

КАК ИЗМЕРИТЬ КИЛОМЕТР?

В.А. Прытков

Минск, Беларусь, сентябрь 2017 года

В статье пойдет речь о точности измерений протяженности маршрута при помощи современных средств — цифровых карт и треков навигаторов, и о влиянии способа измерения и выбранного измерителя на полученный результат.

На что влияют масштабы карт

Одним из параметров, который необходимо соблюдать, чтобы маршрут соответствовал той или иной категории сложности, является протяженность маршрута. До недавнего времени правила проведения походов гласили: «Нормативная протяженность похода принимается как минимальная, ориентировочная длина маршрута для данной категории сложности. В отдельных случаях, по согласованию с МКК, протяженность может быть уменьшена, но, как правило, не более чем на 25% по сравнению с указанной в Таблице при превышении номинального числа определяющих препятствий. Протяженность маршрута в сильнопересеченной местности (препятствия, затрудняющие движения, занимают более 30% ее площади) измеряется по карте масштаба 1:100 000, и полученный результат умножается на коэффициент 1,2». Итак, никаких требований по процедуре измерения не было установлено. Только для случая сильнопересеченной местности появлялось одно-единственное требование: масштаб карты, по которой проводят измерение, должен быть равен 1:100 000 (карта-километровка). Но давайте проведем эксперимент: а будет ли протяженность маршрута, измеренная по картам разных масштабов, одинакова?

В таблице представлены результаты такого эксперимента. Протяженность измерялась по картам масштаба 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000 по фрагментам реально пройденных маршрутов. Для расчетов брались только те фрагменты маршрутов, для которых имелись карты всех трех масштабов. В столбцах «%» измеренная протяженность дана по отношению к протяженности, измеренной по карте-километровке.

Маршрут	1:50 000		1:100 000	1:200 000	
	км	%		км	%
2010, Центральный Кавказ, IV к.с.	99,3	108,9	91,2	91,7	100,5
2013, Центральный Кавказ, V к.с.	90,8	110,6	82,1	80,8	98,4
2015, Терской Алатао, V к.с.	83,8	99,3	84,4	81,2	96,2
2016, Терской Алатао, V к.с.	99,4	100,5	98,9	98,3	99,4
2017, Грузия, II к.с.	44,2	102,1	43,3	43,0	99,3
2017, Беларусь, I к.с.	23,0	99,1	23,2	21,8	94,0

Несмотря на то, что на карте-пятисотметровке больше детализация, т. е. больше изгибов троп, рек и т. д., даже тщательная прорисовка маршрута не всегда дает значительный прирост, как можно было бы ожидать. Видно, что переход от километровки к пятисотметровке практически не изменяет результат, за исключением Центрального Кавказа, где наблюдается 10% прирост. В среднем протяженность маршрута, измеренная по карте-пятисотметровке на 3,4% больше (на 0,3%, если не считать сильно выпадающий из общего ряда Центральный Кавказ). А вот при использовании двухкилометровки детализация снижается и ожидания оправдываются — измеренная по ней протяженность меньше, в среднем на 2%.

Получается, что руководитель может увеличить измеренную протяженность маршрута, не увеличивая реально пройденный путь, а просто используя карту максимально доступного масштаба. Тем самым нарушается принцип спортивной справедливости и равных условий для

спортсменов.

В действующих Правилах вида спорта «Туризм спортивный» требования к измерению протяженности скорректированы: «Нормативная протяженность похода принимается как минимальная, ориентировочная длина маршрута для данной категории сложности. Протяженность маршрута измеряется по карте масштаба 1:100 000. В сильнопересеченной местности (препятствия, затрудняющие движения, занимают более 30% ее площади) полученный результат умножается на коэффициент 1,2». Таким образом, способ измерения стандартизирован: только по карте масштаба 1:100 000. Фактически, измерения по картам других масштабов не допускаются. Похоже, что теперь у руководителя нет никаких шансов «накрутить» пару-тройку лишних километров только путем «правильного» измерения протяженности?

