

ДИСКУССИИ

УДК 551.4.03:528.067.4

© 1999 г. А.М. БЕРЛЯНТ

ТЕОРИЯ МОРФОМЕТРИИ: НОВЫЙ ЭТАП

"Второе рождение" морфометрии

Эта статья написана в связи с выходом в свет книги Ю.Г. Симонова "Морфометрический анализ рельефа" [1]. Но это не рецензия и даже не дискуссия, а скорее размышление на тему о становлении теории морфометрии, возникшее под впечатлением от прочитанного. Подобных книг до сих пор в нашей литературе не было.

Конечно, есть немало классических трудов по морфометрии рельефа – отечественная геоморфология вправе гордиться достижениями в этой области. Прежде всего, следует назвать капитальный труд Н.М. Волкова "Принципы и методы картометрии" [2] – однако, это все же лишь подробнейшее рассмотрение технических проблем измерений по картам. Книга А.И. Спиридонова "Геоморфологическое картографирование", вышедшая не одним изданием [3], излагает, главным образом, методику построения морфометрических карт. Фундаментальная монография А.С. Девдариани "Математический анализ в геоморфологии" [4] касается не столько собственно морфометрии, сколько математического моделирования в геоморфологии. Труды Л.Б. Аристарховой, С.Д. Муравейского, Р.Х. Пириева, В.П. Философова, И.Г. Черванева, Э.Л. Якименко и других авторов посвящены отдельным проблемам морфометрии, системам показателей, комплексам морфометрических карт, новым, подчас весьма оригинальным, методикам.

Монография Ю.Г. Симонова, скромно обозначенная как учебное пособие, является по сути **первым основательным теоретическим исследованием** проблем морфометрии рельефа (хотелось бы, невзирая на стилистические погрешности, сказать – "геоморфологической морфометрии"). Как всегда, теоретический труд хорош не только обобщением достигнутого знания и введением в научный оборот новых парадигм и методологических конструкций, но еще и тем, что будит мысль, вызывает желание поспорить в поисках истины, дает стимул для дальнейших теоретических изысканий. Книга Ю.Г. Симонова принадлежит именно к этой категории научных трудов. Впервые, пожалуй, морфометрия предстала не просто техникой измерений, но существенным элементом теории геоморфологии и даже шире – географии в целом.

Поэтому представляется полезным рассмотреть монографию именно с точки зрения ее теоретико-методологического потенциала. Нет сомнения, что в будущем книга породит еще много конструктивных идей и методик, в том числе, и в теории измерений, и в картографии и в иных смежных науках – можно полагать, что автор более всего к этому стремился.

В основу теории Ю.Г. Симонов положил рассмотрение форм рельефа как объектов исследования. Это как бы само собой разумеется – чем еще должна заниматься

морфометрия, как не формами рельефа? Но до сего времени мало кто так подробно проанализировал – причем, именно с позиций морфометрического анализа – особенности выделения форм рельефа, неопределенный характер их границ, типы точек, линий и поверхностей, образующих структурные инварианты, морфосистемы и их выраженность в облике земной поверхности. Показано, что теоретически возможное число типов рельефа превышает 32 тысячи. Наконец, рассмотрены способы представления форм рельефа на картах разных масштабов и связанные с этим неточности.

От морфологии и морфометрии автор протягивает надежную связь к генезису и динамике рельефа и это означает, что морфометрический анализ обеспечивает получение не только формально геометрических, но и содержательно значимых результатов.

Интересно рассмотрена история идей и методов морфометрии, а также три этапа ее развития: 1) формирование основ; 2) накопление опыта измерений; 3) возрождение и стремительное развитие, сопровождающееся морфометрическим картографированием. Правда, утверждение о том, что исторически первым этапом развития морфометрии было топографическое картографирование, представляется парадоксальным. Ю.Г. Симонов считает, что "топографические карты, по которым в настоящее время проводится большинство современных исследований, по существу, сами являются результатом первых морфометрических работ, выполненных геодезистами и топографами" [1, с. 18] – это, пожалуй, слишком уж расширительная трактовка морфометрии.

Но во всяком случае, можно утверждать, что сегодня морфометрия вышла на новый, четвертый этап теоретического осмысления своего предмета и метода. Она переживает, как пишет сам Ю.Г. Симонов, второе рождение.

И, по-видимому, начало нового этапа положено рассматриваемой монографией.

