

А.М. Жихарев, О.И. Горбачева

Особенности картографического изображения водотоков и оценка возможности их количественного выражения

Один из главных методов познания окружающего мира – моделирование, когда сам изучаемый объект явление или процесс заменяется другим, вспомогательным естественным или искусственным – моделью. Модель облегчает и упрощает процесс исследования, делает его менее трудоемким и более наглядным. Моделирование даёт новые факты и знания, подсказывает оригинальные идеи, помогает экспериментировать, выдвигать и проверять гипотезы, а в конечном счёте ведёт к новым открытиям. Модели никогда не воспроизводят всех свойств реального объекта, а лишь в большей или меньшей степени приближают к нему. В науках о Земле самыми распространёнными и удобными моделями традиционно служат карты. Зачастую карта является главным инструментом экологических исследований, обеспечивая не только сбор, фиксацию и обработку (анализ) информации, но также являясь и средством управления процессами практического приложения результатов теоретических изысканий, регламентируя их характер, направленность и масштабы. При этом в экологии также как и в географии, а порой даже в большей степени, информация «проходящая» через карту, имеет не только общий, иллюстративно-описательный характер, но и четкое количественное выражение с высоким порогом точности.

Карта является основным видом картографических моделей, значительно отличаясь от профилей, блок-диаграмм, планов и других их видов. Процесс создания карты очень сложный. Это, с одной стороны, определяется требованиями, предъявляемыми к самой карте, с другой стороны, сложностью картографируемой действительности. Поэтому, несмотря на чёткие математические принципы построения, любая карта содержит ис-

кажения, т.е. нарушения геометрических параметров объектов при их изображении на плоскости. Искажение длин линий является основным их видом.

Таким образом, существует проблема оценки и учёта степени количественной достоверности изображённых на карте объектов. Это относится и к так называемым линейным объектам, в том числе и к рекам, в особенности к малым, как не только наиболее распространённому их типу, но и классу природных объектов, обращающих на себя все более пристальное внимание ученых, экологов, хозяйственников.

Распространённость малых рек, тесная взаимосвязь с местными природными условиями и высокая степень зависимости от антропогенного воздействия обусловили определяющую роль малых рек в формировании природно-экологической ситуации не только в пределах собственных водосборов, но и на значительно более крупных территориях.

Очень часто малые реки и их бассейны находятся в сфере прямого и косвенного воздействия хозяйственной деятельности различной направленности и масштаба, нередко вызывая их негативные изменения, в том числе и необратимые. В этих условиях возникает необходимость регламентации мероприятий, затрагивающих малые реки и их бассейны, что в свою очередь требует детального изучения природно-экологической ситуации в пределах интересующей территории, предполагающего, в том числе и точную картометрическую оценку ряда характеристик.

Таким образом, исследование линейных объектов с использованием картографического материала должно проводиться с учётом возможной ошибки, связанной со свойствами картографического изображения.

Сущностью этой ошибки является нарушение действительных геометрических параметров географических объектов, особенно сильно проявляющееся именно у линейно вытянутых объектов. Оно связано с исполь-

зованием при создании карт двух видов проекций (горизонтального проецирования физической поверхности на математическую поверхность) и картографической (Гауссовой для топокарт) проекции, а также с генерализацией, являющейся следствием масштабирования изображаемой действительности, различного назначения карт (научные карты, туристические схемы, карты для широкого круга пользователей – охотников, рыбаков и др.) и качества печати.

Проявлением же ошибки является практически всегда занижение протяженности объекта по сравнению с реальной его длиной, как по причине невозможности сохранения на плоскости (карте) его кривизны в вертикальной плоскости, так и вследствие упрощения его плановых очертаний. И если значимость «вертикальной» ошибки, которая в большинстве случаев лежит значительно ниже порога точности оценки количественных параметров по карте не столь велика, то для рек, особенно протекающих по равнинным территориям, на первое место по значимости выходит именно ошибка связанная с упрощением их плановых очертаний.

Естественно, что существуют методики учёта этих ошибок как для любых линейных объектов вообще, так и для отдельных их типов. К числу последних можно отнести метод определения длин рек по картам, предложенный академиком Ю.М. Шокальским и сводящийся в общих чертах к соотношению визуально определяемой степени извилистости изображения реки на карте с соответствующими данному классу извилистости поправочными коэффициентами.

