

Я. И. ЖУПАНСКИЙ

О ВЛИЯНИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ПО КАРТЕ ИХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Информация на карте — это, с одной стороны, сведения о свойствах и смысле картографируемых объектов и явлений, с другой, — сведения о пространственном распределении и взаимосвязях объектов. При зрительном чтении карты находят те или иные изображения, систематизируют их, устанавливают закономерности и зависимости в сочетаниях картографируемых объектов. Картометрическое чтение предполагает, в первую очередь, измерение изображений, вычисления по этим размерам мощности и структуры изображенных объектов и явлений. На основании полученных данных производится изучение количественных зависимостей объектов, их классификация.

Зрительный анализ изображений на картах сопровождается глазомерной оценкой длин, площадей, внутреннего строения изображений, цветовой насыщенности, а также их соотношений. Естественно, что чем больше количественных характеристик содержится в изображениях на карте, тем менее точен зрительный анализ такой карты, так как способность анализа количественной информации в большой массе индивидуальна для каждого читателя. Чем больше объем такой информации, тем меньше точность ее анализа. К. А. Салищев [3] указывает, что глазомерная оценка читателя, имеющего опыт обращения с картой, например, размеров площадных пропорциональных знаков, дает относительные ошибки 10—30%. Эти ошибки уменьшаются до 10—15% с увеличением размеров знаков. Следовательно, точность зрительного анализа изображений на карте зависит не только от количества изображений, но и от их размеров. Чем больше размер обозначений, тем легче процесс их зрительного восприятия, анализа и сопоставления.

Зрительно изображения на карте чаще всего изучаются с помощью соответствующих шкал в легенде. Со шкалами легенды глазомерно сопоставляются формы обозначений и их окраска, а сопоставление размеров со шкалой уменьшает среднее квадратическое значение относительной ошибки, как показали опыты, до 15—20%. Такое сопоставление дает возможность представить общую картину в характере размещения и соподчинения явлений и объектов.

Более точную количественную информацию можно получить путем измерений нужных параметров обозначений на карте. Измерения необходимы также и в том случае, если в легенде нет соответствующих шкал, а имеются лишь именованный масштаб или основание масштабности площадных фигур. Эти измерения сопровождаются определенными ошибками, которые непосредственно отражаются на относительной ошибке измерения, то есть нахождении количественных параметров закартографированных объектов.

Полученные результаты линейных измерений пересчитываются для обозначений, построенных в площадной масштабности, в площади и по шкалам легенды переводятся в соответствующие количественные харак-

теристики картографируемых объектов (мощность промышленных пунктов, людность поселений и т. п.). Точность таких измерений, как известно, зависит от многих причин. Во-первых, на нее влияет точность инструментов и сами технические приемы измерения, во-вторых — точность самой карты, а также геометрические свойства фигур картографических изображений и особенности развития и размещения, присущие измеряемым объектам картографирования. Здесь же надо иметь в виду и тот факт, что измерения дают лишь размеры изображений объектов с известной ошибкой. Поэтому измерения на карте должны быть неразрывно связаны с географическим анализом изображений, отражающих реальные объекты в конкретных условиях их существования.

Обязательным условием карты, по которой мы хотим получить точную информацию, является оговоренность в легенде способа измерения фигур обозначений. Если учесть, что толщина линий контуров фигур для большинства печатных карт составляет в среднем 0,3 мм, то для небольших фигур ошибка измерений на эту величину весьма существенно скажется на количественном определении мощности измеряемого объекта. Вообще предполагается, что измерения должны производиться по середине линии контура. Учитывая массовое пользование картой читателями, не имеющими достаточных навыков ее чтения, и преобладающее использование инструментов низкой точности (измеритель и линейка с миллиметровым делением), необходимо в легенде карты обязательно указывать, надлежит ли данные построения измерять с учетом или без учета контуров. В противном случае ошибка измерения, особенно для небольших фигур, будет весьма существенной и колебания ее будут зависеть от субъективных причин.

