

УДК: 528.91

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-268-279

О.П. Якимова<sup>1</sup>, Т.Е. Самсонов<sup>2</sup>, Д.А. Потемкин<sup>3</sup>, Э. Усманова<sup>4</sup>

## ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕТАЛИЗАЦИИ КАРТ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ QGIS

### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена проблеме оценки детализации пространственных данных. В геоинформатике детализация пространственных данных определяет то, насколько подробно тот или иной объект представлен на картографическом изображении, оценка детализации позволяет проанализировать допустимую точность пространственных объектов для определенной задачи пользователя. Предлагается подход к определению понятия детализации. Оценка детализации объекта зависит от его характеристик: геометрических, семантических, топологических. Проводится исследование по отбору геометрических характеристик объекта, отражающих его детализацию. Для линейных объектов, помимо характеристик линии в целом (длина, количество точек, извилистость, средний угол поворота) предлагается рассмотреть более мелкие ее детали, такие как изгибы и триплеты. Под изгибом понимается участок линии, на котором угол поворота сохраняет свой знак. Триплетом считают комбинацию из трех последовательно идущих точек. На основе результатов проведенного исследования были отобраны геометрические характеристики, которые изменяются в тренде в зависимости от масштаба.

В работе представляется разработанное программное обеспечение для оценки детализации карты – панель инструментов MapAnalyser для геоинформационной системы QGIS. Описываются функциональные возможности разработанного программного обеспечения. Панель инструментов позволяет получить геометрические, семантические и топологические характеристики слоя или набора слоев, а также оценить графическую сложность картографического изображения на основе RLE- кодирования. Код программы написан на языке PyQGIS. Программное обеспечение прошло государственную регистрацию и размещено на сервере github. С его помощью были получены новые результаты по оценке детализации пространственных данных. Разработанное программное обеспечение может использоваться при интеграции данных, полученных из разных источников, для оценки соответствия детализации данных и масштаба картографирования, оценки сложности карты для различных целей и масштабов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** детализация пространственных данных, геоинформационные системы, панель инструментов MapAnalyser.

---

<sup>1</sup> Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, Математический факультет, ул. Союзная, д. 144, 150008, Ярославль, Россия, *e-mail*: [polya@uniyar.ac.ru](mailto:polya@uniyar.ac.ru)

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail*: [tsamsonov@geogr.msu.ru](mailto:tsamsonov@geogr.msu.ru)

<sup>3</sup> Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, Математический факультет, ул. Союзная, д. 144, 150008, Ярославль, Россия, *e-mail*: [daniilpot@yandex.ru](mailto:daniilpot@yandex.ru)

<sup>4</sup> Берлинский технический университет, Kaiserin-Augusta-Allee 104-106, 10553, Берлин, Германия, *e-mail*: [elina-usmanova-97@mail.ru](mailto:elina-usmanova-97@mail.ru)

**Olga P. Yakimova<sup>1</sup>, Timofey E. Samsonov<sup>2</sup>, Daniil A. Potemkin<sup>3</sup>, Elina Usmanova<sup>4</sup>**

## **QGIS PROCESSING TOOL FOR SPATIAL DATA DETAIL ASSESSMENT**

### **ABSTRACT**

The article is devoted to the problem of evaluating the detailing of spatial data. In geoinformatics, spatial data detailing determines how detailed a particular object is represented in a map image, and the detail score allows you to analyze the permissible accuracy of spatial objects for a specific user task. An approach to the definition of detailing concept is proposed. The evaluation of the object's detail depends on its characteristics: geometric, semantic, and topological. A study is being conducted to select the geometric characteristics of the object that reflect its detail. For linear objects, in addition to the characteristics of the line as a whole (length, number of points, sinuosity, average rotation angle), it is suggested to consider its smaller details, such as bends and triplets. A bend is a section of a line where the angle of rotation retains its sign. A triplet is a combination of three consecutive points. Based on the results of the study, the geometric characteristics that change in the trend depending on the scale were selected.

The paper presents the developed software for assessing map detail – the MapAnalyser toolbar for the QGIS geoinformation system. The functional capabilities of the developed software are described. The toolbar allows you to get the geometric, semantic, and topological characteristics of a layer or set of layers, as well as to evaluate the graphical complexity of a map image based on RLE encoding. The program code is written in the PyQGIS language. The software has passed state registration and is hosted on the github server. With its help, new results were obtained on the evaluation of spatial data granularity.

New software, embedded in QGIS, to assess the detail of the map and spatial data, based on taking into account geometric and symbolic (used in the display) parameters. The software allows to calculate the metrics of spatial data detail, as well as to assess the complexity of the cartographic image. It's can be used in the integration of data obtained from different sources, to assess the compliance of data detail and the map scale, to assess the complexity of the map for different purposes and scales.

