УДК: 528.914 **DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-253-267**

Т.Е. Самсонов[1], О.П. Якимова[2]

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ МЕТРИК АЛГОРИТМОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО УПРОЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДЕТАЛИЗАЦИИ ЛИНИЙ

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследования, проведенного в форме экспертного опроса с целью выявить наличие зависимостей между характером линии и сочетанием метрик, позволяющим достичь сопоставимых по детализации результатов разными алгоритмами геометрического упрощения.

Для выполнения опроса подготовлены геометрически упрощенные версии трех береговых линий тремя разными алгоритмами геометрического упрощения — Дугласа-Пейкера, Висвалингам-Уайатта и Ли-Оупеншоу. Упрощение производилось при условии одинаковой величины модифицированного расстояния Хаусдорфа (линейное смещение) и уменьшения количества изгибов линии (компрессия количества деталей). Задачей респондентов было дать численную оценку детализации каждого изображения, основываясь на личном восприятии по шкале от 1 до 10.

Результаты опроса показали, что линии, воспринимаемые респондентами как имеющие схожую детализацию, могут быть получены разными алгоритмами, однако выбор метрики, использующейся в качестве ограничения, зависит от характера линии. Для линий, имеющих неглубокую иерархию изгибов, размеры которых малы в сравнении с длиной всей линии, наиболее схожие по детализации результаты получаются при использовании линейного смещения в качестве ограничивающей метрики.

При увеличении сложности линии большую роль в восприятии детализации начинает играть метрика компрессии количества деталей (изгибов). Для одной из трех линий наилучший результат устойчиво получился при взвешенной комбинации анализируемых метрик в качестве ограничения при выполнении геометрического упрощения.

Было установлено, что метрика линейного смещения является более показательной при характеристике изменения детализации линии, поскольку ни один из результатов опроса не показал возможность применения только уменьшения количества изгибов как эффективной характеристики изменения детализации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: детализация пространственных данных; геометрическое упрощение линий; экспертный опрос.

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail:* **tsamsonov@geogr.msu.ru**

[2] Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, Математический факультет, ул. Союзная, д. 144, 150008, Ярославль, Россия, *e-mail:* **polya@uniyar.ac.ru**

Timofey E. Samsonov[3], **Olga P. Yakimova**[4]

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF CONSTRAINING METRICS OF GEOMETRIC SIMPLIFICATION ALGORITHMS BASED ON EXPERT EVALUATION OF LINE DETAIL

ABSTRACT

The paper reveals dependencies between the character of the line shape and combination of constraining metrics that allows comparable reduction in detail by different geometric simplification algorithms. The study was conducted in a form of the expert survey. Geometrically simplified versions of three coastline fragments were prepared using three different geometric simplification algorithms — Douglas-Peucker, Visvalingam-Whyatt and Li-Openshaw. Simplification was constrained by similar value of modified Hausdorff distance (linear offset) and similar reduction of number of line bends (compression of the number of detail elements). Respondents were asked to give a numerical estimate of the detail of each image, based on personal perception, using a scale from one to ten. The results of the survey showed that lines perceived by respondents as having similar detail can be obtained by different algorithms. However, the choice of the metric used as a constraint depends on the nature of the line. Simplification of lines that have a shallow hierarchy of small bends is most effectively constrained by linear offset. As the line complexity increases, the compression metric for the number of detail elements (bends) increases its influence in the perception of detail. For one of the three lines, the best result was consistently obtained with a weighted combination of the analyzed metrics as a constraint. None of the survey results showed that only reducing the number of bends can be used as an effective characteristic of similar reduction in detail. It was therefore found that the linear offset metric is more indicative when describing changes in line detail.

KEYWORDS: spatial data detail; geometric line simplification; expert survey.

