение их величины, что передается системой изолиний. На картограмме линии, разграничивающие разную интенсивность, являются административными или природными границами и количественного значения не имеют. При использовании количественного фона линии на карте разграничивают выделенные однородные районы, причем смежные районы могут передавать величину явления, соответствующую противоположным ступеням шкалы, что невозможно для способа изолиний.

Картографические способы изображения постоянно развиваются. В связи с более детальным изучением многообразных явлений и расширением тематики географических карт появляются новые модификации уже устоявшихся способов изображения.

Задание. Определение способов картографического изображения явлений на тематических картах.

Цель задания: изучить сущность способов картографического изображения явлений и их связь с характером размещения явлений, научиться выявлять особенности передачи их свойств, уметь их отличать и определять на разных тематических картах. Варианты заданий выдаются преподавателем.

Выполнение задания.

1. Изучить легенду и содержание карты и определить ее вид (экономическая, климатическая, геологическая и т. д.).

2. Установить, какие явления показаны на изучаемой карте, и определить способы их изображения.

Указания к выполнению задания

1. Изучить табл. 6.1, где указаны картографические способы, применяемые для изображения явлений различного характера пространства, а также свойства явлений, передаваемые этими способами.

2. Определить по карте, какие картографические способы использованы для показа каждого явления.

3. Установить, какие свойства явлений переданы этими способами и какие графические приемы использованы для оформления их на карте.

4. Результаты изучения оформить в виде текста или таблицы (табл. 6.2).

Таблица 6.1

Способы картографического изображения на картах и отображаемые ими свойства явлений

Способ картографического изображения	Характер размещения картографируемого явления					Отображаемые на карте свойства явления							
	по пунктам	по линиям	по площадям	рассеянный	сплошной	Величина		Структура (состав)	Качественные различия	Изменение во времени			
						абсолютная	относительная			величины	площади	перемещения	
Значков	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	х
Линейных знаков	-	+	-	-	-	+	+	-	+	х	-	-	+
Знаков движения	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Качественный фон	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Количественный фон	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Локализованных диаграмм	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-
Точечный	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	х
Ареалов	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+
Изолиний	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+
Картодиаграмма	+	-	+	+	-	+	х	+	+	+	+	+	-
Картограмма	-	-	+	+	-	-	+	х	-	+	+	-	-

Примечание: «(+») – хорошо работает; «(-») – не отображает; «х» – отображает неготно, ограниченно.

Таблица 6.2

Пример выполнения задания

Название атласа, карты; страница	Явления, показанные на карте	Способ изображения явлений	Передаваемые свойства явлений	Графические приемы оформления
Атлас СССР, ГУГК, 1983 Белорусский экономический район, стр. 194	Обрабатывающая промышленность	Значковый	Размещение, количественная и качественная характеристики	Геометрические значки с закраской секторов цветом
	Добывающая промышленность	Значковый	Размещение, качественная характеристика	Наглядные значки в кружках
	Электростанции	Значковый	Размещение, количественная характеристика	Геометрические значки
	Специализация сельского хозяйства	Качественный фон	Размещение, качественная характеристика	Цветной фон
	Районы распространения отдельных сельскохозяйственных культур и садов	Ареалы	Размещение, качественная характеристика	Наглядные значки

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянт, А. М. Картография : учебник для вузов / А. М. Берлянт. – Москва: Аспект Пресс, 2002. – 336 с.
2. Берлянт, А. М. Картографический метод исследования / А. М. Берлянт. – Москва: МГУ, 1988. – 251 с.
3. Берлянт, А. М. Практикум по картографии и картографическому черчению. Общегеографические и тематические карты и атласы. Генерализация. Использование карт / А. М. Берлянт, Т. Г. Сваткова. – Москва: МГУ, 1991. – 126 с.
4. Бугаевский, Л. М. Геодезия. Картографические проекции : справочное пособие / Л. М. Бугаевский, Л. А. Вахрамеева. – Москва: Недра, 1992. – 294 с.
5. Востокова, А. В. Практикум по картографии и картографическому черчению. Математические основы карт и изобразительные средства. Способы изображения и картографические источники: учебно-методическое пособие / А. В. Востокова, Т. Г. Сваткова. – Москва: МГУ, 1988. – 132 с.
6. Евтеев, О. А. Проектирование и составление социально-экономических карт / О. А. Евтеев. – Москва: МГУ, 1999. – 220 с.
7. Заруцкая, И. П. Проектирование и составление карт. Карты природы : учебник / И. П. Заруцкая, Н. В. Красильникова. – Москва: МГУ, 1989. – 296 с.
8. Заруцкая, И. П. Проектирование и составление карт. Общегеографические карты / И. П. Заруцкая, Т. Г. Сваткова. – Москва: МГУ, 1982. – 208 с.
9. Салищев, К. А. Картоведение : учебник / К. А. Салищев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: МГУ, 1990. – 400 с.
10. Салищев, К. А. Картография / К. А. Салищев. – Москва: МГУ, 1982. – 246 с.
11. Салищев, К. А. Проектирование и составление карт / К. А. Салищев. – Москва: МГУ, 1978. – 239 с.
12. Справочник по картографии : справочное пособие / под ред. Е. И. Халугина. – Москва: Недра, 1988. – 427 с.
13. Географический атлас учителя: пособие для учителей общего среднего образования. – Минск: РУП «Белкартография», 2016. – 392 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