Сущность метода расчёта этих коэффициентов сводится к экстраполяции графика зависимости длины водотока определённого класса извилистости (всего 13 классов) от раствора циркуля-измерителя, которым по карте определяется длина. Значение длины, полученное при экстраполяции графика до нулевого раствора, и принимается за истинное. Отношение

этой длины к полученной по карте и даёт величину поправки, которая у каждого класса своя.

Таким образом, действительная длина реки может быть определена путём умножения длины реки, измеренной тем или иным раствором циркуля, на поправочный коэффициент соответствующий данному классу извилистости реки.

Опыт обработки картографического материала показывает, что хоть эта методика и имеет определённый позитив, но не лишена и недостатков, так как не учитывает ряд моментов. В частности, длина реки не является постоянной величиной и может меняться в небольших пределах вследствие образования нового русла, размыва берегов, блуждания по местности, спрямления излучин т.д.

Часто зависимость длины водотока от раствора циркуля-измерителя не является линейной, в связи с чем экстраполяция графика до нулевого раствора представляет определённую сложность и должна обосновываться математически.

Некоторая ошибка при измерении длин рек по топокартам может накапливаться в связи с невозможностью использования бесконечно малого раствора циркуля-измерителя. А если учесть, что измерения могут проводиться при различных растворах циркуля в зависимости от извилистости водотока (в целях экономии времени), то эта ошибка переходит в разряд систематических. Коэффициент не учитывает и рабочий раствор циркуля, а только извилистость реки, то есть при любом растворе циркуля - коэффициент остаётся тем же самым.

Кроме того, при использовании образцов шкалы извилистости Шокальского присутствует элемент субъективизма, роль которого возрастает тем больше, чем слабее графические различия между водотоками, относящимися в действительности к разным ступеням шкалы, что особенно зна-

чительно проявляется, если речная сеть относится к геоморфологически и климатически однородной территории.

В методике Шокальского также отсутствует возможность учёта перехода между картами разного масштаба, которые, несмотря на рекомендацию применять её для карт крупного масштаба, всё же достаточно разнообразны как по величине (50 м, 100 м, 250 м, 500 м, 1 км, а иногда и 2 км, 2,5 и даже 3 км), так и по степени генерализации и типу издания. Это приобретает значение когда возникает (нередко) необходимость, начав измерения по одной карте, продолжать их по другой (другого масштаба или назначения).

Кроме того, можно также отметить порой существенные отличия в степени плановой генерализации на картах одного масштаба на одну территорию, но ориентированных на разных пользователей, что нельзя не учитывать в условиях недостатка однотипного картографического материала на всю исследуемую территорию.

Необходимо иметь в виду и то, что значительное разнообразие градаций извилистости, при большом количестве подлежащих измерению водотоков, кривизна которых по длине может изменяться весьма сложно, существенно замедляет работу в связи с необходимостью соотнесения различных и многочисленных фрагментов реки с определённым классом извилистости и повышает вероятность использования разных коэффициентов для участков рек с одинаковой степенью кривизны, которая ошибочно может быть отнесена к разным ступеням шкалы Шокальского.

Таким образом, полезно располагать возможностью повысить точность измерений на более оправданных с математической точки зрения основаниях.

Как представляется, возможности решения вышеизложенных проблем заключаются в вычислении поправочных коэффициентов, являющих-

ся наиболее оптимальным средством выявления неточностей картографического изображения и количественного их выражения.

Поэтому для изучения возможности и путей решения вышеизложенных проблем с целью изыскания способов повышения точности результатов картометрических оценок водотоков было проведено детальное изучение свойств их картографического изображения с одновременной разработкой способов количественной оценки выявленных особенностей.

Во-первых, была предпринята попытка разработки коэффициента, который условно можно назвать адаптированным и который, с одной стороны, мог бы повысить точность метрических оценок по карте, с другой – позволил бы оценить величину отличия точности линейных размеров рек на картах разного масштаба и разного назначения, а также рек различной извилистости, а следовательно показал бы границы необходимости его применения. В качестве математической базы расчёта этого коэффициента был взят принцип расчёта поправочных коэффициентов Шокальского, однако разнообразие классов извилистости рек было снижено с тринадцати до трёх, а в качестве географической основы речная сеть северной части Ярославского Поволжья, т.е. территория центром которой в административном плане можно считать Даниловский, Любимский, Первомайский муниципальные округа Ярославской области.