**KEYWORDS:** spatial data detail, Geographic information system, processing tool.

### **ВВЕДЕНИЕ**

С активным внедрением цифровых технологий в картографию стала возникать проблема оценки детализации пространственных данных. В геоинформатике детализация пространственных данных определяет то, насколько подробно тот или иной объект представлен на картографическом изображении, оценка детализации позволяет проанализировать допустимую точность пространственных объектов для определенной задачи пользователя. На практике оценка уровня детализации представляет из себя довольно сложную задачу. В мультимасштабном картографировании при смене масштаба текущая детализация пространственных объектов должна соответствовать масштабу, но это не всегда так. Возникают ситуации, когда два различных класса пространственных объектов в

<sup>1</sup> Demidov Yaroslavl State University, Soyuznaya str., 144, 150008, Yaroslavl, Russia,  
*e-mail: polya@uniyar.ac.ru*

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia,  
*e-mail: tsamsonov@geogr.msu.ru*

<sup>3</sup> Demidov Yaroslavl State University, Soyuznaya str., 144, 150008, Yaroslavl, Russia,  
*e-mail: daniilpot@yandex.ru*

<sup>4</sup> Technical University of Berlin, Kaiserin-Augusta-Allee 104-106, 10553, Berlin, Germany,  
*e-mail: elina-usmanova-97@mail.ru*

одном и том же масштабе имеют разные уровни детализации. Так, в работе [Touya, Brando-Escobar, 2013] приводятся примеры несогласованности уровней детализации для тематических классов, по своему семантическому значению связанные друг с другом.

Проблема несогласованности уровней детализации для разных пространственных объектов является серьезным препятствием к получению высококачественного картографического продукта. Отсюда требуется формализовать понятие детализации или уровень детализации (Level of Detail – LoD) и разработать способы его оценки.

В геоинформатике термин уровень детализации не имеет устоявшегося определения. В работе [Meng, Forberg, 2007] уровень детализации определяется изменением подробности представления объектов при рассмотрении определенного масштабного ряда. [Glander, Döllner, 2008] принимают за уровень детализации степень генерализации пространственных объектов. В работе [Forberg, 2007] принимает уровень детализации за стандартный способ повышения эффективности представления многогранных данных. [Sester, 2007] и [Goetz, 2013] считают, что уровни детализации – это мультимасштабные модели для различных приложений, также рассматриваемое понятие может относиться не только к пространству, но и к времени и семантике.

В настоящее время к оценке уровня детализации существует несколько подходов. Прежде всего, для этой цели можно использовать масштаб. Очевидно, что один и тот же объект не может одинаково показан на картах разного масштаба. Но в то же время, масштаб не может быть использован для характеристики баз геоданных, так как последние предназначены не только для картографического представления, следовательно, для них масштаб не является постоянной характеристикой и не может служить надежным критерием при оценке уровня детализации.

Под детализацией пространственного объекта, набора пространственных объектов или карты мы понимаем подробность их представления. Для каждого уровня рассмотрения подробность определяется по-разному.

Детализация представления пространственного объекта определяется количеством его структурных элементов, таких как вершины, изгибы и компоненты (для многосвязных объектов), величиной чувствительных к компрессии данных геометрических характеристик этих элементов, а также количеством семантических характеристик, привязанных к объекту.

Детализация представления множества пространственных объектов определяется мощностью множества, разнообразием и количеством возникающих между его элементами топологических отношений, а также разнообразием значений семантических атрибутов, привязанных к этим объектам.

Детализация карты определяется сочетанием детализации входящих в нее объектов, детализации множества этих объектов, а также разнообразием символов и графических переменных, используемых для визуализации объектов.

Для оценки детализации объектов, множеств объектов и карт необходимо определить: а) конкретный состав рассчитываемых показателей и б) методы их агрегирования в скалярные либо векторные величины, характеризующие детализацию в численном виде.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

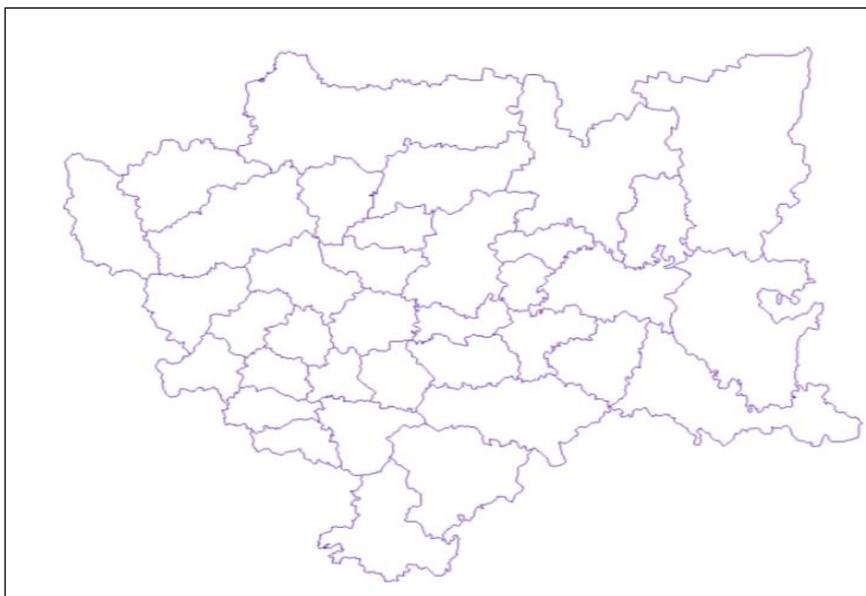
Оценка детализации объекта зависит от его характеристик: геометрических, семантических, топологических. Для линейных объектов, помимо характеристик линии в целом (длина, количество точек, извилистость, средний угол поворота) предлагается рассмотреть более мелкие ее детали, такие как изгибы и триплеты. Под изгибом понимается участок линии, на котором угол поворота сохраняет свой знак. Триплетом считают