Старый добрый курвиметр

Когда-то вопроса как и чем измерять протяженность не возникало: бралась бумажная карта и по ней курвиметром измерялся планируемый или пройденный путь группы. Нормативы по протяженности также устанавливались в расчете на измерение именно таким образом, так как он был единственно возможным. Цифровых карт просто не было, так же как и компьютерных программ, позволяющих измерить по ним расстояние, не говоря уже об онлайн-сервисах или Google Earth. Не было и GPS-навигаторов с возможностью записи трека. Влияет ли средство измерения на полученный результат?

Проведем еще один эксперимент. Сравним фрагменты реальных маршрутов, измеренные курвиметром по бумажной карте масштаба 1:100 000, с ними же, но измеренными по цифровой растровой карте-километровке в программе OCAD, а также в Google Earth с использованием космоснимка. В столбцах «%» указано отношение результатов измерений в OCAD и Google Earth к измерению курвиметром. Здесь для упрощения не измерялись отдельные короткие радиальные выходы и некоторые участки маршрута по хорошим дорогам. Результаты измерений:

Номер	Фрагменты маршрутов	курвиметр	OCAD		Google Earth	
		км	км	%	км	%
1	2010, Центральный Кавказ, IV к.с.	165,1	165,0	99,9	166,2	100,7
2	2012, Полярный Урал, V к.с.	174,3	178,3	102,3	177,4	101,8
3	2013, Центральный Кавказ, V к.с.	181,4	186,6	102,9	192,0	105,8
4	2015, Терской Алатао, V к.с.	154,5	156,3	101,2	156,2	101,1
5	2016, Терской Алатао, V к.с.	172,4	175,2	101,6	177,4	102,9
6	2017, Беларусь, I к.с.	109,1	109,7	100,5	107,6	98,6
7	2017, Сев. Осетия, II к.с. с эл. IV к.с.	99,6	104,3	104,7	107,1	107,5

Сегодня все меньшее количество руководителей использует старый добрый курвиметр. По результатам измерений видно, что протяженность, измеренная при помощи цифровых карт и соответствующих компьютерных программ, как правило, больше, чем измеренная курвиметром, правда, не намного — в среднем на 1,9 %, Google Earth также дает результат, в среднем на 2,6% больше, чем измерение при помощи курвиметра. Вероятно, что на цифровой карте можно более тщательно прорисовать нитку маршрута, чем это получается при помощи курвиметра. Google Earth также позволяет более тщательную прорисовку, так как в большинстве случаев для местности подгружается карта с высоким разрешением. Итак, у руководителя, использующего современные цифровые карты, и детально прорисовавшего маршрут, может быть «фора» по протяженности около 2-2,5% от протяженности маршрута.

Вопрос, нужны ли из-за этого поправки в правила, остается, однако, дискуссионным.

Заставить всех измерять курвиметром невозможно, прогресс не остановить. Но вот форматов цифровых карт множество, начиная от растровых и заканчивая различными векторными форматами. Еще большее множество программных средств для работы с цифровыми картами. Выбрать два-три формата и пару-тройку программ, и жестко закрепить их в правилах? Но где гарантия, что уже через год какие-то из них не устареют и не сменятся новыми? Возможно, стоит ввести поправочные коэффициенты, или скорректировать нормы по протяженности, учитывая, что большинство пользуются именно цифровыми картами? Однако для этого надо будет проверить модель на маршрутах разных видов туризма, разной категории и в разных районах, причем для разных форматов цифровых карт и различных компьютерных программ. По самым скромным подсчетам — это несколько тысяч измеренных маршрутов. А стоит ли поправка в 2-3% той колоссальной работы, которая для этого потребуется?

