

О проблеме потери геометрической точности в процессе автоматической генерализации рельефа

© А.Б. Домрачева

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрена проблема потери геометрической точности в процессе картографической генерализации цифровых карт, в том числе ее причины как в общем случае, так и применительно к задаче генерализации слоя рельефа поверхности. Проанализирована применимость основных алгоритмов построения линий одинакового уровня (горизонталей, изолиний, изогипс). Приведены рекомендации по выбору метода автоматической генерализации рельефа местности (метод обратных расстояний — *Inverse Distance to a Power*), описание метода и эмпирическая оценка его параметра. По результатам апробации предложено выделить и генерализовать тренд контура, исключив случайные воздействия на его форму различных эндогенных и экзогенных факторов.*

Ключевые слова: геоинформационные технологии, картографическая генерализация, контур природного объекта, горизонтали, изогипсы, геометрическая точность, цифровые карты местности.

Введение. Активное развитие геоинформационных технологий и цифровой картографии привело к появлению значительного количества цифровых карт местности (ЦКМ) разных масштабов.

В некоторых случаях крупномасштабные ЦКМ могут быть получены на основе цифровой картографической генерализации [1, 2]. Предполагается масштабирование объектов карт с последующим включением дополнительных объектов, что может вызывать изменение контура природного объекта. В этом случае говорят о потере геометрической точности объекта. Рассмотрим проблему на примере описания рельефа.

Формулировка проблемы. Очевидно, что при масштабировании имеющихся полигональных объектов правильной геометрической формы их форма не изменяется или изменяется незначительно (например, за счет приближения окружности полигоном). При этом масштабирование полилиний или контуров природных объектов, также описанных полигонами, может приводить к потере точности представления (рис. 1, а).

В процессе генерализации происходит искажение (при утрировании и упрощении), исключение и объединение объектов, а также смещение их контуров (рис. 1, б). Так, при визуальном анализе рис. 1 [3] становится очевидным отличие контура объекта от природного в процессе оцифровки. В этом случае определение гидрографического объекта оказывается некорректным, как и всех связанных с ним объектов. Причем географическая точность объекта может оказываться неиз-

менной. Особо следует выделить формирование такого слоя ЦКМ, как рельеф местности, который принято изображать линиями одинакового уровня — изогипсами.

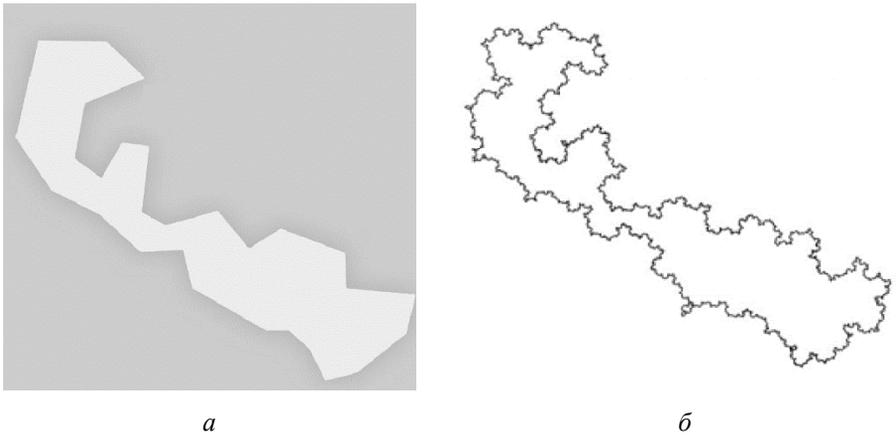


Рис. 1. Грубое приближение данных дистанционного зондирования Земли *а* — полигоном; *б* — утрированием полигона посредством фрактальных триадных кривых Коха

Для нанесения горизонталей, описывающих топографическую поверхность, требуется в характерных точках рельефа определить высотные отметки точек относительно средней уровенной или условной поверхности, затем перенести эти точки на карту и через точки с одинаковыми отметками провести кривые одного уровня (рис. 2).

