

СОПРЯЖЕННАЯ ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ В МЕЛКИХ МАСШТАБАХ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

А.М.Кривошеина, Т.Е.Самсонов***

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Географический факультет
г. Москва, Россия, *annkrivosheina@gmail.com, **tsamsonov@geogr.msu.ru*

JOINT GENERALIZATION OF SETTLEMENTS AND TRANSPORTATION NETWORK IN SMALL SCALES

*A.M.Krivosheina *, T.E.Samsonov***

*Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia, *annkrivosheina@gmail.com, **tsamsonov@geogr.msu.ru*

Abstract. An new algorithm of joint generalization of settlements and transportation network is presented, which provides preservation of settlements distribution and their correspondence with road network pattern. This method allows improvement of the generalization quality in small scales on multiscale basemap services. Finally an example map at the scale of 1:10 000 000 generalized using new algorithm is presented.

Введение

Процесс генерализации труднее других картографических процессов поддается автоматизации. Это объясняется тем, что не все этапы могут быть алгоритмизированы, не все критерии удастся однозначно учесть. Цель данной работы заключается в разработке алгоритма генерализации населенных пунктов с учетом автодорожной сети в мелких масштабах картографирования. При этом должен сохраняться характер размещения населенных пунктов, т. е. образуемый ими пространственный рисунок, освоенность территории и конфигурация транспортной сети.

Размещение населенных пунктов и транспортной сети

Современная карта размещения населения свидетельствует об огромной неравномерности в заселенности территории. Характер размещения населенных пунктов обусловлен рядом факторов. Среди них – природные и социально-экономические условия, демографические факторы. Важным показателем, характеризующим пространственную составляющую размещения населенных пунктов, является сформированность систем городского и сельского расселения как взаимного упорядоченного размещения крупных городов (как главных экономических центров), средних и малых городов и прочих населенных пунктов, находящихся в зоне их влияния.

Модель размещения населенных пунктов – это модель пространственной группировки населенных пунктов. Выделяют следующие основные модели [П. Хагетт, 1971]:

- Линейная, в которой размещение населенных пунктов предопределяется транспортными магистралями – автомобильными или железными дорогами, судоходными реками;
- Агломерационная, где скопление населенных пунктов с различными пунктами в системе расселения вокруг крупного города связано с месторождением полезных ископаемых или выгодным географическим положением;
- Равномерное размещение – характерно для населенных пунктов, выполняющих функции центров обеспечения товарами и услугами равномерно размещенного сельского населения

Транспортная сеть представляет собой совокупность путей сообщения и транспортных узлов, которые обеспечивают устойчивую взаимосвязь крупнейших населенных пунктов и экономических центров [Тархов, 2005]. Звездчатый рисунок дорожной сети характерен для густонаселенных урбанизированных регионов. Сетевые структуры характерны для небольших населенных пунктов вне крупных урбанизированных районов. Кольцевые структуры в дорожных сетях могут быть разных размеров и формы. Часто такие структуры связаны со звездчатыми. Зачастую кольцевые структуры включают в себе и соединяют между собой значимые части дорожной сети [Heinzle, Anders, 2007].

Методы генерализации точечных и сетевых данных

В мелких масштабах картографирования населенные пункты изображаются пунсонами, следовательно, для их генерализации следует применять алгоритмы отбора точечных объектов. Понятно, что при уменьшении масштаба карты не все точечные объекты могут быть показаны, следовательно, наименее значимые объекты подвергаются сокращению. Значимость объектов может быть определена как одним, так и рядом параметров. Так, для населенных пунктов учитывается численность населения, экономическое значение (например, ВВП), административный статус, площадь. Однако, в случаях, когда много значимых населенных пунктов находятся слишком близко друг к другу, они также могут быть сокращены во избежание перегруженности карты, в то время как менее значимые объекты в менее заселенной местности будут оставлены.

Существует ряд алгоритмов для генерализации точечных объектов. С. Петерс выделяет четыре типа пространственной информации, которую могут содержать точечные данные [Peters, 2011]:

- Статистическая (позиционная);
- Метрическая;
- Тематическая;
- Топологическая.