Что нам скажет GPS

Еще большую сумятицу вносит измерение протяженности по записанному треку. Почему? Да потому что у GPS также есть погрешность измерений, причем точность показаний зависит от количества спутников. И вот, после включения прибора начинается измерение, и навигатор выдает несколько координат, последовательно приближающихся к реальному положению прибора на местности по мере обнаружения новых спутников. Кроме того, если прибор не выключать на стоянках, он намеряет и все то расстояние, что найдено во время обеда или ночевки. И даже если в это время он будет просто лежать в кармане рюкзака или палатки без каких-либо реальных перемещений, он даст серию координат, которые будут хоть немного, но отличаться друг от друга, а значит, увеличат длину трека.

Чтобы запутаться окончательно, можно добавить, что зачастую GPS-навигатор не включается в режиме непрерывной записи трека, а только эпизодически. Почему? Например, популярные модели Garmin eTrex имеют кнопку-джойстик, на которую при движении по маршруту происходят произвольные нажатия. В итоге навигатор находится в фоновом режиме очень редко, большую часть времени в активном, со включенным экраном, сам отмечает маршрутные точки и пр. Мало того, что всю его «работу» потом приходится удалять, но еще и заряд батарей расходуется очень быстро — иногда за сутки. На многодневный поход IV-V к.с. в этом случае ни батареек, ни «пауэр-банков» не напасешься. Поэтому навигатор большую часть времени отключен, включается только на несколько минут в случаях, когда надо уточнить местоположение. В режим непрерывной записи трека переходят на критических участках, например, на ледовых полях, когда возможна потеря ориентировки (радиальный выход, из-за непогоды может понадобиться вернуться по своим следам и т.д.)...

Тут начинается самое интересное. С одной стороны, навигатор увеличивает протяженность измеренного трека, за счет «рысканий» вблизи реальных координат, с другой — если включен не постоянно — уменьшает ее за счет сглаживания изгибов, коротких обходов препятствий, т. е. ведет себя так же, как если перейти на карту с меньшим масштабом.

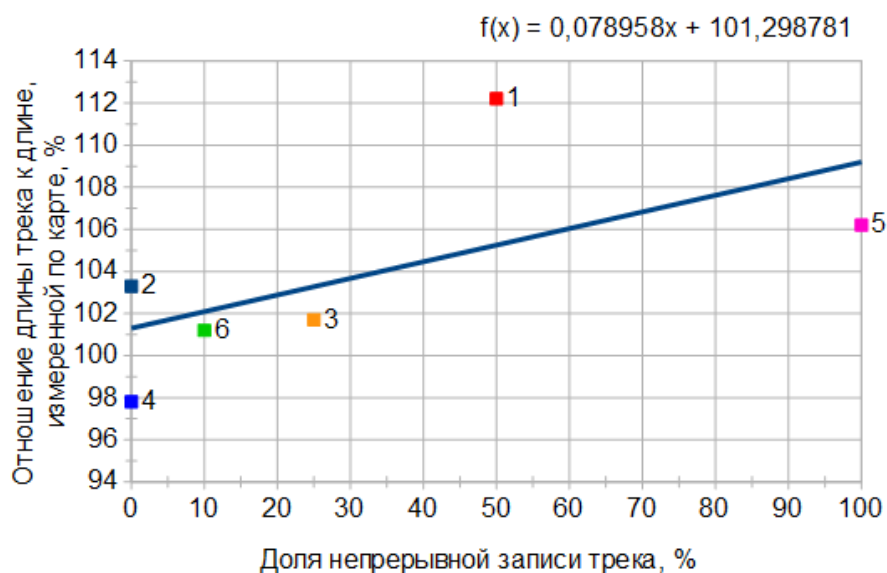
С экспериментом посложнее — надо выходить на местность и записывать трек. Для анализа взяты данные, полученные в ходе реальных маршрутов с использованием навигатора Garmin eTrex 30. На отдельных участках маршрутов, достаточно протяженных, навигатор не использовался вовсе, поэтому в таблице приведены данные только для тех фрагментов маршрутов, на которых навигатор использовался. Только один из треков по Беларуси писался полностью в непрерывном режиме, остальные — когда навигатор включался на короткое время для определения местоположения, а непрерывный режим использовался на отдельных участках.