комбинацию из трех последовательно идущих точек. Рассмотрение изгибов при оценке детализации целесообразно, так как они играют важную роль при визуальном анализе и геометрическом упрощении объекта. В процессе генерализации необходимо сохранить крупные или значимые изгибы, поэтому изучение их свойств крайне важно при оценке детализации линейных объектов. Триплеты позволяют подробнее проанализировать характеристики и особенности линии.

Для каждой детали (изгиба и триплета) линии были вычислены следующие параметры:

- 1) длина базовой линии – отрезка, соединяющего начальную и конечную точки изгиба (триплета);
- 2) длина – сумма длин всех отрезков, составляющих изгиб (триплет);
- 3) площадь изгиба(триплета);
- 4) высота – отрезок, соединяющий точку на базовой линии с наиболее удаленной точкой на любом из отрезков, составляющих изгиб (триплет);
- 5) отношение высоты к длине базовой линии. Этот показатель позволяет судить о конфигурации детали, наиболее вытянутые вдоль базовой линии изгибы (триплеты) будут иметь малое (менее 1) значение данной характеристики. В то же время вытянутым по направлению высоты деталям соответствует значение, большее 1;
- 6) кривизна (отношение длины к длине базовой линии) определяет значение поворотов линии. Показатель всегда больше 1, причем чем ближе к 1, тем меньшее значение имеет данная деталь при генерализации;
- 7) компактность указывает на стремление полигонального объекта занять минимальную площадь:  $4\pi S/(len+l_b)^2$ , где  $S$  – площадь изгиба,  $len$  – длина изгиба,  $l_b$  – длина базовой линии;
- 8) открытость. Эта характеристика описывает, как длина базовой линии соотносится с размерами изгиба. При небольшой базовой линии и значительной длине изгиба этот показатель будет иметь малое значение:  $h(2*len/l_b - 1)/(h+l_b)$ .

Для экспериментов были использованы административные границы субъектов РФ в масштабах 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, 1:2 500 000, 1:8 000 000, генерализованные вручную.



*Рис. 1. Исходные данные для экспериментов*  
*Fig. 1. Initial data for experiments*

Разработанное нами приложение на языке С# в качестве исходных данных принимает набор шейп-файлов, в каждом из которых находится векторное представление только одной линии. Результатом работы программы является текстовый файл с вычисленными характеристиками. Все значения характеристик для деталей линии усреднены.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования были обработаны и по ним построены графики, отражающие изменение конкретной характеристики в зависимости от масштаба. Бокс-плот (boxplot) отображает медианное значение характеристики (синяя линия внутри прямоугольника), границы прямоугольника представляют первый и третий квартили, максимальный и минимальный разбросы значений отображаются прямыми, расходящимися от прямоугольника вверх и вниз. Часть графиков приведена на рисунках 2–7.

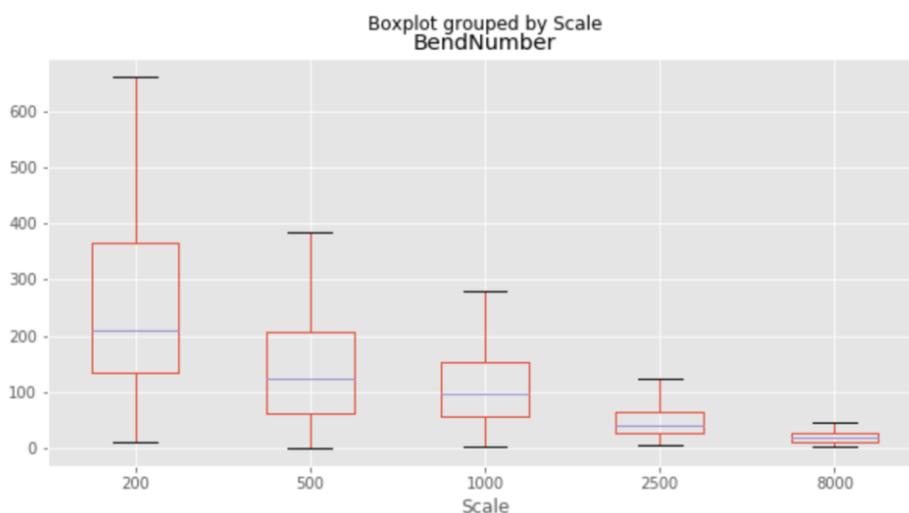


Рис. 2. Изменение количества изгибов в зависимости от масштаба  
 Fig. 2. Changing the number of bends depending on the scale