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие форм географических объектов и их сочетаний на местности обуславливает необходимость выбора методов и технологий составления карт, которые бы достоверно передавали географические особенности территории. Одной из ключевых технологий является автоматизированная генерализация, которая реализуется в виде комплекса алгоритмов, направленных на обобщение содержания карты. Известно, что алгоритмы генерализации неодинаково воздействуют на форму объектов, и результаты их работы обладают особым картографическим рисунком [*Samsonov, Yakimova,* 2017]. По этой причине алгоритмы генерализации подбираются таким образом, чтобы обобщенное картографическое представление территории по своему рисунку соответствовало исходному. На высоком уровне это проявляется в том, что разные наборы процедур генерализации параллельно выполняются в разных географических ландшафтах (например, урабанизированных и природных), а итоговая карта получается путем объединения результатов их работы [*Touya et al.,* 2010]. На среднем уровне это проявляется в выборе оптимальных алгоритмов для каждого объекта в зависимости от его типа [*Ai,* 2007; *Bayer,* 2009; *Mustiere,* 2005; *Wang, Muller,* 1993]. На низком уровне — в разбиении контуров индивидуальных объектов на морфологически однородные участки, для каждого из которых применяется процедура геометрического упрощения, позволяющая максимально

[3] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, *e-mail:* **tsamsonov@geogr.msu.ru**

[4] Demidov Yaroslavl State University, Soyuznaya str., 144, 150008, Yaroslavl, Russia, *e-mail:* **polya@uniyar.ac.ru**

правдоподобно воспроизвести характер линии в обобщенном виде и тем самым сохранить его неоднородность [*Park, Yu,* 2011; *Samsonov, Yakimova,* 2017]. Такой подход назвают коллаборативным (совместным) [*Touya, Duchêne, & Ruas,* 2010].

При использовании коллаборативного подхода, однако, возникает проблема однородности результатов. В частности, детализация линий, полученных разными алгоритмами геометрического упрощения, должна быть быть уменьшена в одинаковое (или по крайней мере близкое) количество раз. Возникает вопрос, можно ли управлять этим уменьшением, при условии, что каждый алгоритм имеет собственный набор параметров и действует по собственной процедуре. В работе [*Samsonov, Yakimova,* 2020] было показано, что различными алгоритмами может быть достигнуто сопоставимое (с точностью до ошибок регрессии) изменение метрик, характеризующих геометрическую точность, размер и количество деталей в линии. В эксперименте анализировались алгоритмы Дугласа-Пейкера [*Douglas, Peucker,* 1973], Висвалингам-Уайатта [*Visvalingam, Whyatt,* 1993] и Ли-Оупеншоу [*Li, Openshaw,* 1992], а также три линии, представляющие участки побережья Ботнического залива (Финляндия), Норвегии и Исландии (рис. 1). В качестве метрик анализировалось изменение модифицированного расстояния Хаусдорфа *MHD* [*Dubuisson, Jain,* 1994] (геометрическая точность как линейное смещение), изменение количества точек, изгибов и длины линии (компрессия деталей), а также изменение извилистости (контроль морфологии линии).

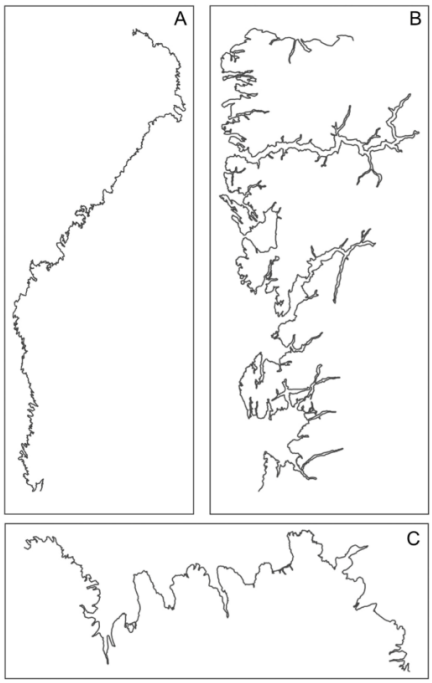

Рис. 1. Исходные линии: (A) Ботния, (B) Норвегия, (C) Исландия [Samsonov, Yakimova, 2020]
Fig. 1. Source lines: (A) Bothnia, (B) Norway, (C) Iceland [Samsonov, Yakimova, 2020]