Номер	Фрагменты маршрутов	OCAD, 1:100 000, км	Трек			
			Непрерывная запись	км	% ₁	% ₂
1	2013, Центральный Кавказ, V к.с.	129,1	примерно 1/2 маршрута	140,7	109,0	112,2
2	2014, Киргизский хребет, IV к.с.	70,6	нет	71,6	101,4	103,3
3	2015, Терской Алатао, V к.с.	150,5	примерно 1/4 маршрута	151,2	100,5	101,7
4	2016, Терской Алатао, V к.с.	152,2	нет	146,5	96,3	97,8
5	2017, Беларусь, I к.с.	109,7	да, полностью	116,0	105,7	106,2
6	2017, Сев. Осетия, II к.с. с эл. IV к.с.	76,6	примерно 1/10 маршрута	74,1	96,7	101,2

Видно, что трек при условии его непрерывной записи (маршрут №5) отличается от построенного теоретически на 5,7% в большую сторону. Похожая картина наблюдается и на маршруте №1, где примерно 1/2 пути писалась в режиме непрерывной записи. А вот в остальных случаях, когда непрерывный режим записи трека использовался слабо или не использовался вовсе, длина трека близка к измеренной по карте или даже меньше. Однако эти проценты взяты относительно протяженности, измеренной в OCAD, которая уже превышает протяженность, измеренную курвиметром. Результат, пересчитанный относительно протяженности, измеренной курвиметром, приведен в последнем столбце. Для маршрута №2 точных данных по соотношению измерений OCAD/курвиметр не было, поэтому использовалась ранее рассчитанная средняя величина (1,9).

По имеющимся данным (хотя их явно недостаточно для получения высокой достоверности результата) уже можно построить диаграмму отношения длины трека к протяженности, измеренной по карте, в зависимости от доли трека, записанного в непрерывном режиме, и даже выполнить линейную аппроксимацию имеющихся данных. Аппроксимирующая прямая будет иметь уравнение: $f(x) = 0,078958x + 101,298781$.

С учетом аппроксимации получаем, что трек составляет в среднем 101,3% от протяженности, измеренной курвиметром, если непрерывный режим записи трека не использовался вовсе, и 109,2%, если трек писался исключительно в непрерывном режиме. Очевидно, что эти данные касаются только одного типа навигаторов, на других, включая Android-устройства, могут быть получены и иные значения.



Что делать еще и с этими, полученными с GPS-навигатора, измерениями протяженности? Ведь это, пожалуй, наиболее объективные данные о протяженности маршрута (если исключить километры, «намотанные» навигатором на стоянках), поскольку они дают информацию о реальном маршруте группы и его длине. Но если двумя «лишними» процентами при использовании цифровых растровых карт еще можно пренебречь, то девять процентов, добавленных навигатором, уже заставляют волноваться. Представим ситуацию: две группы выставляют походы на чемпионат, реальная протяженность маршрута у обеих одинакова, но одна измеряла ее по бумажной карте курвиметром (и вовсе не потому, что не использовался навигатор), а вторая — взяла данные навигатора. При одинаковой фактической протяженности, вторая группа показывает цифры на 9% больше. Первая оказывается в проигрыше при реально одинаковом результате.

Можно и не менять правила. Но... У нас гораздо более компактное, легкое и прочное снаряжение и экипировка, чем 30 лет назад. С учетом GPS-навигации намного легче ориентироваться даже в труднодоступной местности и в плохих погодных условиях. В некоторых видах туризма, например, в пешеходном, нормативы по протяженности также уменьшены по сравнению с тем временем. А теперь выясняется, что еще и неявно протяженность может быть снижена на 9% за счет измерения навигатором. Не слишком ли мы обесцениваем свои спортивные достижения?