Картографический материал включал планшеты топографических карт масштабов 500 м и 1 км, с которых снят гриф секретности и карты километрового масштаба Ярославской области, имеющиеся в свободной продаже.

Для расчёта коэффициента были выбраны характерные фрагменты пяти рек, являющихся в пределах данной территории наиболее отличающимися по степени извилистости, каждый из которых измерялся по указанным картам четырьмя различными растворами циркуля-измерителя (1;

1,5; 2 и 3мм). По результатам, которые фиксировались в виде таблиц, строились графики зависимости длины водотока от раствора циркуля. Линии графиков математически и графически экстраполировались до нулевого раствора циркуля – (вертикальная ось) – с которой и снималось значение длины реки, принимаемое за наиболее точное.

В силу отсутствия данных натуральных измерений длин рек за условно истинную длину принимались результаты, полученные на карте наиболее крупного масштаба из имеющихся. Деление условно истинной длины каждого водотока, полученной по карте полукилометрового масштаба на условно истинную длину того же водотока, полученную по картам более мелкого масштаба и различного издания позволило определить переходный коэффициент (поправка за масштаб), т.е. коэффициент, приводящий результаты измерений длин рек по картам более мелкого масштаба к условно истинным (таблица 1).

Таблица 1.

Рассчитанные коэффициенты перехода между масштабами с учётом раствора циркуля и извилистости водотока.

Раствор циркуля (г, мм)	Класс извилистости	Обеспечиваемый переход		
		От 1000 м/л к 500 м	От 1000 м/а к 500 м	От 1000 м/а к 1000 м/л
0 мм	1	1,00	1,06	1,06
	2	1,10	1,21	1,10
	3	1,03	1,11	1,08
1 мм	1	—	—	—
	2	1,06	1,09	1,03
	3	1,07	1,09	1,03
1,5 мм	1	1,01	1,06	1,04
	2	1,04	1,06	1,02

Краеведение

	3	1,02	1,02	1,01
2 мм	1	1,02	1,06	1,04
	2	1,06	1,06	1,00
	3	1,05	1,06	1,01
3 мм	1	1,03	1,06	1,03
	2	1,08	1,08	1,00
	3	1,04	1,06	1,01

Во-вторых, были рассчитаны поправки за раствор. Поправка за раствор рассчитывалась в целях изучения величин ошибки, связанной с невозможностью использования бесконечно малого раствора циркуля-измерителя, и разработки способа её учёта. Поправки за раствор и поправки за масштаб рассчитывались как отдельные коэффициенты (для анализа свойств картографического изображения) и как единый (общий) коэффициент для непосредственной работы (расчетов).

Поправка за раствор рассчитывалась математически для основных (наиболее используемых) растворов циркуля (1; 1,5; 2 и 3 мм) как частное от условно истинной длины водотока, полученной за счёт графической экстраполяции данных, снятых с карты 500 – метрового масштаба и длины этого же водотока (или его фрагмента) полученной при указанных растворах циркуля и использовании различных карт (таблица 2).

Таблица 2

Величина поправочных коэффициентов за раствор циркуля – измерителя.

Величина коэффициента при растворе (r, мм) для класса извилистости	Вид картографического материала		
	Топокарта 1:50000	Топокарта 1:100000	Атлас Ярославской области 1:100000
1 кл.	—	—	—

Краеведение

r = 1мм	2 кл.	1,16	1,23	1,27
	3 кл.	1,02	1,09	1,12
r = 1,5мм	1 кл.	1,03	1,04	1,09
	2 кл.	1,23	1,28	1,31
	3 кл.	1,10	1,12	1,12
r = 2мм	1 кл.	1,04	1,06	1,10
	2 кл.	1,25	1,33	1,33
	3 кл.	1,14	1,19	1,20
r = 3мм	1 кл.	1,06	1,09	1,12
	2 кл.	1,28	1,375	1,375
	3 кл.	1,19	1,24	1,26

Общий коэффициент, учитывающий и раствор циркуля и различие масштабов рассчитывался как сумма коэффициентов поправок за раствор и перехода между масштабами.