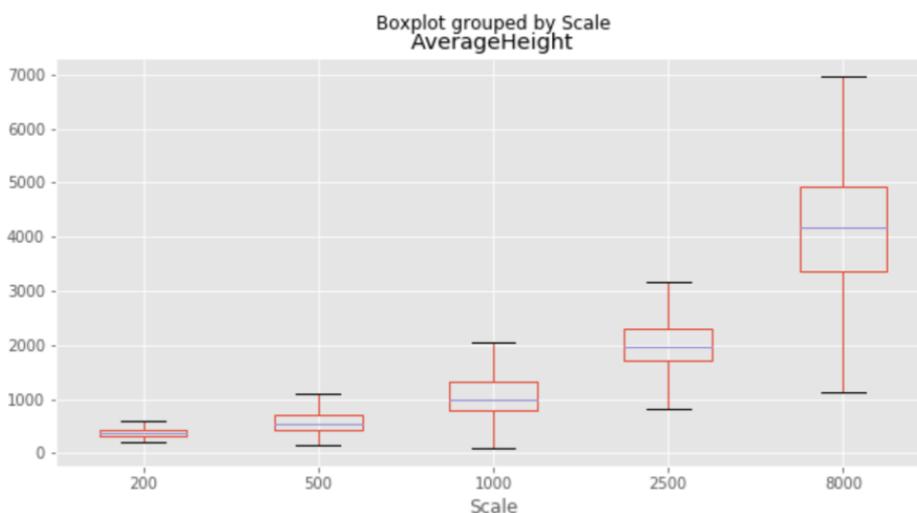


Рис. 3. Изменение средней высоты изгиба в зависимости от масштаба  
 Fig. 3. Changing the average bend height depending on the scale

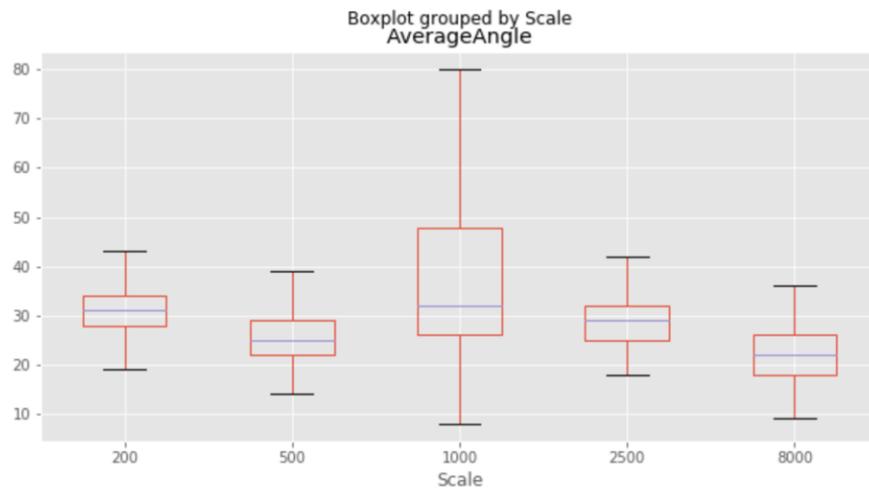


Рис. 4. Изменение среднего угла поворота в зависимости от масштаба  
 Fig. 4. Changing the average angle of rotation depending on the scale

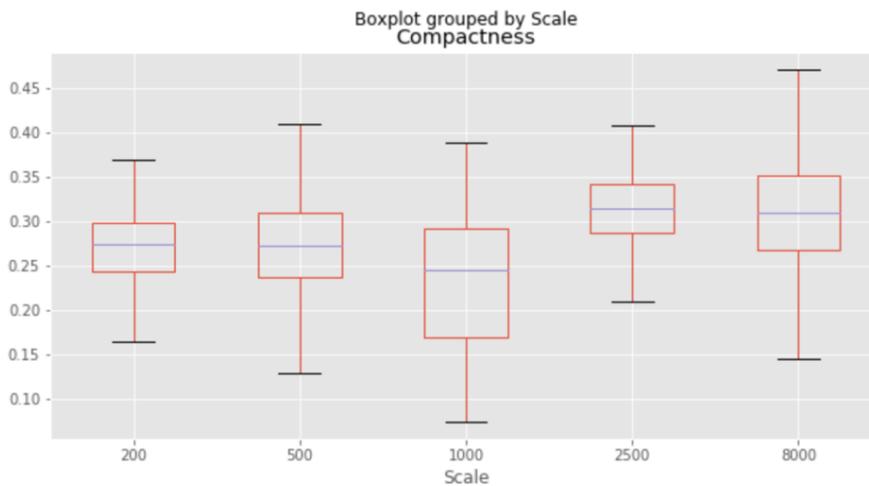


Рис. 5. Изменение компактности в зависимости от масштаба  
 Fig. 5. Changing the compactness depending on the scale