Бонус

Самое интересное, что подобные проблемы, связанные с генерализацией карт или погрешностью измерений за счет «шага» измерителя нашли свое отражение в самой настоящей науке и немало способствовали развитию теории фракталов.

Например, Е.Федер в книге «Фракталы» (Москва, изд. «Мир», 1991) так описывает эту проблему:

«Сколь велика длина береговой линии Норвегии? ... Я мог бы придать циркулю раствор, соответствующий δ км, и сосчитать число шагов $N(\delta)$, которые понадобились бы мне, чтобы пройти по карте из конца в конец все побережье. В спешке я мог бы выбрать раствор циркуля настолько большим, что мне не понадобилось бы заботиться даже о самых глубоких фиордах, и принять за длину береговой линии величину $L = N(\delta) \cdot \delta$. Если бы мне возразили, что такая оценка неточна, то я выбрал бы несколько меньший раствор циркуля δ и повторил все сначала. На этот раз в длину береговой линии вошли бы и наиболее глубокие фиорды. ... Всякий раз, когда мы будем увеличивать разрешающую способность, длина береговой линии будет разрастаться. ... Если бы береговая линия Норвегии имела вполне определенную длину L_N , то можно было бы ожидать, что число шагов шагов циркуля ..., необходимых для покрытия береговой линии на карте, будет обратно пропорционально δ , а величина $L(\delta) = N(\delta) \cdot \delta$ при уменьшении δ будет стремиться к постоянной L_N . Но нашим ожиданиям не суждено сбыться.

... При уменьшении длины шага δ измеренная длина возрастает. ... При уменьшении δ измеренная длина береговой линии отнюдь не стремится к постоянному значению. Наоборот, измеренная длина прекрасно описывается приближенной формулой $L(\delta) = a \cdot \delta^{1-D}$. Для обычной кривой можно было бы ожидать, что $a = L_N$ (по крайней мере при достаточно малых δ) и показатель D равен единице. Но для береговой линии Норвегии ... $D \approx 1,52$. Береговая линия — фрактал с фрактальной размерностью D .»

Заключение

В статье исследованы проблемы, связанные с погрешностью измерений протяженности маршрута, выполненных разными способами, включая использование цифровых растровых карт и соответствующих компьютерных программ, а также треков GPS-навигаторов. Одна из обнаруженных проблем - увеличение измеренной протяженности маршрута при увеличении масштаба используемых карт. Вторая - увеличение протяженности, измеренной программными средствами по цифровой растровой карте, на 2-2,5% по сравнению с измеренной курвиметром. Третья - увеличение протяженности, измеренной по треку навигатора в режиме непрерывной записи, в среднем на 9% по сравнению с измеренной курвиметром.

Сведем в общую таблицу полученные результаты (в %), показывающие, как средство измерения протяженности влияет на результат относительно классического измерения курвиметром по карте масштаба 1:100 000.

Масштаб	Курвиметр	OCAD	Google Earth	Навигатор в режиме непрерывной записи
1 : 50 000	103,4	105,7	102,6	109,2
1 : 100 000	100,0	101,9		
1 : 200 000	98,0	99,9		

Google Earth и навигатор дают одинаковое превышение, так как они не привязаны к масштабу карт. Соответственно, таблица поправочных коэффициентов, на которые надо умножать полученные результаты измерения протяженности в зависимости от средства измерения будут выглядеть так:

Масштаб	Курвиметр	OCAD	Google Earth	Навигатор в режиме непрерывной записи
1 : 50 000	0,967	0,946	0,975	0,916
1 : 100 000	1	0,981		
1 : 200 000	1,020	1,001		

Поскольку цифровые карты и треки используются для измерений протяженности маршрута все чаще, и учитывая существенную - до 9% - разницу в результатах измерений в зависимости от используемых средств, назрела необходимость каким-либо образом скорректировать действующие нормативы протяженности маршрутов и отдельные пункты правил с учетом полученных данных.