Морфометрия и картографические знаковые системы

Морфометрию нередко рассматривают как исключительно геоморфологический метод. Ю.Г. Симонов во первых строках предисловия вполне определенно высказывается о том, что морфометрический анализ приобрел теперь большое значение не только в геоморфологии, но и в других науках, например, в биологии и геологии. Но далее не совсем последовательно пишет, что "морфометрия – научное направление геоморфологии, исследует количественные (геометрические) свойства рельефа земной поверхности с целью их выявления и описания..." [1, с. 32]. А между тем, почти все отрасли географии "обзавелись" своей морфометрией: в ландшафтоведении это ландшафтометрия, в почвоведении – педометрия, в медицинской географии – нозометрия, в социально-экономической географии – демометрия (морфометрия расселения) и топоморфометрия сетей, в планетологии – планетометрия и т.д.

С науковедческих позиций чрезвычайно интересно проследить, как методы морфометрии связаны с картографическими способами изображения и в какой мере это определяет развитие отдельных наук. Скажем, в геофизике, геоморфологии, океанологии преобладают изолинейные карты, и это повело к разработке приемов изучения градиентов (уклонов), экспозиций, горизонтального и вертикального расчленения, к выделению фона и аномалий полей и т.п. В почвоведении, биогеографии, ландшафтоведении основными способами изображения являются качественный фон и ареалы – отсюда и появление таких морфометрических показателей, как индекс раздробленности, контрастность, однородность, сложность ареалов и полное отсутствие таких характеристик как, например, градиенты или уклоны (что, между прочим, было бы очень целесообразно). А на социально-экономических картах господствуют пункты и сети, и это вызвало к жизни такие морфометрические показатели, как плотность пунктов и сетей, меры взаимной близости (удаленности), доступности, характеристики радиуса влияния, показатели топологии сетей и т.п.

Можно даже сказать, что способы изображения (язык карты) во многом определяют направление развития количественных методов в той или иной отрасли географии, и даже более того – знаковая система в значительной мере влияет на само формирование этих отраслей. Чтобы наглядно убедиться в этом, достаточно сопоставить морфометрию рельефа и ландшафтометрию (см. работы В.А. Николаева [5], А.С. Викторова [6] и др.).

Интересно, что смена знаковой системы способна определенным образом изменить и направление исследований. Скажем переход к изолинейным (а точнее, к псевдо-изолинейным) полям плотности социально-экономических объектов породил представления о "промышленном рельефе", о "потенциале поля расселения" и др. – это стало основой для постановки новых исследовательских задач и поиска новых решений. С другой стороны, при анализе собственно геоморфологических карт, составленных способом качественного фона, стали широко использовать методы изучения соседства, контрастности, изотропности (анизотропности), первоначально разработанные в ландшафтометрии.

Все это еще раз свидетельствует о важности общей теории морфометрического анализа. И монография Ю.Г. Симонова позволяет увидеть в нем не просто некий комплекс технических приемов, набор коэффициентов или "сумму технологий", но особую отрасль научного знания.

Морфометрия и картометрия

Соотношение картометрии и морфометрии – вопрос, оказавшийся довольно запутанным в методологическом плане. Одни авторы – чаще всего, картографы – целиком включают морфометрию в картометрию. Так поступил, например, классик отечественной картометрии Н.М. Волков [2], чем изначально запутал дело. Другие, обычно геоморфологи, думают прямо противоположным образом, относя к морфометрическим показателям все картометрические величины. Примером могут служить работы такого видного морфометриста, как В.П. Философов [7] и многих его последователей. Они полагают, что получение любых количественных показателей, характеризующих рельеф, любой анализ топографических карт – это несомненно морфометрия. Третьи, как правило, геофизики и математики – вообще не делают особого различия между морфометрией, картометрией и сопутствующей им математико-статистической обработкой данных, снимаемых с карт, считая что все это примерно одно и то же – не в терминах дело.

Ю.Г. Симонов считает картометрию и морфометрию лишь разными проявлениями "геометризации рельефа", ориентированной на "установление количественных связей между размерами изучаемых фигур и тел – их длиной, площадью их поверхности и объемом" [1, с. 54]. Это вполне справедливо. Но в другом месте он пишет: "Если бы морфометрия количественно изучала форму лишь, как характеристику внешнего облика рельефа, то она остановилась бы на таких морфометрических показателях, как извилистость линий, характер их кривизны, форма объектов в плане, их сходство с правильными геометрическими фигурами, телами и т.п. Тогда в морфометрических работах не оказалось бы места для исследования таких количественных характеристик, как высота, длина, площадь, объем, угол наклона – они ведь описывают не столько форму, как таковую, сколько ее признаки" [1, с. 32]. Здесь есть некоторая путаница. Дело в том, что высоты, площади, длины и объемы, конечно же используются в "морфометрических работах", но они не становятся от этого "морфометрическими показателями".