Результаты экспериментов показали, что характер линии оказывает существенное влияние на то, как изменения метрик зависят от величины параметра каждого алгоритма и на то, насколько существенно эти изменения влияют на восприятие детализации линии. Так, например, для линий, обладающих большим количеством малых изгибов и неглубокой иерархией изгибов уменьшение их числа при росте допуска упрощения происходит

существенно быстрее, чем для линий с крупными изгибами и развитой иерархией изгибов вне зависимости от алгоритма. В то же время, линии, обработанные разными алгоритмами при условии равенства одной из ограничивающих метрик, визуально могут существенно отличаться по детализации. При этом для одной линии наиболее похожи по детализации результаты, полученные при фиксированном линейном смещении (модифицированное расстояние Хаусдорфа между исходной и генерализованной линией), а для другой линии более похожи результаты, полученные при фиксированном изменении количества изгибов.

Исходя из этого была выдвинута гипотеза о том, что управляемое изменение детализации линий должно принимать в расчет морфологические особенности линии, а также о том, что необходимо комбинировать разные метрики для достижения сопоставимого уменьшения детализации. В статье [*Samsonov, Yakimova,* 2020] данная гипотеза была проверена на примере геометрического упрощения линий Финляндии, Исландии и Норвегии, где для первой линии упрощение контролировалось метрикой MHD, для третьей линии оно контролировалось одинаковым уменьшением количества изгибов, и для второй линии балансировало между ними в соотношении 0,7/0,3. С указанными весами метрик удалось достичь визуально похожей детализации линии, однако объективность оценок осталась под вопросом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей статье представлены результаты исследования, проведенного в форме экспертного опроса с целью выявить наличие зависимостей между характером линии и сочетанием метрик, позволяющим достичь сопоставимых по детализации результатов разными алгоритмами геометрического упрощения.

Для достижения цели был выполнен экспертный опрос студентов, в котором участвовало 20 человек: 9 бакалавров 4 года и 11 магистров 1 года обучения по направлению «Картография и геоинформатика» на Географическом факультете МГУ имени М.В.Ломоносова. На момент прохождения опроса участники уже прошли курс «Картографические базы данных», в рамках которого они подробно знакомятся с алгоритмами картографической генерализации. Таким образом, аудиторию опроса можно считать квалифицированной.

Для выполнения опроса были подготовлены геометрически упрощенные версии исходных трех линий. На первом этапе для алгоритмов Висвалингам-Уайатта и Ли-Оупеншоу были получены регрессионные зависимости между их параметрами и параметром алгоритма Дугласа-Пейкера, обеспечивающие сопоставимое изменение модифицированного расстояния Хаусдорфа и количества изгибов для каждой линии. После этого каждая линия трижды упрощалась каждым алгоритмом при последовательном увеличении допуска алгоритма Дугласа-Пейкера (d = 5, 10, 20) и вычислении соответствующих параметров для двух оставшихся алгоритмов на основе полученных регрессий. При вычислении параметров использовалось три комбинации регрессий с весовыми коэффициентами [0; 1], [0,5; 0,5] и [1; 0] для регрессий по MHD и количеству изгибов соответственно. Таким образом, для каждой линии было получено 27 генерализованных изображений, отличающихся как по степени упрощения, так и по метрике, которая сохраняется в процессе упрощения. Итого суммарно 81 изображение.

Изображения были упорядочены группами по 4 шт, где крайнее левое изображение соответствует исходной линии, а последующие три являются его генерализованными версиями, полученными алгоритмами Дугласа-Пейкера, Висвалингам-Уайатта и Ли-Оупеншоу соответственно. Всего на листе А4 располагалось 3 таких группы сверху вних, соответствующих величине параметра алгоритма Дугласа-Пейкера (d = 5, 10, 20), а каждый лист соответствовал используемой комбинации весовых коэффициентов регрессий [0; 1],

[0,5; 0,5] и [1; 0]. Таким образом, студентам было роздано 9 листов по 12 изображений. Примеры опросных листов приведены на рис. 2.

Задачей респондентов было дать численную оценку детализации каждого изображения, основываясь на личном восприятии. Число необходимо было подписать рядом с самим изображением. Шкала измерения уровня детализации подчинялась следующим принципам:

– от 1 до 10, где 1 – самое детальное изображение, 10 – самое обобщенное.