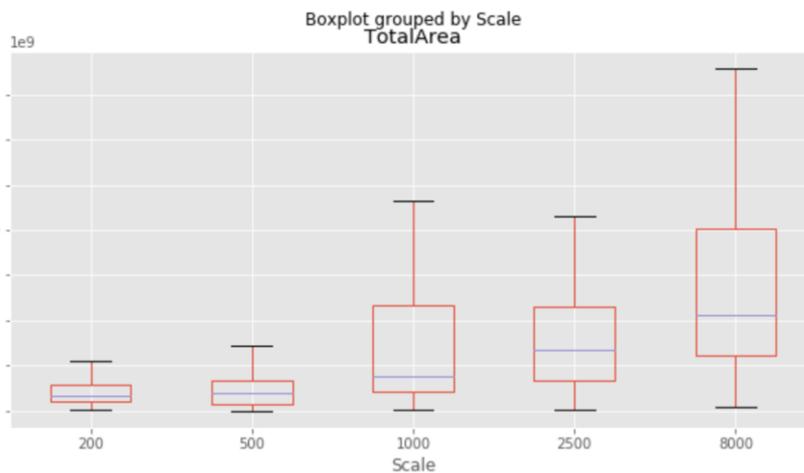


Рис. 6. Изменение суммарной площади изгибов в зависимости от масштаба  
 Fig. 6. Changing the total bend area depending on the scale

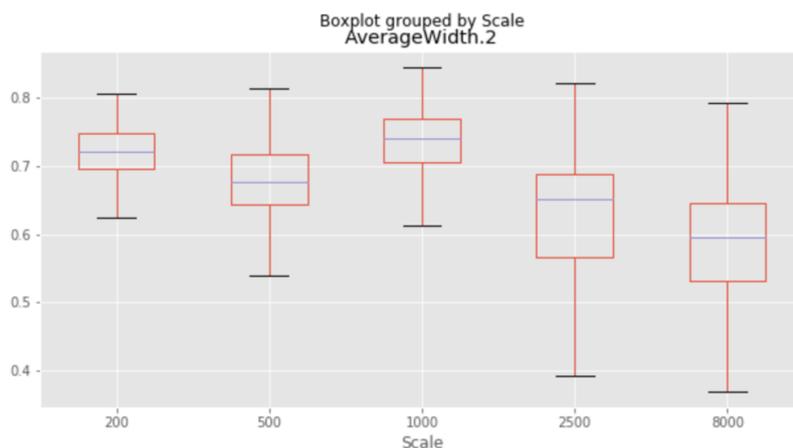


Рис. 7. Изменение средней ширины триплетов в зависимости от масштаба  
 Fig. 7. Changing the average triplet width depending on the scale

Проведенные эксперименты показали, что часть характеристик при изменении масштаба монотонно изменяется, другие же изменяются в тренде или остаются стабильными. Для целей оценки детализации подходит только первая группа. Таким образом для дальнейшей работы были выбраны следующие характеристики линейных объектов:

- общее количество точек;
- количество изгибов;
- общая площадь (сумма площадей всех изгибов, образующих линию);
- длина линии;
- средняя длина изгиба;
- средняя длина базовой линии изгиба;
- средняя высота изгиба;
- средняя площадь изгиба.

Для слоев полигональных объектов дополнительно были выбраны следующие характеристики:

- общая площадь (сумма площадей всех полигонов слоя);
- общий периметр (сумма периметров всех полигональных объектов слоя);
- средняя площадь полигона слоя;
- средний периметр полигона конкретного слоя.

Кроме геометрических характеристик для всех слоев высчитывались семантические характеристики, а именно:

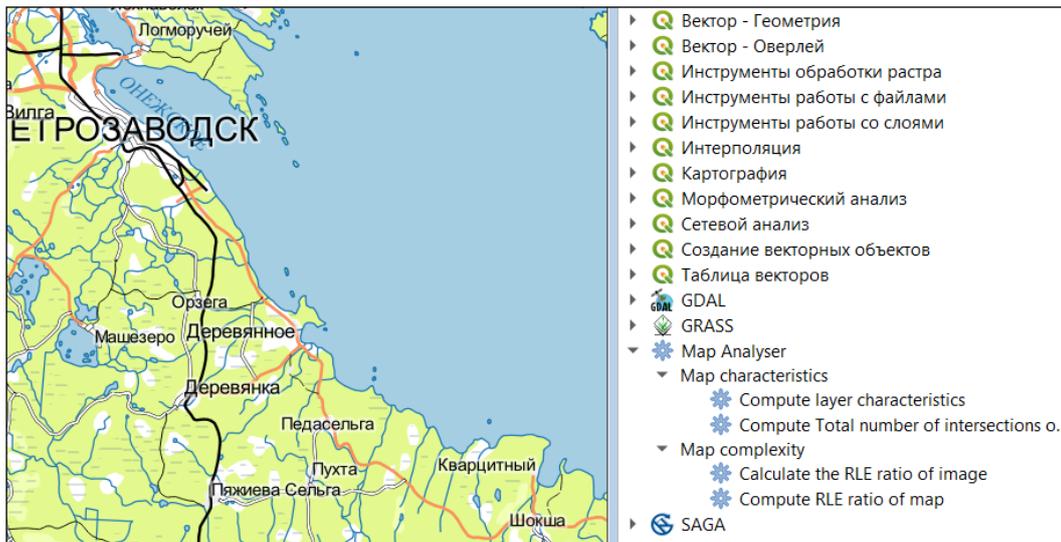
- количество атрибутов в таблице атрибутов слоя (featCount);
- количество уникальных объектов слоя, которое определялось следующим образом:  $\text{numberOfUniqueValues} = (\sum \text{num}_n) / \text{featCount}$ , где сумма берется по количеству полей в таблице атрибутов слоя,  $\text{num}_n$  – количество уникальных атрибутов n-го поля;
- среднее количество уникальных объектов слоя, которое вычисляется как отношение величины numberOfUniqueValues к количеству полей в атрибуте слоя;
- количество объектов в слое.