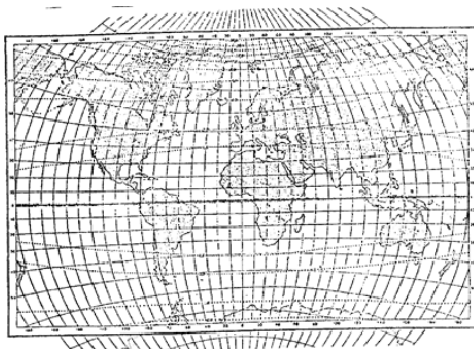


Рис. П1

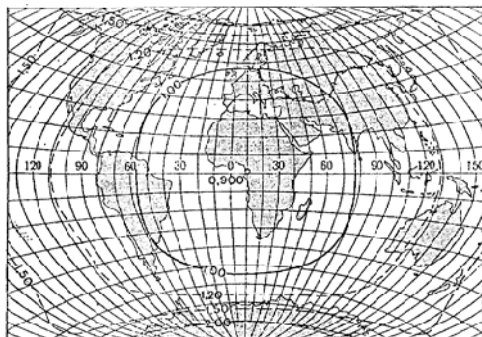


Рис. П2

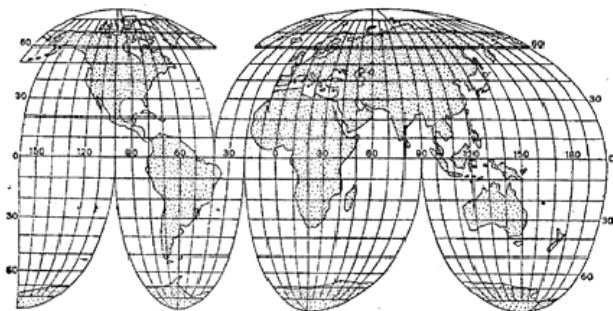


Рис. П3



Рис. П4

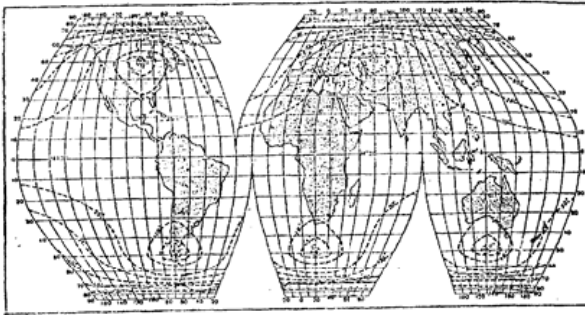


Рис. П5



Рис. П6



Рис. П7



Рис. П8

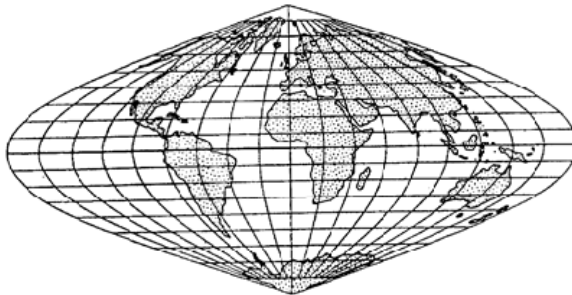


Рис. П9



Рис. П10

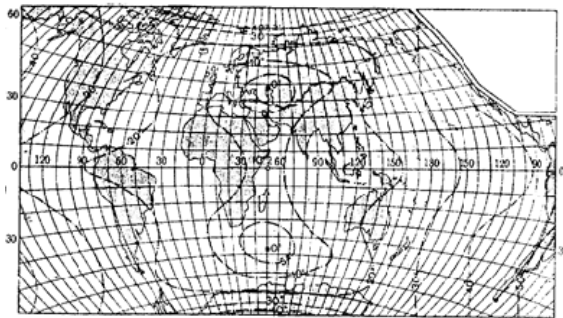


Рис. П11



Рис. П12

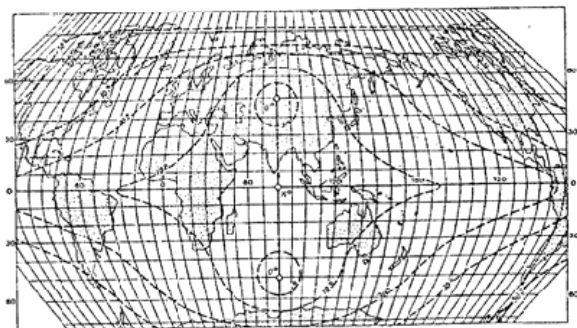


Рис. П13

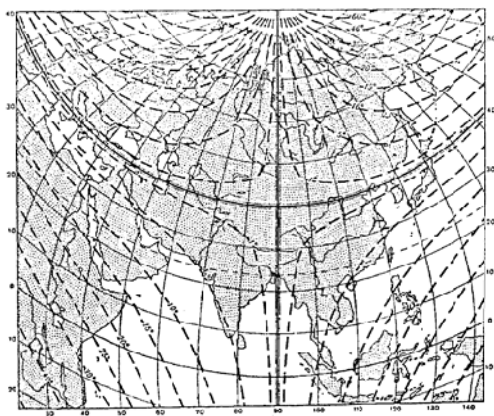


Рис. П14

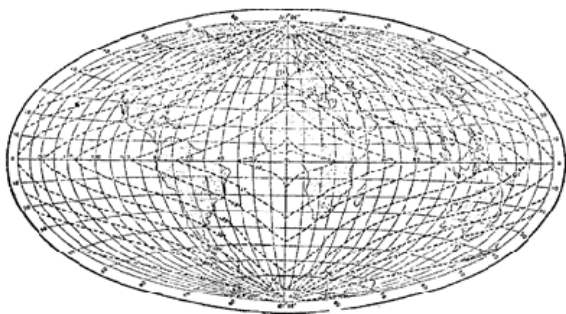


Рис. П15

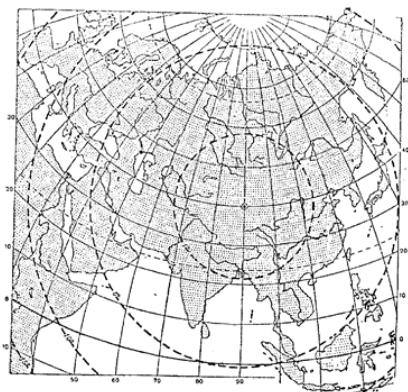


Рис. П16

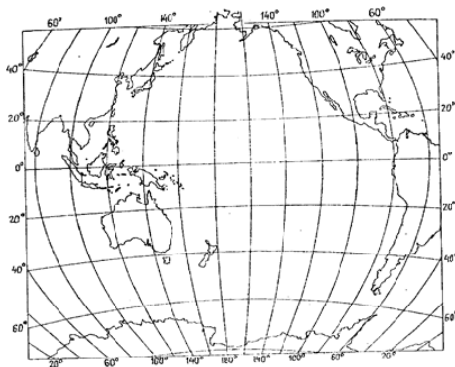


Рис. П17

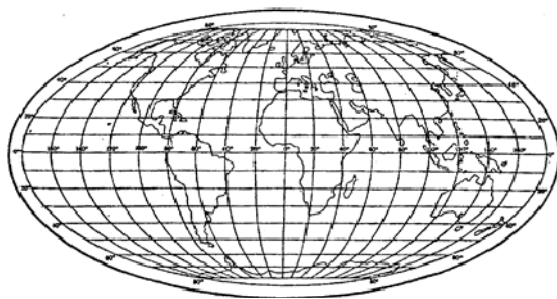


Рис. П18

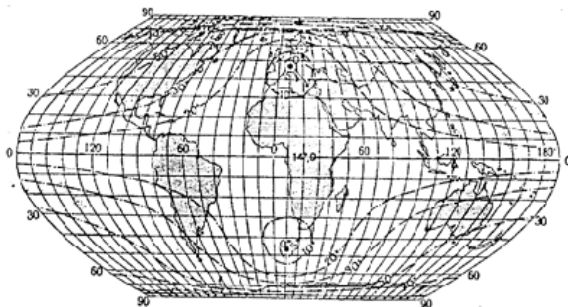


Рис. П19