– детализация исходного изображения (№1) принимается равной 1. Это изображение повторяется в каждой группе из четырех изображений.

– баллы проставляются кратно 0,5. То есть, возможна величина как 5, так и 5,5.

– несколько изображений могут иметь одинаковую детализацию (как из одной строки, так и из разных строк).

– максимальная величина может быть меньше 10. Допустимо присвоить максимально генерализованному изображению более низкий балл (например, 8) и распределить все баллы между ним и 1 (исходное изображение).

Критериями оценки детализации служили две характеристики:

– количество деталей (изгибов линии): чем их больше, тем меньше будет балл детализации. На обобщенных изображениях не должно быть много деталей.

– размер деталей (ширина, глубина): чем меньше самый малый видимый изгиб, тем меньше будет балл детализации. На обобщенных изображениях не должно быть мелких деталей.

Морфология деталей (их гладкость/угловатость) не должна была оказывать большого влияния на выбор. Респондентов просили абстрагироваться от оценки угловатости линий и сравнивать их только по количеству и размеру отображаемых деталей.

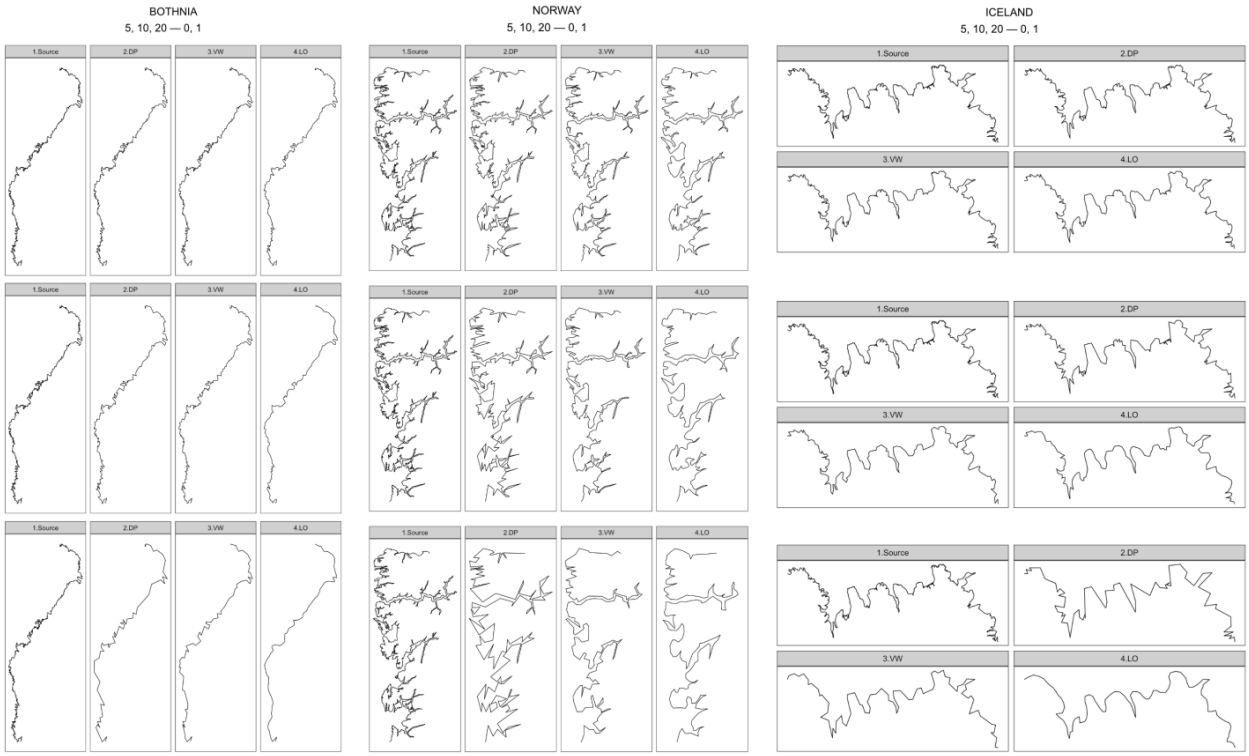

Рис. 2. Примеры опросных листов для оценки детализации линий
Fig. 2. Example of a questionnaires for line detail assessment

Результаты опроса были упорядочены в виде таблицы, фрагмент которой для одного респондента представлен в табл. 1.