Впрочем, Ю.Г. Симонов хорошо это понимает. В четвертой главе монографии сказано несколько иначе: "В нашем анализе встречаются два вида мер: 1) общепринятые (количество единиц, длина, ширина, площадь, объем и угол); 2) специальные (меры подобия, близости и сходства, однородности, сложности, расчлененности и др.).

Первые из них обычно служат основанием для создания вторых. Первый вид мер мы заимствуем из геометрии, второй – конструируем сами с помощью различного типа сочетаний арифметических операций. Первый вид давно уже опробован картографией, в которой даже выделилась особая область – картометрия" [1, с. 111–112]. По существу, это верно, однако, деление на "общепринятые" и "специальные" меры, на "заимствованные из геометрии" и "сконструированные самими" не проясняет сути их различий. Не вполне точно и то, что меры второго рода получают посредством "различного типа сочетаний арифметических операций", хотя бы потому, что эти операции бывают не только арифметическими, но также алгебраическими и тригонометрическими.

Попробуем разобраться. Картометрия – это измерение по картам геометрических характеристик объемов, их координат, аппликат, длин, площадей и объемов, ориентации в пространстве, а морфометрия – определение показателей формы и структуры объектов [8]. Это две различные, хотя и тесно связанные процедуры. Картометрические определения дают возможность непосредственно получить по картам абсолютные величины (размеры) объектов. Их набор ограничен и это вовсе не показатели форм. Морфометрия же позволяет на основе этих абсолютных величин рассчитать (не измерить!) морфометрические характеристики: как правило, относительные показатели, всевозможные коэффициенты, градиенты, индексы – их разнообразие практически не ограничено.

Дело не в терминах, а в том, что картометрия и морфометрия выполняют разные функции, в том числе, и в геоморфологическом анализе. Картометрия добывает исходные данные, первичный материал – отсюда особые требования к точности измерений. Морфометрия **моделирует** производные показатели – следовательно, возникает проблема надежности морфометрического (геоморфологического) моделирования в его содержательном и формальном аспектах. Все картометрические погрешности проецируются на морфометрические показатели, да еще усиливаются их эмпиричность.

Особые функции выполняет и статистический анализ, характеризующий закономерности и факторы пространственного распределения геоморфологических объектов и стохастические связи между ними. Статистической обработке могут быть подвергнуты и картометрические и морфометрические данные, но полученные показатели все-таки останутся статистическими. Еще есть один аспект – применение статистики для картометрических определений и морфометрических расчетов. Это делается для упрощения трудоемких измерений и исчислений. Но при этом все равно получаются картометрические и морфометрические показатели. Морфометрические и статистические показатели часто бывают похожи, но нельзя упускать из виду, что они характеризуют разные аспекты геоморфологических объектов.

Подчеркнем еще раз значение картометрических величин – **они лежат в основе** вычисления морфометрических показателей, статистических характеристик, аппроксимаций и всех других видов математико-картографического моделирования.

Строго говоря, нельзя согласиться и с тем, что к морфометрии отнесена такая процедура, как совмещение карт на общей основе – это особый прием картографического анализа, известный еще со времен А.А. Тилло и Д.Н. Анучина и получивший в современных геоинформационных технологиях название "оверлей". Он бывает весьма эффективен для геоморфологического анализа, и Ю.Г. Симонов тонко, можно сказать, виртуозно на простых примерах показал, как можно получить "геоморфологически значимые результаты" посредством изучения одной топографической карты или сопоставления нескольких карт [1, раздел 4.7]. Это, конечно, не совсем морфометрия, но оставим частности. Важен другой вывод: для получения надежных результатов необходимо знать существо анализируемых явлений, их генетические и динамические связи, научиться отчетливо видеть закономерности и аномалии – словом, нужно хорошо понимать геоморфологию, в противном случае, не помогут никакая картометрия, морфометрия и математическая статистика.

Последняя глава книги Ю.Г. Симонова посвящена морфометрическим картам, их видам, способам построения и преобразования, месту в геоморфологических исследованиях. Дан критический (и весьма!) анализ традиционных карт густоты и глубины расчленения и используемых при этом показателей. Но, главное, дана весьма суровая принципиальная критика изолинейного способа отображения расчетных морфометрических показателей.