Для каждого множества пространственных объектов (участка карты) были разработаны топологические характеристики, а именно количество пересечений линий

внутри слоя и между всеми слоями выбранного участка. Последняя характеристика определялась следующим образом:

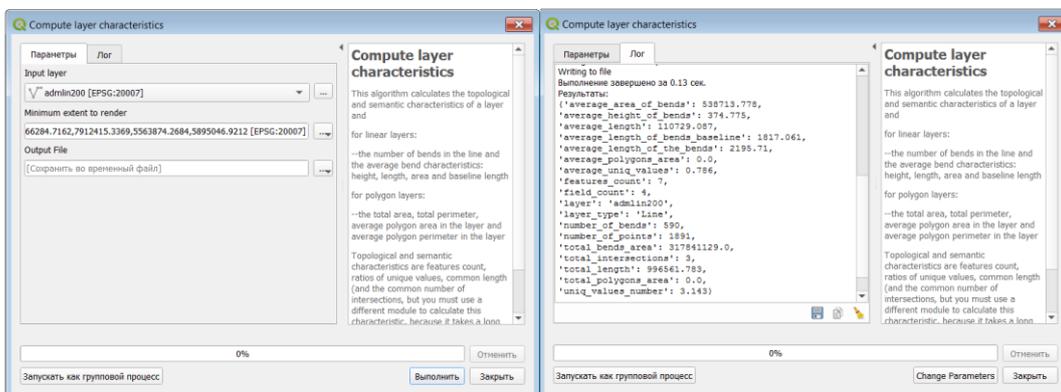
1. Выбор слоев для анализа;
2. Объединение слоев в один слой;
3. Поиск крайних точек линий: из геометрии линии берутся первая точка и последняя.
4. Поиск пересечений линий;
5. Отбор точек пересечений: если точка пересечения встречается два раза в списке крайних точек, то данную точку пересечения отбрасываем.

Количество точек, оставшихся после пункта 5, является результатом работы алгоритма – количество пересечений линий слоев.



*Рис. 8. Панель инструментов MapAnalysier*  
*Fig. 8. Processing tool MapAnalysier*

Была разработана панель инструментов MapAnalysier<sup>1</sup> (см. рис. 8) для геоинформационной системы QGIS, которая позволяет оценить детализацию карты или ее отдельного слоя.



*Рис. 9. Инструмент "Compute layer characteristics"*  
*Fig. 9. "Compute layer characteristics" tool*

<sup>1</sup> <https://github.com/danmoka/MapAnalysier>.

Инструмент "Compute layer characteristics" позволяет получить геометрические, семантические и топологические характеристики выбранного слоя или группы слоев (см. рис. 9). Результаты выводятся в окне инструмента либо их можно сохранить в файл в формате csv. Ниже представлен небольшой фрагмент базы пространственных данных масштаба 1:500000 (см. рис. 10) и часть таблицы характеристик, полученных для него.

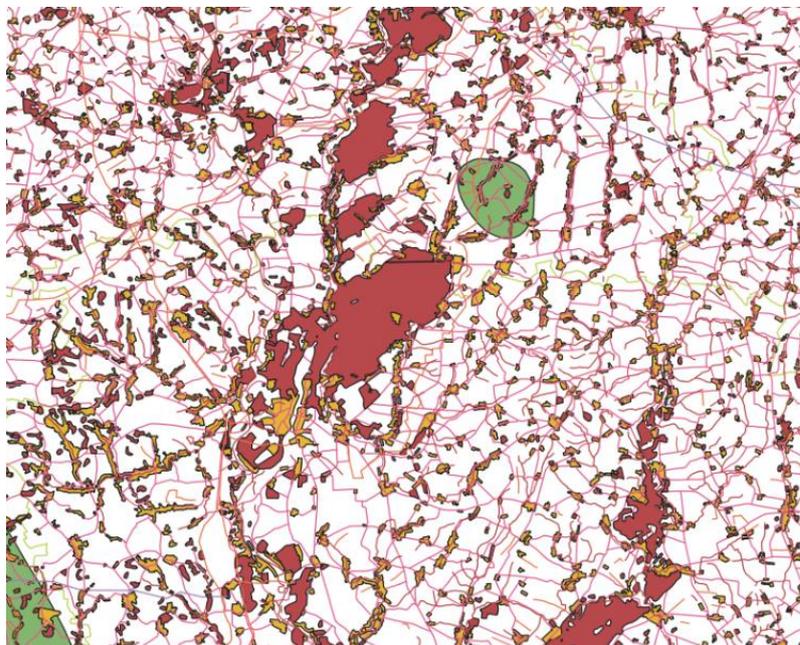


Рис. 10. Фрагмент пространственных данных  
Fig. 10. Some spatial data

Табл. 1. Значения геометрических, семантических и топологических характеристик  
Table 1. Values of geometric, semantic, and topological characteristics