Существует ряд алгоритмов для генерализации точечных объектов. Все из них учитывают разный набор вышеперечисленных типов информации, что представлено в таблице 2.

Таблица 1. Учет различных типов информации в различных алгоритмах генерализации точечных объектов [Peters, 2011]

№	Алгоритм	Учет различных типов информации			
		Статистика (количество точек)	Тематическая (веса точек)	Топология	Метрическая
1	Алгоритм, учитывающий расстояния между населенными пунктами	+	+	+	расстояние
2	Алгоритм гравитационного моделирования	+	+		Расстояние
3	Алгоритм контроля коэффициента распределения	+	+	+	Расстояние
4	Алгоритм сегментации	+		+	Расстояние
5	Алгоритм квадратичного отбора	+		+	Расстояние
6	Алгоритм нарастающих окружностей	+	+	+	Расстояние
7	Алгоритм квадродерева	+		+	Расстояние
8	Алгоритм упрощения	+			расстояние
9	Алгоритм на основе диаграммы Вороного	+	+	+	Локальная плотность, диапазон распространения
10	Метод поляризации	+		+	Полярное расстояние, полярный угол

Один из популярных алгоритмов упрощения точечных данных основан на построении диаграммы Вороного [Li, 2007]. Принцип работы данного алгоритма заключается в следующем:

1. Определить количество точечных объектов, которое будет сохранено в процессе генерализации;
2. Определить диапазон распространения точечных объектов. Для этого строится выпуклая оболочка точек, на втором удаляются треугольники, чьи внешние стороны больше заданного значения;
3. Упростить границу данных, например алгоритмом Дугласа-Пейкера
4. Ранжировать все точки, используя формулу $1/A_{VDi}$, где A_{VDi} – площадь области Вороного вокруг i -ой точки;
5. Поочередно удалять точки с наибольшим значением данного параметра до тех пор, пока не будет достигнуто необходимое число точек;
6. Построить новую диаграмму Вороного, а также ранжировать заново полученные точки, объединить непосредственных соседей (соседние области Вороного), таким образом, убрать соответствующие точки;
7. Поочередно удалять точки с наибольшим значением данного параметра до тех пор, пока не будет достигнуто необходимое число точек;
8. Для оставшихся точек произвести второй круг выборки (повторить шаги 5 и 7) (Рис. 1).