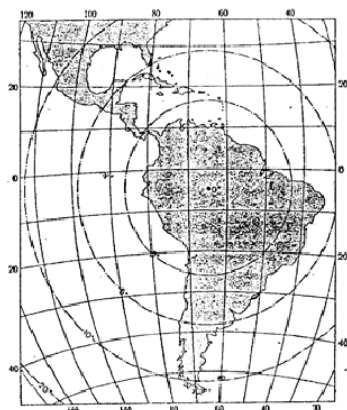


Рис. П20

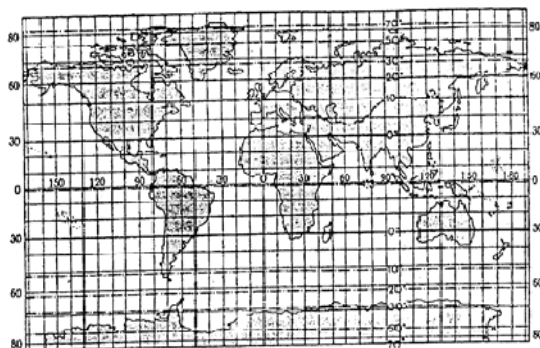


Рис. П21

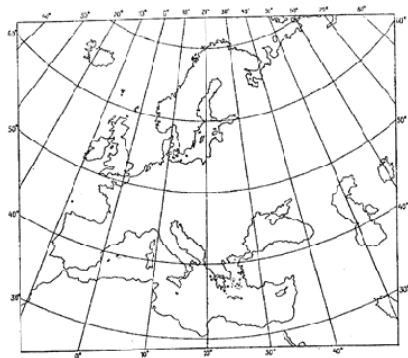


Рис. П22



Рис. П23

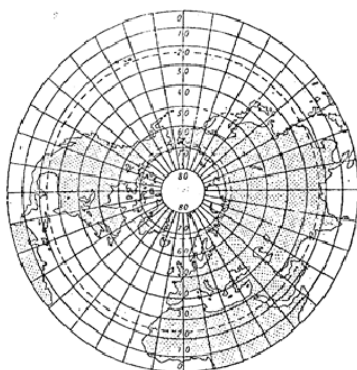


Рис. П24

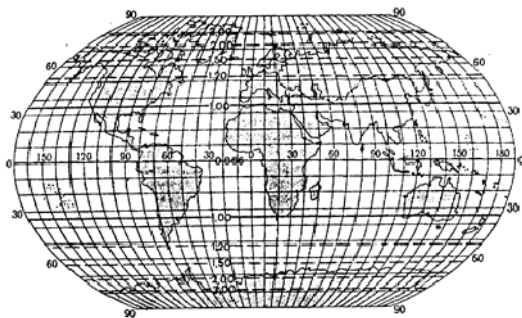


Рис. П25

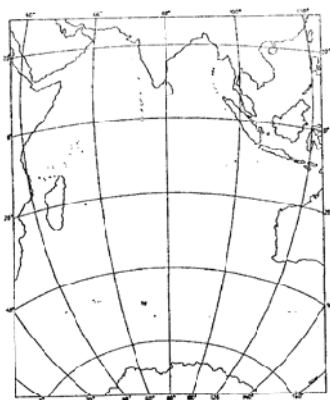


Рис. П26

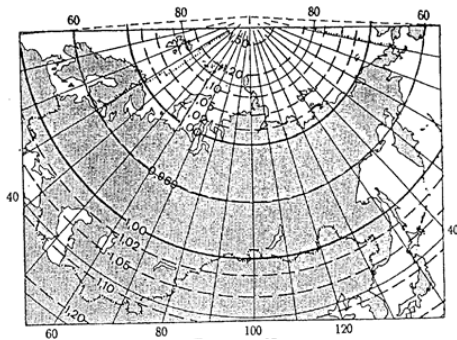


Рис. П27

Содержание

Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ИЗВИЛИСТОЙ ЛИНИИ.....	3
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПАЛЕТКАМИ.....	11
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ В КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЯХ	20
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАТЧАЙШЕГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПУНКТАМИ ПО ИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИМ КООРДИНАТАМ	29
Лабораторная работа № 5. РАСПОЗНАВАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ.....	38
Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБОВ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ НА КАРТАХ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ	78

Учебное издание

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Пособие
для студентов специальности
1-56 02 01 «Геодезия»

Составители:
КРУПИЦА Сергей Михайлович
РАДЦЕВИЧ Елизавета Игоревна

Редактор *А. С. Мокрушников*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 15.06.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 100. Заказ 747.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.