| layer     | field count | features count | number of points | number of bends | average length of bends baseline | average polygons area | average length | layer_type | average height of bends | total intersections |
|-----------|-------------|----------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|------------|-------------------------|---------------------|
| blkpol500 | 9           | 8849           | 50588            | 12577           | 262,376                          | 134569,442            | 1757,16        | Polygon    | 279,264                 | 4                   |
| comlin500 | 8           | 5              | 76               | 14              | 20023,571                        | 0                     | 48102,4        | Line       | 1851                    | 1                   |
| comlin500 | 8           | 5              | 76               | 14              | 20023,571                        | 0                     | 48102,4        | Line       | 1851                    | 1                   |
| forlin500 | 5           | 43             | 222              | 48              | 8162,021                         | 0                     | 9807,33        | Line       | 291,854                 | 57                  |
| ghppol500 | 6           | 2              | 64               | 4               | 62748,25                         | 1294264882            | 158754         | Polygon    | 13524                   | 0                   |
| gndpol500 | 7           | 103            | 1413             | 310             | 966,5                            | 1068438,68            | 4509,85        | Polygon    | 326,103                 | 0                   |
| hdclin500 | 13          | 6              | 14               | 4               | 2307,75                          | 0                     | 3542,27        | Line       | 308,25                  | 0                   |
| hrdlin500 | 9           | 622            | 15149            | 2892            | 1884,433                         | 0                     | 8811,59        | Line       | 268,207                 | 532                 |
| piplin500 | 12          | 22             | 510              | 114             | 7559,904                         | 0                     | 36709,4        | Line       | 969,579                 | 16                  |
| poppol500 | 14          | 1075           | 26792            | 12207           | 773,372                          | 2924335,87            | 9515,48        | Polygon    | 278,439                 | 17                  |
| rdclin500 | 13          | 5              | 40               | 6               | 1897,333                         | 0                     | 4581,39        | Line       | 211,333                 | 0                   |
| rdslin500 | 12          | 1607           | 18346            | 2829            | 3373,791                         | 0                     | 6461,54        | Line       | 333,365                 | 1545                |
| rlfpol500 | 8           | 5              | 52               | 14              | 583,571                          | 405181,1              | 3350,76        | Polygon    | 214                     | 0                   |
| veglin500 | 9           | 80             | 247              | 69              | 3569,377                         | 0                     | 5263,13        | Line       | 475,014                 | 0                   |
| vegpol500 | 9           | 421            | 14312            | 3738            | 1234,01                          | 7769671,78            | 11220,2        | Polygon    | 296,189                 | 0                   |

Инструмент "Compute Total number of intersections of linear and polygon layers" позволяет получить топологическую характеристику выбранного слоя или группы слоев с линейными или полигональными объектами – общее число пересечений линий (контуров) объектов. Результаты выводятся в окне инструмента либо их можно сохранить в файл в формате csv.

Инструменты "Compute RLE ratio of map" и "Calculate the RLE ratio of image" предназначены для получения оценки графической сложности картографического изображения на основе одного из универсальных методов – RLE кодирования. В методе кодирования к картографическому изображению применяется сжатие информации каким-либо методом. Показателем сложности карты является отношение длины сжатого и исходного файлов. Если на карте много "пустого" места, закрашенного фоновым цветом, то при сжатии его размер сильно уменьшится, иначе практически не изменится. В работе [Fairbairn, 2006] проведено сравнение различных методов сжатия и рекомендован метод кодирования серий (RLE – run-length encoding), который и реализован для панели инструментов MapAnalysar. Инструмент "Compute RLE ratio of map" (см. рис. 11) получает от пользователя охват загруженной карты, преобразует его в изображение средствами QGIS, потом выполняет подсчет коэффициента сжатия. Инструмент "Calculate the RLE ratio of image" позволяет указать существующие в файловой системе пользователя картографические изображения и для каждого из них рассчитывает коэффициент сжатия. Результаты можно как увидеть на экране, так и сохранить в файл в формате csv.

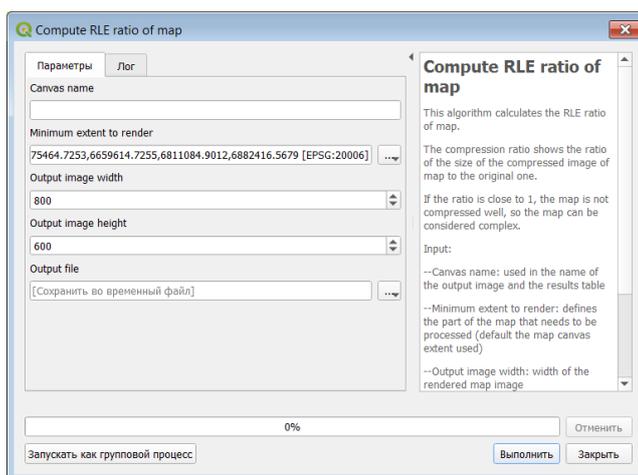


Рис. 11. Инструмент "Compute RLE ratio of map"  
Fig. 11. "Compute RLE ratio of map" tool



Рис. 12. Петрозаводск и Санкт-Петербург. 1:500000  
Fig. 12. Petrozavodsk and Sanct-Pereburg. 1:500000

На рисунке 12 представлены два фрагмента топографической карты масштаба 1:500000. Сложность левого фрагмента – Петрозаводск – 0,425, в то время как правого – Санкт-Петербург – 0,519.