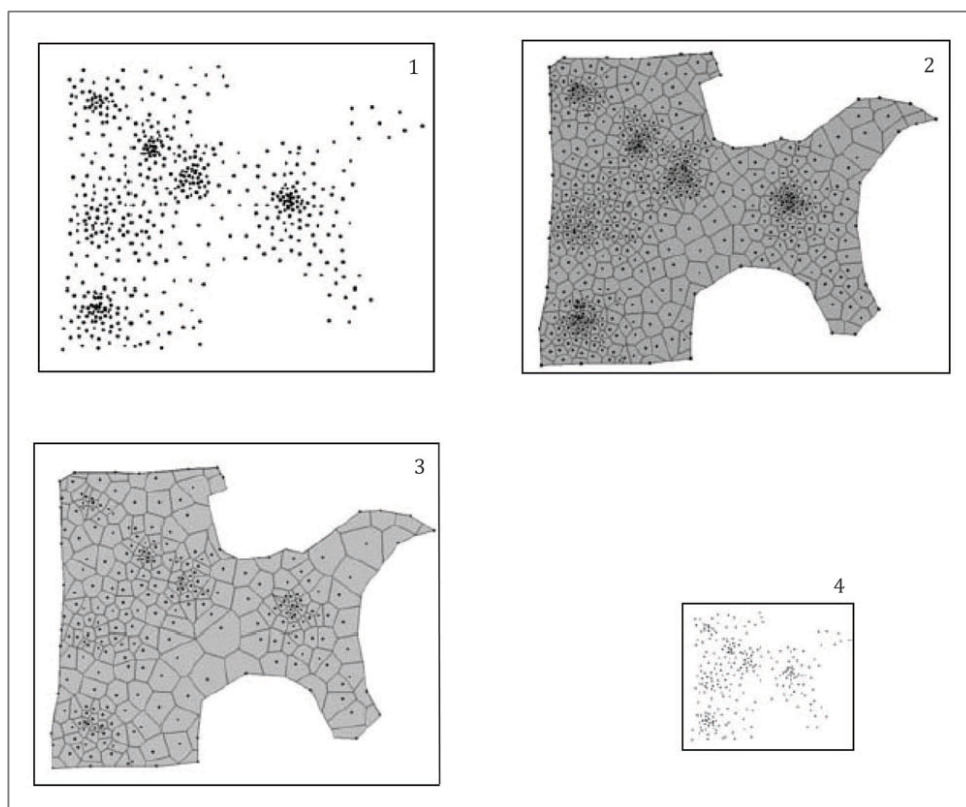


Рис. 1. Алгоритм структурного упрощения [Li, 2007].

1 – исходный набор точек, 2 – исходная диаграмма Вороного, 3 – диаграмма Вороного после пятого круга выборки, 4 – результат генерализации.

Алгоритм структурного упрощения, основанный на метрических данных, дает адекватный результат, только если все точки тематически одинаковы. Но на практике, некоторые точечные объекты являются более значимыми, чем другие. Для подобных случаев был предложен алгоритм, в котором значимость точек рассчитывается по следующей формуле:

$$S_i = I_i \times \frac{1}{A_{VDi}}$$

где S_i – значимость i -ой точки, I_i – тематическая значимость i -ой точки, A_{VDi} – область Вороного i -ой точки.

Представленные алгоритмы генерализации точечных данных носят общий характер и при их реализации на примере населенных пунктов дают результаты, плохо передающие заселенность и освоенность территории. Так, например, алгоритм нарастающих окружностей после генерализации оставляет только точки с очень высоким коэффициентом значимости, и удаляет все объекты вокруг них. Этот недостаток исключается в алгоритме, основанном на построении диаграммы Вороного, учитывающем распределение точечных объектов. Но у него в свою очередь тоже имеется весомый недостаток – в результате его работы плотность размещения точечных объектов выравнивается, следовательно, не сохраняется относительная плотность размещения населенных пунктов в выходном слое неверная.

При генерализации сетевых данных очень важно сохранять их характеристики насколько это возможно. Дорожная сеть не имеет однонаправленных течений как речная сеть и содержит множество кольцевых структур, что не позволяет выделить ранги, эквивалентные порядкам притоков. Помимо этого элементы дорожной сети несут семантические и геометрические данные, которые также необходимо учитывать при генерализации. Для обработки такого рода данных применяется теория графов.

Графически граф может быть представлен как набор точек и ребер: каждая точка представляет собой объект, каждое ребро соединяет пару точек, соответствующих смежным объектам. В случае дорожной сети каждая точка обозначает пересечение дорог, конечный пункт или тупик, а ребро – сегмент дороги, который не проходит больше ни через одну точку. Эта модель может быть дополнена такими данными как длина каждого участка, характеристики покрытия, ширина дороги или количество полос, скоростные ограничения и т.д. Такая модель содержит достаточное количество данных, чтобы рассчитать, например, кратчайший путь между двумя пунктами. Использование теории графов при генерализации позволяет сохранить топологические отношения, такие как смежность, выявить сложные участки, например, сложные развязки и крупные города-транспортные центры.

Точность карты во многом зависит от качества исходных данных. Изображение и тематическая достоверность данных может значительно варьироваться в зависимости от масштаба и тематики карты. При

генерализации используются различные критерии для исключения и сохранения элементов, например, частота встречаемости и геометрическая форма. Когда объекты одного класса встречаются часто, только часть из них сохраняется при уменьшении масштаба. Менее значимые элементы с точки зрения выбранной тематики исключаются в большей степени, нежели значимые. В связи с этим возникает вопрос, какие объекты следует принять значимыми, а какие можно опустить. Можно разработать различные правила, позволяющие рассортировать объекты по их значимости для данной тематики и заданного масштаба. Эти правила необходимы для пространственного анализа, выявления характерного для рассматриваемого класса объектов рисунка [Heinzle, Anders, 2007].