Расчётные данные, представлены в графической форме (графики зависимости величины поправок за раствор и общего коэффициента от раствора циркуля-измерителя и извилистости водотока для топокарт километровой и пятисотметровой масштаба, графики зависимости поправочного коэффициента за раствор от раствора циркуля-измерителя и вида картографического материала), а также в виде таблиц (таблица 3).

Расчет поправочных коэффициентов и анализ графического отображения закономерностей изменения их величины в зависимости от заданных параметров (те есть масштаба и раствора) позволяют выявить некоторые особенности картографического изображения водотоков.

Таблица 3.

Величина поправочных коэффициентов за раствор циркуля – измерителя и общих коэффициентов.

Раствор цир-	Класс изви-	Вид картографического материала
--------------	-------------	---------------------------------

Краеведение

куля r, мм	листочести во- дотока	Топокарта 1:50000	Топокарта 1:100000	Атлас Яро- славской об- ласти 1:100000
r = 1 мм	1 кл.	—	—	—
	2 кл.	1,16	1,23/1,12	1,27/1,05
	3 кл.	1,02	1,09/1,06	1,12/1,005
r = 1.5 мм	1 кл.	1,03	1,04/ 1,04	1,09/1,03
	2 кл.	1,23	1,28/1,16	1,31/1,08
	3 кл.	1,10	1,12/1,085	1,12/1,01
r = 2 мм	1 кл.	1,04	1,06/1,06	1,10/1,04
	2 кл.	1,25	1,33/1,21	1,33/1,10
	3 кл.	1,14	1,19/1,16	1,20/1,08
r = 3 мм	1 кл.	1,06	1,09/1,09	1,12/1,06
	2 кл.	1,28	1,375/1,25	1,375/1,13
	3 кл.	1,19	1,24/1,21	1,26/1,13

Примечание: Справа указаны значения коэффициентов за раствор. Слева и одним числом – значения общих коэффициентов.

Во всех случаях, кроме водотоков минимальной извилистости (1 класс извилистости), для карты пятисотметрового масштаба все зависимости имеют нелинейный характер, т.е. графики – не прямые линии. Наиболее простой вид у графиков, иллюстрирующих изменение общего коэффициента для топокарты 500-метрового масштаба, наиболее сложный - для атласа Ярославской области (1:100000). Именно с характером зависимости связана величина ошибки содержащейся в коэффициенте, т.е. только в случае линейного характера графиков поправочные коэффициенты будут

обеспечивать истинные результаты длины водотоков. Простой характер имеет и указанная зависимость для атласа в интервале растворов 1,5 – 4мм.

За исключением водотоков минимальной извилистости, на карте 500-метрового масштаба величина поправочного коэффициента определяется не только извилистостью водотока и типом картографического материала, но и самим конкретным водотоком используемым для расчёта. Это свидетельствует о том, что степень генерализации водотоков средней и максимальной извилистости есть величина непостоянная, причём, не только в пределах листа карты, но также и вдоль одного водотока. Таким образом, расчёт точных поправочных коэффициентов в этих случаях не представляется возможным без обработки очень большого количества измерений и даст даже при этом условии относительно верный коэффициент только для конкретного листа карты.

Величина поправочных коэффициентов вне зависимости от степени извилистости водотока, определяется картографическим материалом и в целом минимальна для топокарт более крупного масштаба. В атласах Ярославской области выпущенных для широкого круга пользователей этот коэффициент максимален, что свидетельствует об их более низкой точности (большей степени генерализации при изображении водотоков).

Оказалось неожиданным, что среди водотоков разных классов извилистости с наибольшей степенью искажения изображены водотоки средней извилистости. Поправочный коэффициент их на порядок выше, чем у водотоков минимальной и максимальной кривизны. Эта закономерность проявляется очень ярко при использовании в качестве базы для расчёта коэффициента любого водотока средней извилистости (несмотря на то, что в каждом случае значения коэффициентов будут несколько иными).