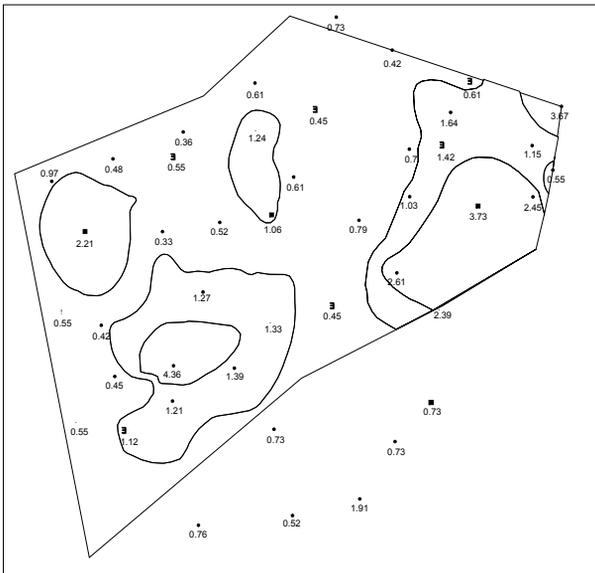


Рис. 2. Изогипсы, построенные по высотным отметкам вручную

Для построения изогипс существует несколько алгоритмов, реализованных в автоматических программных средствах формирования рельефа. В частности, популярная программа Surfer[®] 12 компании Golden Software Inc [4] предлагает применять методы Inverse Distance to a Power, Kriging, Minimum Curvature, Nearest Neighbor, Radial Basic Functions, Shepard's Method, Triangulation Linear Interpolation (названия приведены в соответствии с наименованиями методов Surfer[®] 12) [4]. На рис. 3 приведены результаты построения изогипс двумя произвольно выбранными методами: Kriging и Nearest Neighbor.

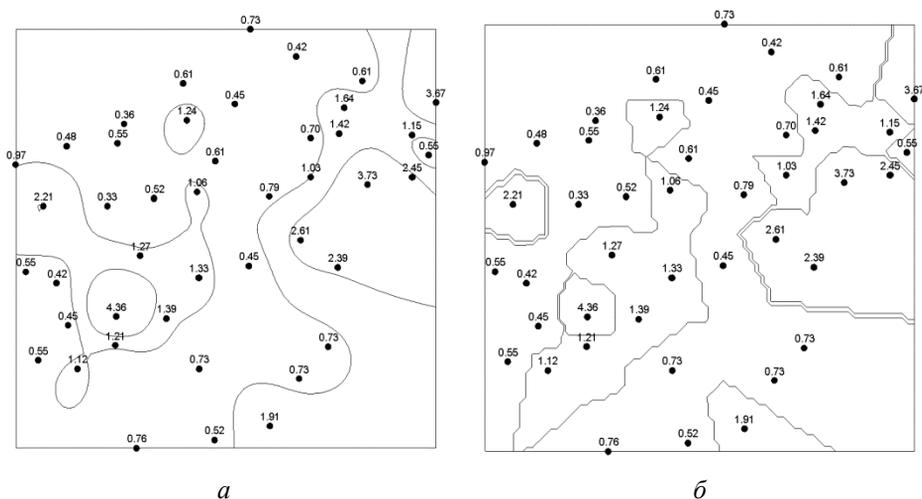


Рис. 3. Построение изогипс по методам кригинга (Kriging) (а) и ближайшего соседа (Nearest Neighbor) (б)

Анализ рис. 2 и 3 показывает существенную зависимость геометрической точности слоя рельефа от выбора автоматизированного метода построения изолиний.

Кроме того, при генерализации рельефа изменяется шаг одинаковых уровней. При переходе, например, к карте более крупного масштаба, шаг уменьшается, линий одного уровня становится больше, и вдоль тальвега (пониженное место рельефа местности) они приобретают характер сильно вытянутых замкнутых полилиний. Такой технический прием правдоподобно передает особенности рельефа, но для определения морфометрических характеристик горизонтали непригоден. В этом случае карты крупного масштаба, полученные посредством картографической генерализации, оказываются неинформативными.

Выбор метода описания рельефа. Сравнительный анализ методов построения линий одинакового уровня по набору точек показывает, что предпочтение следует отдать параметрическим методам, в частности, методу обратных расстояний (Inverse Distance to a Power) (рис. 4).

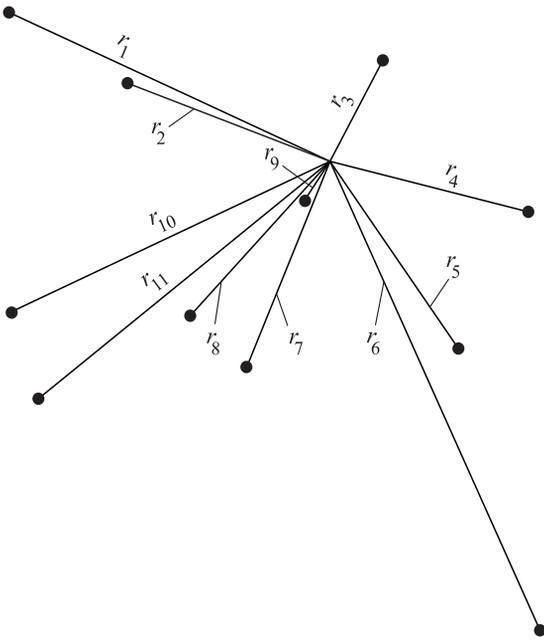


Рис. 4. Построение линий одинакового уровня по набору точек

Пусть имеется некоторый набор N точек, характеризующих картографируемый показатель (в случае построения изогипс — высотой над уровнем моря). Выбирается некоторая базовая точка и фиксируются расстояния $r_i, i = 1, 2, \dots, N$, от этой точки до остальных точек набора.