В целом, по итогам анализа существующих методов и подходов было выявлено, что задача сопряженной генерализации в мелких масштабах в литературе освещена недостаточно, несмотря на то, что это тесным образом взаимосвязанные элементы карты [Заруцкая, Сваткова, 1982]. Результаты проведенного анализа позволили приступить к экспериментальной части работы, целью которой являлась отработка приемов сопряженной генерализации населенных пунктов и транспортной сети.

Разработка методики сопряженной генерализации

В ходе разработки методики генерализации населенных пунктов было опробовано множество методов, последовательно улучшающих качество получаемого результата.

Как было сказано выше, при генерализации населенных пунктов необходимо учитывать их административный статус и численность населения. Поэтому первый вариант алгоритма учитывал эти два параметра, а также расстояния до пяти ближайших населенных пунктов. Последний показатель в последующих модификациях алгоритма был заменен на построение полигонов Тиссена для населенных пунктов. Границы этих полигонов определяют область, которая находится ближе всего к каждой точке по отношению ко всем другим пунктам. Поскольку при изображении малозаселенных областей, стремятся показывать максимальное количество населенных пунктов, точки с соответствующими полигонами Тиссена с наибольшей площадью следует сохранять, а с наименьшей – удалять в первую очередь.

Для того чтобы при использовании данного алгоритма сохранить густоту размещения населенных пунктов в соответствии с экономическим развитием регионов было принято решение разбить их по классам плотности (использован инструмент Aggregate Points). Далее на основе описанного выше алгоритма была производится генерализация каждого слоя плотности населенных пунктов отдельно. Также точки в одном слое плотности генерализуются не все сразу, а отдельно по полигонам плотности, которым они соответствуют. В этом заключается отличие предлагаемого нами подхода от алгоритма, изложенного в [Li, 2007] В итоге, для генерализации населенных пунктов была создана модель геообработки в программном пакете ArcGIS Desktop 10, использующая все описанные выше параметры.

Для генерализации дорожной сети был также опробован ряд методов, последовательно улучшающих качество выходного результата. Итоговый алгоритм генерализации дорожной сети представляет собой следующую последовательность:

1. Построение графа дорожной сети с учетом иерархических уровней дорог;
2. Построение для каждого отобранного населенного пункта кратчайших путей к пяти ближайшим, выборка полученным слоем путей соответствующих им дорог из слоя дорожной сети, экспорт данных в новый слой;
3. Генерализация полученного слоя инструментом Thin Road Network. Суть его работы сводится к упрощению дорожной сети с сохранением ее общих особенностей для отображения в мелких масштабах.
4. Сглаживание результирующего слоя инструментами Simplify Line и Smooth Line для улучшения эстетического восприятия и картографического качества данных.

В ходе проделанной работы был разработан алгоритм генерализации населенных пунктов и транспортной сети. Схематично его суть представлена на Рис. 2.