Табл. 1. Фрагмент таблицы результатов оценки уровня детализации
Table 1. Fragment of the table of results of the detail assessment

Группа	Студент	Участок	w1	w2	Метод	d	Детализация
B	1	Norway	0,0	1,0	DP	5	2,0
B	1	Norway	0,0	1,0	DP	10	6,5
B	1	Norway	0,0	1,0	DP	20	8,0
B	1	Norway	0,0	1,0	VW	5	4,0
B	1	Norway	0,0	1,0	VW	10	6,0
B	1	Norway	0,0	1,0	VW	20	9,0
B	1	Norway	0,0	1,0	LO	5	7,0
B	1	Norway	0,0	1,0	LO	10	8,0
B	1	Norway	0,0	1,0	LO	20	8,5
B	1	Norway	0,5	0,5	DP	5	3,0
B	1	Norway	0,5	0,5	DP	10	6,5
B	1	Norway	0,5	0,5	DP	20	8,5
B	1	Norway	0,5	0,5	VW	5	2,0
B	1	Norway	0,5	0,5	VW	10	7,0
B	1	Norway	0,5	0,5	VW	20	8,0
B	1	Norway	0,5	0,5	LO	5	5,0
B	1	Norway	0,5	0,5	LO	10	7,5
B	1	Norway	0,5	0,5	LO	20	8,5
B	1	Norway	1,0	0,0	DP	5	3,0
B	1	Norway	1,0	0,0	DP	10	7,0
B	1	Norway	1,0	0,0	DP	20	9,0
B	1	Norway	1,0	0,0	VW	5	2,0
B	1	Norway	1,0	0,0	VW	10	3,0
B	1	Norway	1,0	0,0	VW	20	7,0
B	1	Norway	1,0	0,0	LO	5	3,0
B	1	Norway	1,0	0,0	LO	10	4,0
B	1	Norway	1,0	0,0	LO	20	8,0

Перед выполнением анализа данные были подвержены фильтрации, которая заключалась в исключении случаев, когда оценки детализации трех изображений одной линии на одной странице, соответствующих допускам упрощения 5, 10, 20, не образуют монотонно растущей прогрессии. С учетом очевидности уменьшения детализации в этих прогрессиях, подобные случаи могли быть следствием невнимательности, усталости или недобросовестного выполнения задания. Также встречались случаи, когда оценка вообще не была проставлена. Из 1620 оценок таким образом было отбраковано 23 (2 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя полученные оценки, мы пытались понять, при каких условиях респонденты оценивают изображения как имеющие одинаковую детализацию. Для этого сначала агрегировали оценки, полученные для каждого изображения (в среднем по 20

оценок, за исключением отбракованных случаев). На рис. 4 представлены диаграммы размаха по всем 27 группам линий. Заголовок каждого графика построен по шаблону <участок> <вес MHD> <вес изгибов> <допуск упрощения>. Например, самый первый заголовок Bothnia 0 1 05 означает, что это оценки для линии Ботния, полученной при нулевом весе MHD и единичном весе изгибов с допуском упрощения для алгоритма Дугласа-Пейкера d = 5. Таким образом, каждая тройка соседних по горизонтали графиков соответствует одному опросному листу.

Анализ данных графиков позволяет видеть, что даже с учетом независимой простановки оценок во всех случаях по мнению респондентов детализация уменьшается при увеличении допуска упрощения, если сравнивать диаграммы для одного алгоритма. В то же время, есть случаи, когда детализация, полученная одним алгоритмом при меньшем допуске, оценивалась в среднем как менее детальная, чем детализация, полученная другим алгоритмом при вдвое большей величине допуска. Таким примером является линия Norway (левый нижний угол рис. 3), которая наглядно показывает, что алгоритм Ли-Оупеншоу очень быстро уменьшает детализацию сложной по структуре линии в случае, когда ограничивающим критерием является совпадение количества изгибов.