Предполагается, что существует непрерывная функция $F(x_1, x_2)$, значение которой в выбранной базовой точке с координатами (x_1, x_2) равняется взвешенной сумме картографируемых показателей всех N точек набора

$$F(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^N A_i \cdot p_i(x_1^i, x_2^i) \quad (1)$$

и соответствует значению картографического показателя в этой точке. Вес при каждой точке набора обратно пропорционален расстоянию от базовой точки до i -й точки в наборе. В (1) $p_i(x_1^i, x_2^i)$ — значение картографируемого показателя в i -й точке набора; A_i — весовой коэффициент, вычисляемый по формуле

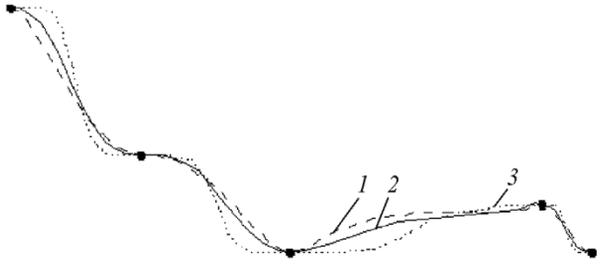
$$A_i(r_i) = \frac{1/r_i^L}{\sum_{j=1}^N 1/r_j^L}, \quad (2)$$

где $r_j, j = 1, 2, \dots, N$ — расстояние от базовой до точки j -ой набора, L — параметр метода, влияние которого на форму кривой показано на рис. 5.

Очевидно, что в качестве базовой точки (точки, в которой вычисляется картографируемый показатель) нельзя выбирать точку из исходного набора, т. е. формула применима при условии $r_i \neq 0$. Следует также отметить, что в исходном наборе должно быть не менее двух точек.

Рис. 5. Влияние параметра обратных расстояний (Inverse Distance to a Power) на форму кривой:

1 — $L = 1,5$; 2 — $L = 2$;
3 — $L = 4$



Таким образом, можно вычислить значения картографируемого показателя (высота над уровнем моря) в узлах регулярной сетки по формуле

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N p_i / r_i^L}{\sum_{j=1}^N 1 / r_j^L}, r_i \neq 0. \quad (3)$$

На основе полученной матрицы высот выбирают точки одинакового уровня, составляющие соответствующую изогипсу.

Анализ результатов исследования. Изменение параметра метода L позволяет менять значения вычисляемого показателя в некотором интервале, в котором с заданной вероятностью оказывается истинное значение картографируемого показателя. Так увеличение показателя приводит к уменьшению весовых коэффициентов локальных максимумов поверхности, что позволяет избежать их необоснованного выделения в отдельную зону (рис. 6, а).

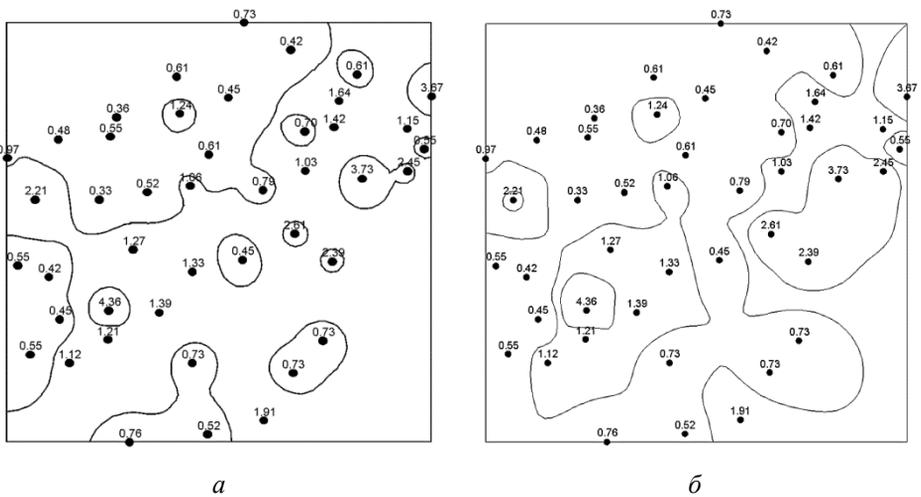


Рис. 6. Построение изогипс по методу обратных расстояний (Inverse Distance to a Power) с параметром метода $L = 2$ (а) и $L = 4$ (б)

При $L > 4$ влияние локальных максимумов заметно снижается, а весовые коэффициенты теряют значимость. Следовательно, в случае применения метода обратных расстояний можно рекомендовать эмпирически установленное значение параметра $L = 4$ для автоматической генерализации рельефа.