Недостатки изолинейного способа сводятся вкратце к следующему: 1) по существу в большинстве случаев речь идет не об изолинейных, а о псевдоизолинейных картах, отражающих некоторые статистические поверхности, которые не обязательно обладают плавностью и непрерывностью; 2) при расчетах морфометрических показателей обычно используют скользящие операторы (кружки, квадраты и т.п.), выбор параметров которых отличается значительной неопределенностью; 3) изолинии неточно отражают пространственную структуру явлений, поскольку в общем случае не известно соотношение между этим явлением и достаточным объемом выполненных измерений, в результате чего возникает эффект "перепутывания частот" или элиасинг; 4) изолинейные морфометрические карты могут отражать ложные, не существующие в природе аномалии.

"При выборе способа изображения изучаемого явления изолиниями, — пишет Ю.Г. Симонов, — действует несомненно, сила привычки, теоретически довольно слабо обоснованная. Именно поэтому в данном учебном пособии критике этого метода отведено достаточно много места" [1, с. 232]. Надо признать, что в этом есть значительная доля истины. В самом деле, исследователи не всегда отдают себе отчет в том, что пользуются не изолиниями, а псевдоизолиниями, и что искусственные географические поля по многим параметрам и свойствам отличаются от реальных физических (геофизических) полей. Почти 20 лет тому назад автор этих строк писал, имея в виду изолинейное картографирование расчетных морфометрических показателей: "для того, чтобы этот аппарат вошел в картографическую практику, необходимо теоретически обосновать правомерность приложения концепции поля для отображения географических объектов, поскольку имеется существенная разница между естественными физическими полями и их географическими аналогами" [9, с. 15].

Есть много справедливого и в том, что свойства изолинейных карт сильно зависят от объема и частоты фактических наблюдений, от размеров и шага операторов преобразований, и все это вносит искажения (порой довольно существенные) и ведет к возникновению ложных аномалий. Все так. Но почему же тогда географы, картографы, геологи и геофизики со времен Э. Галлея и А. Гумбольдта, впервые применивших изолинии на тематических картах, и по сей день так "держатся за изолинии"? Почему даже экономико-географы, демографы и социологи потянулись теперь к этому способу изображения? Неужели им всем не ясны отмеченные выше (и еще многие иные) недостатки?

Несомненная привлекательность изолинейных карт состоит в том, что это очень удобная графо-математическая абстракция географических распределений, способ отвлечения от малосущественных свойств картографируемого объекта и выявления главных черт на данном уровне познания. Изолинии — это всегда абстракции: одни проведены в результате значительной генерализации (например, изогипсы на гипсометрических и даже горизонтали на топографических картах), другие — отражают несуществующие в реальности вещи (средние годовые изотермы), третьи — визуализируют никогда не виденные человеком объекты (поверхность Мохоровичича), четвертые — передают явления, не воспринимаемые органами чувств (изолинии магнитного склонения), пятые — вообще повисают в воздухе (текторморфоизогипсы), шестые — отражают научные гипотезы (изолинии скоростей новейших движений) и т.д. и т.п.

Исследователи привыкли к абстракциям — это мощный инструмент познания. Сами карты — абстракции высокого уровня, содержащие, между прочим, немало недостат-

ков: искажения в проекциях, неточности локализации, погрешности генерализации, условность знаков, субъективность шкал и др.

Изолинии обладают высокой метричностью (можно проводить все виды картометрических определений), наглядностью, обзорностью и непрерывностью. Они чрезвычайно удобны для всевозможных преобразований: пересчетов, корреляций, аппроксимирования, декомпозиций и многого другого. Но за удобства приходится "платить".

Впрочем, картографы стараются сделать "плату" минимальной, оптимизировать число точек наблюдения, указывать (увы, не часто) доверительные интервалы изолинейного изображения, проводить интерполяции не формально, а сообразуясь с реальными закономерностями распределения явления (это стараются делать всегда), избавиться от автокорреляции, устранить краевые эффекты, осмысленно выбирать параметры сглаживания и осреднения и т.п. Не всякий раз, конечно, это удастся, бывают плохие карты, да и сами специалисты нередко не представляют себе эти недостатки и ограничения. Но это не компрометирует сам способ изолиний. Повторим – это мощное средство научного анализа. И не случайно, что все столь распространенные нынче цифровые картографические модели визуализируются почти исключительно с помощью систем изолиний – лучшего пока не придумали.

Ю.Г. Симонов считает, что есть более простой способ: "при обработке морфометрических данных, – пишет он, – наиболее объективной формой их представления являются картограммы" [1, с. 232] и выделяет два типа: картограммы, построенные по регулярным сеткам и по естественным контурам (в картографии эти последние называют картами количественного фона).