Наиболее сложная зависимость (3 перегиба графика) величины поправочного коэффициента от раствора циркуля-измерителя характерна для

рек максимальной извилистости на топокартах километрового масштаба. В этом случае наиболее выигрышный (в плане точности результатов) является раствор циркуля интервалом от 1 до 2,5 мм.

Графическая форма выражения рассмотренных выше зависимостей позволила определить градиенты для расчёта общих поправочных коэффициентов для произвольных растворов циркуля-измерителя, т.е. отличных от 1; 1,5; 2 и 3 мм и выявить закономерности их изменения для различных масштабов и классов извилистости водотоков. С некоторой величины градиенты общих коэффициентов становятся постоянными величинами (графики приобретают вид прямых или близких к ним линий). Для разных классов извилистости и разных по масштабу и изданию карт эта величина различна (таблица 4), но в интервале растворов циркуля-измерителя от 2 мм и приблизительно до 4-5 мм зависимость ближе к линейной и в случае достаточного количества исходного материала значения коэффициентов можно определить довольно точно. То есть, начиная с этих растворов и более поправочные коэффициенты можно рассчитывать как функцию линейной зависимости с известным градиентом, в то время, как использование более мелкого раствора при измерении длин водотоков по топокартам не обеспечивает, как принято думать, увеличения точности результата.

Таблица 4.

Минимальная величина раствора ($r_{\min, \text{мм}}$), при которой градиенты поправки за раствор и общего коэффициента постоянны.

Тип карто- графического материала	Класс изви- листо- сти	$r_{\min, \text{мм}}$ для по- правок за рас- твор	Постоянный градиент (на каждый мил- лиметр рас- твора)	$r_{\min, \text{мм}}$ для об- щего ко- эффици- ента	Постоян- ный гради- ент (на ка- ждый мм раствора)

Краеведение

Топокарта 1:50000	1	0	0,02/1мм	0	0,02/1 мм
	2	1,5	0,03/1мм	1,5	0,03/1мм
	3	2	0,05/1мм	2	0,05/1мм
Топокарта 1:100000	1	2 (2,5)	0,015/1 мм	2 (2,5)	0,015/1 мм
	2	2 (3)	0,035/1 мм	2,5 (3)	от 0,18 до 0,04/1 мм
	3	2 (3)	0,02/1 мм	3	от 0,015 до 0,04/1 мм
Атлас 1:100000	1	0	0,02/1 мм	1,5	0,02/1 мм
	2	2	0,03/1 мм	2	0,044/1 мм
	3	3	0,032/1 мм	2	0,06/1 мм

Примечание: В скобках указаны величины растворов, исключаяющие переменные градиенты в тех случаях, когда графический переход к ним слабо выражен.

Разброс величины постоянных градиентов для общего коэффициента топокарты 1:100000 связан с неоднозначностью графической экстраполяции линий графиков, однако наиболее верным представляется меньшее значение градиента.

Таким образом, степень генерализации водотоков при их изображении на карте непостоянна даже в пределах одного листа и зависит не только от масштаба и типа картографического материала, но и от извилистости водотока, и по сути у каждого водотока своя. Хотя возможность выведения количественной поправки, обеспечивается сущностью карты как математической модели, это исключает возможность получения точного однозначного её значения на всё поле карты (для всех водотоков), если её расчёт строится на небольшом количестве исходных данных и требует более

детального анализа с привлечением весьма значительных объёмов первичного материала. Однако результаты изучения свойств картографических моделей в отношении особенностей передачи параметров водотоков, полезно учитывать при работе с картой, поскольку уже на таком уровне изучения проблемы они позволяют с большим, чем обычно приближением определить величину возможной ошибки, а также повысить точность результатов картометрических работ.

Литература

1. Атлас Ярославской области. Масштаб 1:100 000.- М.: Аст-пресс, 2002.
2. Атлас Ярославской области. География история.- М.: ДИК, 1999.
3. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экономических и географических исследованиях. - М. Академия, 2004.
4. Апполов Б.А. Учение о реках. - М.: МГУ, 1952.
5. Исаченко А.Г. Физико-географическое картирование. – Л.: ЛГУ, 1958.
6. Салищев К.А. Проектирование и составление карт. - М.: МГУ, 1987.