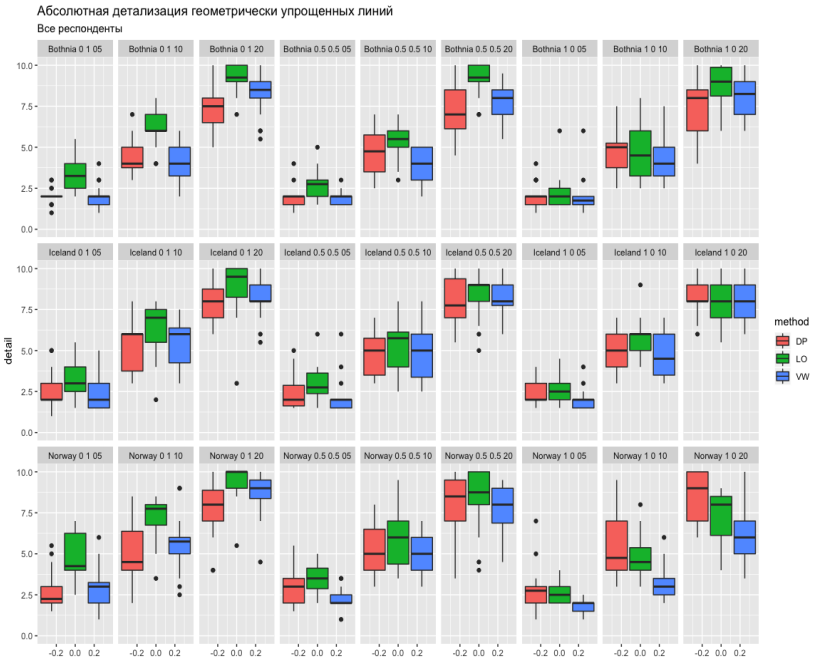

Рис. 3. Абсолютная детализация геометрически упрощенных линий (все респонденты)
Fig. 3. Absolute detail of geometrically simplified lines (all respondents)

Также можно обратить внимание на то, что в большинстве случаев алгоритм Дугласа-Пейкера дает наиболее детальное изображение и практически никогда не оценивается как самый грубый, за исключением случая с приоритетом геометрической точности (MHD), который располагается в правом нижнем углу рис. 3. Данный случай наглядно характеризует особенности алгоритма Дугласа-Пейкера, который при сопоставимых других характеристиках всегда «обыгрывает» другие алгоритмы по показателям геометрической точности, то есть дает линию, наименее отклоняющуюся от исходной по метрике линейного смещения. В обратном случае – когда это отклонение сопоставимо с результатами других алгоритмов, линия, полученная алгоритмом Дугласа-Пейкера, получается существенно более грубой для восприятия. Однако, как видно из графиков, это суждение верно только для линии со сложной иерархией изгибов. Для

Исландии и Ботнии такого эффекта не наблюдается, что свидетельствует о влиянии морфологии линии на результат оценки детализации.

Чтобы оценить, нет ли систематических отличий в выборках, полученных для бакалавров и магистров, мы выполнили аналогичный анализ для них по отдельности, полученные графики представлены на рис. 4 и рис. 5. Можно видеть, что основным отличием выборок является более высокое среднеквадратическое отклонение оценок для бакалавров («ящики» на диаграммах размаха у них более широкие). В остальном же картина получилась схожая.