Размер ошибки определяется, в первую очередь, формой измеряемой фигуры. Например, для круга при измерении радиуса на размер ошибки влияет толщина линии контура (для диаметра эта величина удваивается), при измерении стороны квадрата — толщина двух сторон, треугольника — толщина основания и утолщение противостоящей вершины и т. д. Исследованиями Л. Ратайского [4] установлены размеры ошибок измерений, влияющих на точность количественных определений мощности объектов, для этих трех фигур при различных линейных размерах. Достаточно сказать, что для фигур с линейным размером до 3 мм (диаметр круга, сторона квадрата, высота треугольника) относительная ошибка превышает 40%. Если, например, кругом обозначена людность населенных пунктов, то в результате измерений по карте ошибка в определении количества жителей по населенным пунктам может достигнуть в данном случае $\pm 40\%$. С увеличением линейного размера фигуры эта ошибка быстро уменьшается и для наиболее часто встречающихся на картах размеров фигур (3—10 мм) составляет, по нашим данным, 33—10%. Последнее еще раз подчеркивает, как велика важность указания способа измерения. Этим же правилом следует руководствоваться и при построении фигур на карте в период ее создания.

Весьма существенное значение для небольших размеров фигур имеет ошибка измерений, связанная с неточностью глазомера, оцениваемая в среднем, как правило, в 0,2 мм.

Массовое распространение имеет ошибка, связанная со степенью точности инструментов, применяемых для измерений. Для линейки с миллиметровым делением, как следует из теории погрешностей, она равна половине цены деления, то есть $\pm 0,5$ мм. Ошибку измерений с этой величиной можно учесть с помощью следующих формул, если принять обозначения S — площадь, h — высота, l — основание, D — диаметр:

— для треугольника ошибка измерения площади зависит от ошибки измерения высоты и основания, то есть

$$S + \Delta S = \frac{1}{2}[(h + \Delta h)(l + \Delta l)] = \frac{1}{2}hl + \frac{1}{2}h\Delta l + \frac{1}{2}\Delta hl + \frac{1}{2}\Delta h\Delta l,$$

следовательно, $\Delta S = \frac{1}{2}(h\Delta l + \Delta hl)$, а относительная ошибка измерения площади треугольника

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{h\Delta l + \Delta hl}{hl} = \frac{0,5(h + l)}{hl}; \quad (1)$$

— для прямоугольника $S + \Delta S = [(h + \Delta h)(l + \Delta l)] = hl + h\Delta l + \Delta hl + \Delta h\Delta l$, следовательно, $\Delta S = h\Delta l + \Delta hl$, а относительная ошибка измерения площади

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{h\Delta l + \Delta hl}{hl} = \frac{0,5(h + l)}{hl}; \quad (2)$$

— для круга

$$S + \Delta S = \frac{\pi}{4}[(D + \Delta D)^2] = \frac{\pi}{4}(D^2 + 2D\Delta D),$$

следовательно, $\Delta S = \frac{\pi}{2}D\Delta D$, а относительная ошибка измерения площади

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{2\Delta D}{D} = \frac{2 \cdot 0,5}{D} = \frac{1}{D}. \quad (3)$$

Если допустить, что в треугольнике $h=l$, то для (1) будем иметь

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{0,5(h + h)}{h^2} = \frac{1}{h}. \quad (4)$$

Естественно, что в квадрате $h=l$, тогда для (2) имеем

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{0,5(h + h)}{h^2} = \frac{1}{h}; \quad (5)$$

в круге $D=h$, следовательно (3) можно записать как

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{h}. \quad (6)$$

Руководствуясь данными формулами, мы построили таблицу относительных ошибок измерения площадей фигур в зависимости от их линейных размеров*.

По диагонали таблицы размещены размеры относительных ошибок для фигур, где $h=l$ (круг, квадрат, равнобедренный треугольник). По остальным графам можно определить размер ошибки для прямоугольника, а также равностороннего или равнобедренного треугольников, где $h \neq l$. В таблице заметно снижение величины относительной ошибки с увеличением размеров фигуры, но чем больше размер последней, тем меньше темп снижения относительной ошибки. Если учесть толщину

* Расчеты выполнены совместно с В. С. Антоновым.