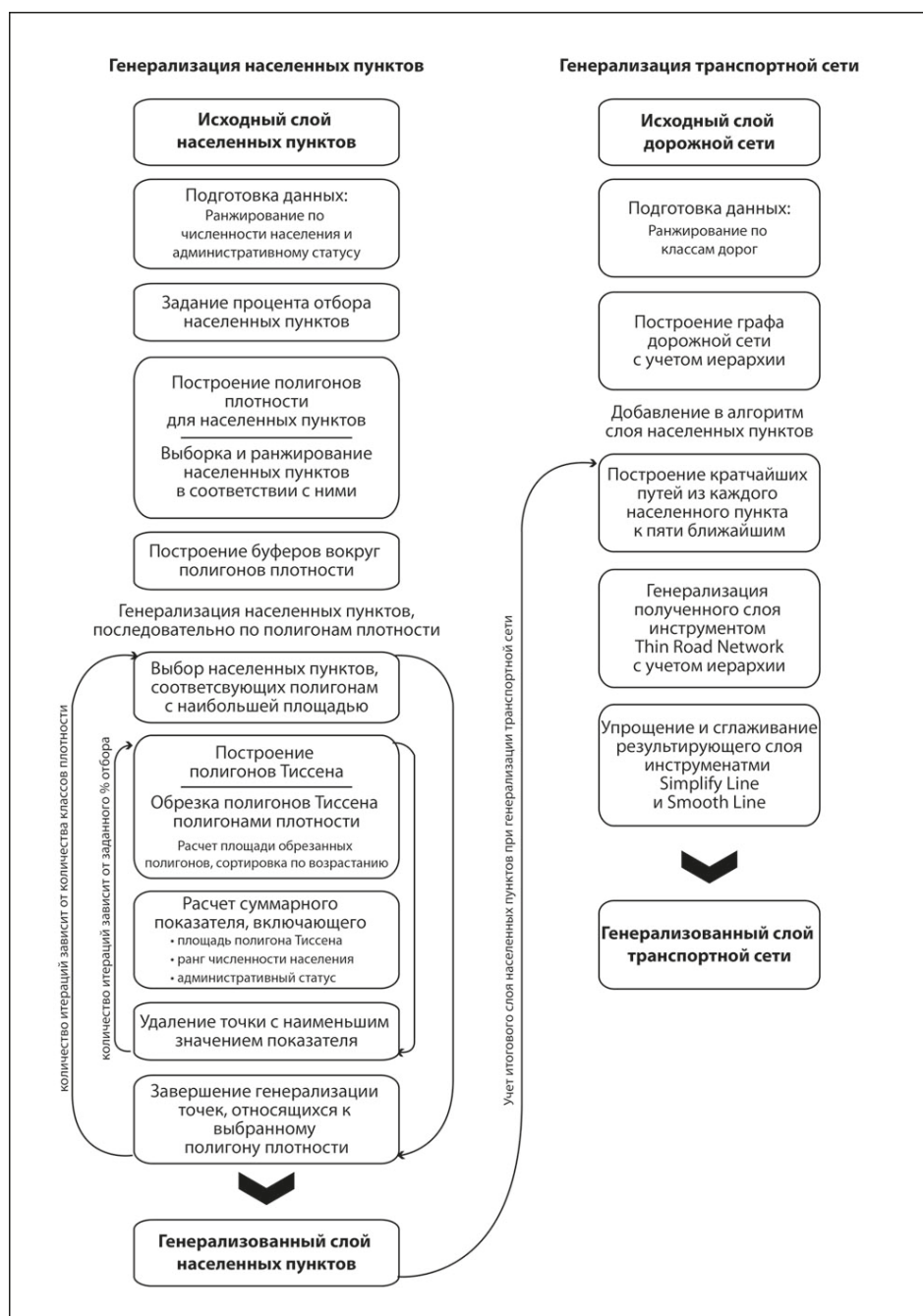


Рис. 2. Схема алгоритма сопряженной генерализации населенных пунктов и транспортной сети

Алгоритм генерализации населенных пунктов был практически полностью автоматизирован. Для этого в программном пакете ArcGIS была создана модель геообработки данных. На вход в нее подается слой населенных пунктов, предварительно ранжированных по численности населения и административному статусу, а также задается процент населенных пунктов, который будет удален.

В целом, итоговый алгоритм дает приемлемый результат: хорошо передается реальное размещение населенных пунктов по территории, их плотность, все дороги, ведущие к населенным пунктам, в ходе генерализации сохраняются, нет дорог, ведущих «в никуда», приоритет отдается дорогам высоких рангов в заданной классификации.

Апробация разработанного алгоритма

Полученный алгоритм был апробирован на примере генерализации населенных пунктов и сети автомобильных дорог Дальневосточного Федерального округа с масштаба 1:1 000 000 до 1:10 000 000. Для проведения эксперимента была использована цифровая топографическая карта на территорию России масштаба 1:1 000 000, предоставленная компанией Дата+

Фрагмент карты Дальневосточного Федерального округа масштаба 1:10 000 000, составленный с использованием разработанного алгоритма генерализации на основе исходных данных масштаба 1:1 000 000 представлен на рис. 5.