С этим можно поспорить. Картограммы отличаются гораздо более сильным формализмом, чем изолинейные карты, они менее наглядны, создают искусственные рубежи, показывают резкие перепады значений там, где их нет и т.п., а уж сами размеры квадратов, как правило, невозможно обосновать ничем. Трудно дать обоснование и избранному ступеням (шкалам) картограммы. Но главное неудобство состоит в том, что сеть квадратов (или других ячеек) расположена совершенно случайно относительно рельефа, "режет его по живому", ее никак нельзя увязать и согласовать с орографией или речной сетью (изолинии в этом смысле много удобнее). А при изменении положения сетки на исходной карте всякий раз будет получаться совершенно иная картограмма – и это неудобство почище "перепутывания частот".

И кстати, если обратиться к рис. 28 [1, с. 224], который послужил Ю.Г. Симонову для доказательства эффекта элисинга, то картограммы, как и изолинии отразят совершенно разные картины при 3, 8 и 17 точках опробования. Неопределенность сохранится, только будет еще "размазана" по площади квадрата. Разве это лучше?

Количественный фон – более точный способ, но в этом случае нужно хорошо обосновать районирование территории – это отдельная и весьма непростая проблема. Карты количественного фона весьма удобны, например, для характеристики бассейнов в целом.

Итак, нельзя согласиться с негативным отношением Ю.Г. Симонова к изолинейным картам и переоценкой картограмм. Но нельзя и не признать, что многие недостатки указаны им верно. Нужно иметь это в виду и продолжать исследования по максимальной объективизации способа изолиний.

Морфометрия в ряду метрических дисциплин

Для анализа рельефа теперь используют не только карты, но и аэрокосмические снимки. Стереомодели – стали одним из основных источников создания цифровых моделей рельефа, по ним выполняются многие морфометрические расчеты. Вычисление показателей карт углов наклона, экспозиций и др. и составление соответствующих морфометрических карт по цифровым моделям стало теперь делом техники в лучшем смысле этого слова. Фотограмметрия и стереофотограмметрия взяли на себя многие из тех функций, которые прежде принадлежали картометрии и морфометрии.

Если иметь в виду применение аэро- и космических снимков, то нельзя упускать и возможности измерения яркостных характеристик рельефа – этим занимаются фотометрия и стереофотометрия.

Все увереннее входят в практику трехмерные картографические модели, они позволяют увидеть рельеф в разных ракурсах и отчетливо представить его связи с геологическими структурами. На очередь дня встает разработка методов стереоморфометрии. А появление динамических изображений, картографических анимаций дает новый сильный импульс динамической картометрии и морфометрии, развитие которых имеет уже более чем двадцатилетнюю историю [10]. В будущем возможно применение голографических изображений рельефа – такие эксперименты уже известны. Тогда можно будет воспользоваться довольно хорошо разработанным аппаратом голограмметрии.

Таким образом, в не слишком отдаленной перспективе морфометрия и картометрия окажутся окружены рядом родственных метрических дисциплин. Станет возможным взаимопроникновение и взаимное обогащение методик. Очевидно, опорой для всей системы метрических дисциплин будет именно морфометрия, как раздел, наиболее продвинутый в теоретико-методологическом плане. И тогда будущие исследователи смогут заново оценить высокий теоретический потенциал книги Ю.Г. Симонова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. Москва–Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. 272 с.
2. Волков Н.М. Принципы и методы картометрии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 240 с.
3. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Изд-во МГУ, 1975. 183 с.
4. Девдариани А.С. Математический анализ в геоморфологии. М.: Недра, 1967. 156 с.
5. Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1979. 156 с.
6. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
7. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во СГУ, 1975. 232 с.
8. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1988. 196 с.
9. Берлянт А.М., Лукьянова Т.С. Картографирование полей – геофизический подход в географических исследованиях // Карты полей динамики и взаимосвязей явлений. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1980. С. 15–27.
10. Кудрицкий Д.М., Жолондзь В.А. Динамическая картометрия // Тр. IV Всес. гидрол. съезда. Л.: 1976, № 10. С. 135–142.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
20.05.98

THEORY OF MORPHOMETRY: NEW PHASE

A.M. BERLYANT

Summary

Morphometry is rising today a new higher level due to theoretical understanding its subject and method. The theory is based on considering the landforms as its object, as well as their distinction, boundary's character, types of points, lines and surfaces which make up structural invariants, the manifestation of the latter in the land surface. In the development of morphometry the cartographic sign systems play the large role, as well as morphometrical mapping techniques of which isolineal pictures are the most convenient. In prospect morphometry and cartometry will become the nucleus of many interconnected metric disciplines such as photogrammetry, photometry, dynamic cartometry, hologrammetry etc. The "Morphometrical analysis of landforms" by Yu. Simonov is analyzed in connection with these problems.