Программный код для панели инструментов написан на языке PyQGIS, программа прошла государственную регистрацию<sup>1</sup>.

## ВЫВОДЫ

Процесс картографической генерализации, представляющий собой обобщение изображаемых на карте объектов (геометрическое упрощение, классификация и прочие операции приводящие к снижению информационной нагрузки), играет важную роль в представлении карт и пространственных данных в геоинформационных системах. Генерализация необходима для того чтобы убрать детали, не соответствующие масштабу анализа или отображения информации, выявить наиболее типические черты объектов.

Вместе с тем, отсутствие четких метрик для определения степени подробности результата не позволяет автоматически настраивать алгоритмы генерализации данных, чтобы получить данные и карты требуемой детализации. Определение (формализация) понятия детализации цифровых пространственных моделей является фундаментальной теоретической проблемой геоинформатики, решение которой позволит по-новому взглянуть на весь процесс геоинформационного моделирования в общем, и процесс создания карт в частности.

Проведенное исследование позволило выделить набор геометрических характеристик картографических объектов, позволяющих оценить детализацию карты. Разработано программное обеспечение, встраиваемое в QGIS, для оценки детализации карты (базы пространственных данных) в целом на основе учета геометрических и символьных (применяемых при отображении) параметров. Панель инструментов MapAnalyser позволяет вычислять метрики детализации пространственных данных, а также давать оценку сложности картографического изображения.

С помощью разработанного программного обеспечения было выполнено исследование по распознаванию уровня детализации топографических данных на основе плотности ландшафтных объектов<sup>2</sup>.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 18-07-01459.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 18-07-01459.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Glander T., Döllner J.* Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2009. V. 33. P. 375–387.
2. *Goetz M.* Towards generating highly detailed 3D CityGML models from OpenStreetMap. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013. V. 27. P. 845–865.
3. *Fairbairn D.* Measuring Map Complexity. *The Cartographic Journal*. 2006. V. 43. No 3. P. 224–238.
4. *Forberg A.* Generalization of 3D building data based on a scale-space approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2007. V. 62. P. 104–111.

<sup>1</sup> <https://fips.ru/EGD/4ea004d3-7864-40a4-a7d0-944f1916570e>.

<sup>2</sup> [https://varioscale.bk.tudelft.nl/events/icagen2020/ICAgen2020/ICAgen2020\\_paper\\_7.pdf](https://varioscale.bk.tudelft.nl/events/icagen2020/ICAgen2020/ICAgen2020_paper_7.pdf).

5. *Meng L., Forbeng A.* 3D building generalisation. In W. Mackaness, A. Ruas, T.Sarjakoski (Eds.) Challenges in the portrayal of geographic information: Issues of generalisation and multi scale representation, 2007. P. 211–232, Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science.
6. *Sester, M.* 3D visualization and generalization. In D. Fritsch (Ed.), Proceedings of the 51st photogrammetric week '07. Stuttgart, Germany. 2007. P. 285–295.
7. *Touya G., Brando-Escobar C.* Detecting level-of-detail inconsistencies in volunteered geographic information data sets. Cartogr Int J Geogr Inf Geovisual, 2013. V. 48. No 2. P. 134–143.

#### REFERENCES

1. *Glander T., Döllner J.* Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models. Computers, Environment and Urban Systems, 2009. V. 33. P. 375–387.
2. *Goetz M.* Towards generating highly detailed 3D CityGML models from OpenStreetMap. International Journal of Geographical Information Science, 2013. V. 27. P. 845–865.
3. *Fairbairn D.* Measuring Map Complexity. The Cartographic Journal. 2006. V. 43. No 3. P. 224–238.
4. *Forberg A.* Generalization of 3D building data based on a scale-space approach. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007. V. 62. P. 104–111.
5. *Meng L., Forbeng A.* 3D building generalisation. In W. Mackaness, A. Ruas, T.Sarjakoski (Eds.) Challenges in the portrayal of geographic information: Issues of generalisation and multi scale representation, 2007. P. 211–232, Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science.
6. *Sester, M.* 3D visualization and generalization. In D. Fritsch (Ed.), Proceedings of the 51st photogrammetric week '07. Stuttgart, Germany. 2007. P. 285–295.
7. *Touya G., Brando-Escobar C.* Detecting level-of-detail inconsistencies in volunteered geographic information data sets. Cartogr Int J Geogr Inf Geovisual, 2013. V. 48. No 2. P. 134–143.