Стоит отметить, что на современном этапе автоматизированные методы генерализации населенных пунктов и транспортных сетей в основном используют только численность населения и административный статус населенных пунктов, а также иерархию дорожной сети. Отсутствуют специализированные инструменты в ГИС для их сопряженной генерализации. В результате при переходе к мелким масштабам нарушается плотность размещения населенных пунктов, неправильно отражается освоенность территории, остается много «брошенных» населенных пунктов и дорог, ведущих «в никуда».

Поэтому для сравнения приведен фрагмент карты, составленный на основе тех же данных стандартными методами отбора точечных и линейных данных по атрибутам, без учета их пространственного распределения (Рис. 4). Следует отметить, что именно такого типа генерализация присутствует на популярных мультимасштабных веб-сервисах Google Maps, Яндекс.Карты и т.д. Применение разработанного алгоритма позволит существенно улучшить содержание веб-карт в мелких масштабах.

Выводы

В ходе проделанной работы был разработан алгоритм сопряженной генерализации населенных пунктов с учетом транспортной сети. Для этого были рассмотрены модели размещения населенных пунктов, пространственные образы транспортных сетей и различные алгоритмы их генерализации. Самое важное в процессе генерализации – это сохранение степени заселенности различных районов, густоты населенных пунктов и дорожной сети при переходе к более мелкому масштабу. На генерализованной карте должен прослеживаться характер размещения населенных пунктов, освоенность территории и конфигурация транспортной сети. Разработка и тестирование разных алгоритмов генерализации позволило создать и применить на практике универсальный алгоритм отбора населенных пунктов, который можно использовать независимо от характера и плотности их размещения. Также в ходе работы был создан и протестирован алгоритм генерализации дорожной сети, использующий уже генерализованный слой населенных пунктов, который также дает хороший результат при разных пространственных рисунках дорог. По результатам работы на основе исходных данных масштаба 1:1 000 000 подготовлена карта Дальневосточного Федерального округа масштаба 1:10 000 000. К недостаткам разработанного алгоритма следует отнести некоторую его односторонность: что генерализация дорог проводится в соответствии с населенными пунктами, однако также требуется реализовать и обратную связь: при генерализации населенных пунктов должны сохраняться те их них, которые определяют конфигурацию транспортных сетей и их рисунок. Наконец, представляется перспективным применение полученного алгоритма при генерализации населенных пунктов и транспортных сетей на мультимасштабных общегеографических картах и веб-сервисах.

Список использованной литературы

1. Заруцкая И.П., Сваткова Т.Г. Проектирование и составление карт. Общегеографические карты. М: Изд-во МГУ, 1982.
2. Тархов С. А., Эволюционная морфология транспортных сетей. — Смоленск: Универсум, 2005. — 386с.
3. Харгет П. Пространственный анализ в экономической географии. - М.: Прогресс, 1968.
4. F. Heinzle, Anders K.-H. Characterizing Space via Pattern Recognition Techniques: Identifying Pattern in Road Networks. In: Generalization of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications W.A. Mackaness, A. Ruas and L.T. Sarjakoski (Editors), pp 233-253.
5. R. Tomson, R. Brooks. Generalization of Geographical Network. In: Generalization of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications W.A. Mackaness, A. Ruas and L.T. Sarjakoski (Editors), pp 255-267.
6. S. Peters. Interactive Scale-dependent multidimensional Point Data Selection using enhanced Polarization Transformation. In: Advances in Cartography and GIScience. Volume 1, 2011, pp 387-408.
7. Z. Li. Algorithmic Foundation of Multi-Scale Spatial Representation. CRC Press, 2007, 310 c.



Рис. 3. Результат сопряженной генерализации населенных пунктов и транспортной сети разработанным алгоритмом



Рис. 4. Результат генерализации населенных пунктов и транспортной сети стандартными методами отбора по атрибутам