линии контура фигуры (для печатных карт 0,3 мм), то относительная ошибка соответственно еще увеличится на эту величину и составит

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{(0,5 + 0,3)(h + h)}{h^2} = \frac{1,6}{h} \quad (7)$$

В целом следует отметить, что относительная ошибка измерения обратно пропорциональна линейному размеру измеряемой фигуры. Например, измерено два круговых значка, изображающих людность поселений. Диаметры их соответственно 5 и 10 мм. При основании масштабности — 100 человек (на 1 мм площади круга приходится 100 человек)

Относительные ошибки измерений площадей фигур, (%)

Линейные размеры фигуры, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100,0	75,0	66,6	62,5	60,0	58,3	57,2	56,2	55,5	55,0
2	75,0	50,0	41,7	37,5	35,5	33,2	32,2	31,2	30,6	30,0
3	66,6	41,7	33,3	29,2	26,6	25,0	23,8	22,9	22,2	21,7
4	62,5	37,5	29,2	25,0	22,5	20,8	19,7	18,8	18,1	17,5
5	60,0	35,0	26,6	22,5	20,0	18,3	17,2	16,3	15,6	15,0
6	58,3	33,2	25,0	20,8	18,3	16,7	15,0	14,6	13,9	13,3
7	57,2	32,2	23,8	19,7	17,2	15,0	14,3	13,4	12,7	12,2
8	56,2	31,2	22,9	18,8	16,3	14,6	13,4	12,7	11,8	11,3
9	55,5	30,6	22,2	18,1	15,6	13,9	12,7	11,8	11,1	10,6
10	55,0	30,0	21,7	17,5	16,0	13,3	12,2	11,3	10,6	10,0

количество жителей в первом пункте составляет 7850 человек, во втором — 31 400 человек. Для первого пункта необходимо учитывать ошибку $\pm 32\%$, а для второго $\pm 16\%$. Следовательно, ошибка определения количества жителей в первом пункте составляет ± 2500 человек, во втором — ± 5000 человек.

Мы рассмотрели наиболее общие аспекты влияния ошибок измерений линейных размеров на относительную ошибку измерений площадей. На практике эти ошибки чаще всего учитываются при оценке и определении количественных характеристик социально-экономических объектов. Подробно вопрос о точности количественных определений по специальным картам, в том числе социально-экономическим, разработан К. А. Салищевым [2] и А. И. Преображенским [1]. Нас этот вопрос интересовал с точки зрения ее влияния на метричность изображений на социально-экономических картах и точность получаемой информации по этим изображениям. В общем плане следует понимать, что изображение на социально-экономической карте метрично, если оно отвечает на вопросы, где, сколько, как. Естественно, что полный ответ в ряде случаев получить весьма сложно и даже невозможно. В зависимости от назначения, масштаба карты и особенностей картографируемого явления то или иное изображение на карте может ответить на все, на несколько или лишь на один из поставленных вопросов. Степень полноты ответа, как правило, свидетельствует о степени метричности изображений на карте. Причем имеется в виду полнота ответа на конкретный вопрос, а не на всю их совокупность. Следовательно, требования метричности изображений на социально-экономической карте можно

в упрощенном смысле свести к возможности с помощью имеющихся изобразительных средств показать на карте с той или иной степенью точности, где размещены объекты или явления, как размещены, их мощность, содержание или структуру, степень важности. Таким образом, задача заключается в поисках таких форм обозначений и выборе для них таких параметров и показателей, которые позволяют сделать картографическое изображение действенным средством предметного чувственного восприятия изображаемого.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А. И. Экономическая картография. М., Учпедгиз, 1953.
2. Салищев К. А. О точности количественных определений по специальным картам. М., Изд-во МГУ, 1963.
3. Салищев К. А. Картография. М., «Высшая школа», 1971.
4. Ratajski L. Mapy przemysłu, ich właściwości metodyczne i kartometryczne. — Prace Geograficzne, 1966, № 56.

Работа поступила в редколлегию 31 мая 1973 года. Рекомендована кафедрой экономической географии Черновицкого государственного университета.