Сравнение рис. 2 и 1, б показывает, что в целом выбор метода обратных расстояний (Inverse Distance to a Power) с параметром метода $L = 4$ позволяет получать ожидаемые результаты. Кроме того, результаты применения данного метода зависят от набора точек, по которым строится набор изогипс, но не зависят от результатов масштабирования, что делает возможным определение морфометрических характеристик горизонталей.

Заключение. На примере описания рельефа была рассмотрена и решена проблема потери геометрической точности. Обобщая результаты для случая построения контуров природных объектов, можно рекомендовать рассматривать контур как сумму двух составляющих — тренда (который и является объектом исследования) и случайных отклонений от тренда, вызванных различными эндогенными и экзогенными факторами.

Анализ поверхности тренда (тренд-анализ) [2] позволяет аппроксимировать тренд с заданной точностью (по методу обратных расстояний, Inverse Distance to a Power, с параметром метода $L = 4$), а аналитического описания тренда даст возможность минимизировать геометрическую потерю точности при масштабировании самого контура.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Берлянт А.М. *Геоинформационное картографирование*. Москва, Просвещение, 1997. 64 с.
- [2] Фокина Л.А. *Картография с основами топографии*. Москва, ВЛАДОС, 2005, 335 с.
- [3] Домрачева А.Б. О проблеме утрирования контуров природных объектов при генерализации цифровых карт. *Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции В 2 ч. Ч. II*. Белгород, ИП Петрова М.Г., 2014, с. 187–190.
- [4] Surfer® 12: Powerful Contouring, Gridding, and 3D Surface Mapping Software for Scientists and Engineers. URL: goldensoftware.com/products/surfer.

Статья поступила в редакцию 12.11.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Домрачева А.Б. О проблеме потери геометрической точности в процессе автоматической генерализации рельефа. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 10.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1329.html>

Домрачева Анна Борисовна родилась в 1970 г, окончила Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана в 1993 г. Доцент кафедры «Теоретическая информатика и компьютерные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 30 работ в области математического моделирования, геоинформатики, цифровой обработки сигналов. e-mail: anna70@mail.ru

On the problem of loss of geometrical accuracy during automatic cartographical generalization

© A.B. Domracheva

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article considers the problem of loss of geometrical accuracy during cartographical generalization of digital maps, including the reasons of loss of geometrical accuracy in general and in relation to relief layer. The results of analysis proved applicability of the known algorithms of creating lines of identical level (horizontals, isolines, isohypses). Recommendations on selection of a method for automatic generalization are given. A description of the method and empirical estimation of its parameters are presented. According to the results of testing we offer to identify and generalized contour trend excluding accidental external and internal stochastic influences on its form.

Key words: geographic information systems, cartographical generalization, contour of natural object, horizontal, isohypse, geometrical accuracy, digital maps.

REFERENCES

- [1] Berlyant A.M. Geoinformatsionnoe kartografirovaniye [Geoinformation mapping]. Moscow, Prosveschenie Publ., 1997, 64 p.
- [2] Fokina L.A. Kartografiya s osnovami topografii [Cartography with basic topography]. Moscow, VLADOS Publ., 2005, 335 p.
- [3] Domracheva A.B. O probleme utirovaniya konturov prirodnykh ob'ektov pri generalizatsii tsifrovyykh kart [On the problem of contours of natural objects during generalization of digital maps]. *Teoreticheskie i prikladnyye aspektyi sovremennoy nauki: sbornik nauchnykh trudov po materialam II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. In two parts. Part 2. Belgorod, IP Petrova M.G. Publ., 2014, 224 p.
- [4] *Surfer® 12: Powerful Contouring, Gridding, and 3D Surface Mapping Software for Scientists and Engineers*. Available at: <http://goldensoftware.com/products/surfer>.

Domracheva A.B. graduated from the Bauman Moscow State Technical in 1993. Ph. D., Assoc. Professor of the Computer Science and Technologies Department at the Bauman Moscow State Technical University. Specializes in the mathematical modeling methods and software. e-mail: anna70@mail.ru