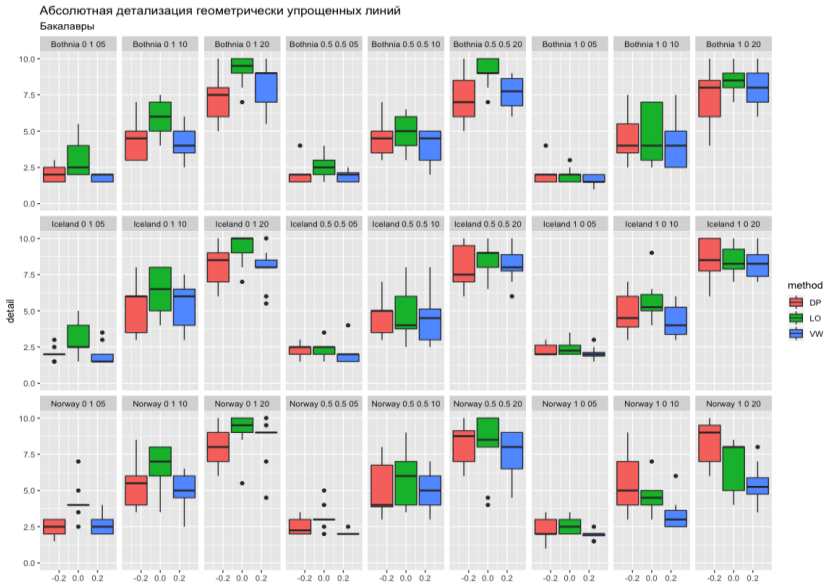

Рис. 4. Абсолютная детализация геометрически упрощенных линий (бакалавры)
Fig. 4. Absolute detail of geometrically simplified lines (bachelor students)

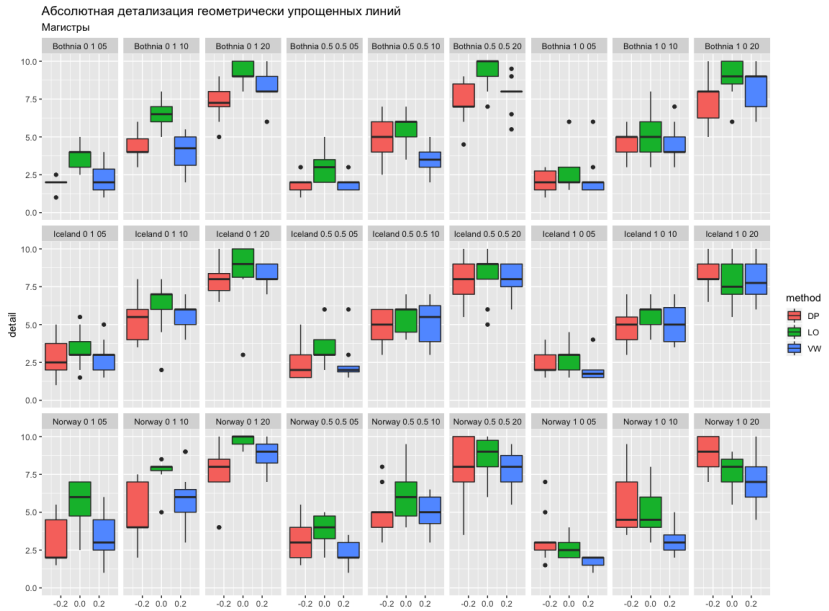

Рис. 5. Абсолютная детализация геометрически упрощенных линий (магистры)
Fig. 5. Absolute detail of geometrically simplified lines (master students)

Основной вывод, который был сделан по результатам первичного анализа абсолютных метрик, заключается в том, что, несмотря на то что интерквартильные размахи на графиках во многих случаях существенно пересекаются, практически ни в одном из них не наблюдается совпадение медиан или средних значений детализации. Одной из причин, которые обуславливают нестабильность оценок, является то, что каждый респондент по-своему распределял баллы детализации между тремя уровнями упрощения, и линия, которая получала балл 4 у одного респондента, могла получить баллы 2,5 и 6 у других. В то же время, целью эксперимента являлось не сравнение абсолютных отметок разных респондентов, а выявление случаев, когда респондент ставил изображениям в одной группе одинаковые баллы – то есть, оценивал их детализацию как идентичную. Поэтому на следующем этапе анализа мы перешли от абсолютных баллов к относительным.

Относительные баллы детализации были получены в каждой группе из трех изображений (одинаковые параметры, но разные алгоритмы) путем разности их детализации и детализации изображения, полученного алгоритмом Дугласа-Пейкера. В этом случае все линии, полученные указанным алгоритмом, получали оценку 0, а для оставшихся двух могли принимать как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от величины отклонения. Результирующие графики представлены на рис. 6.

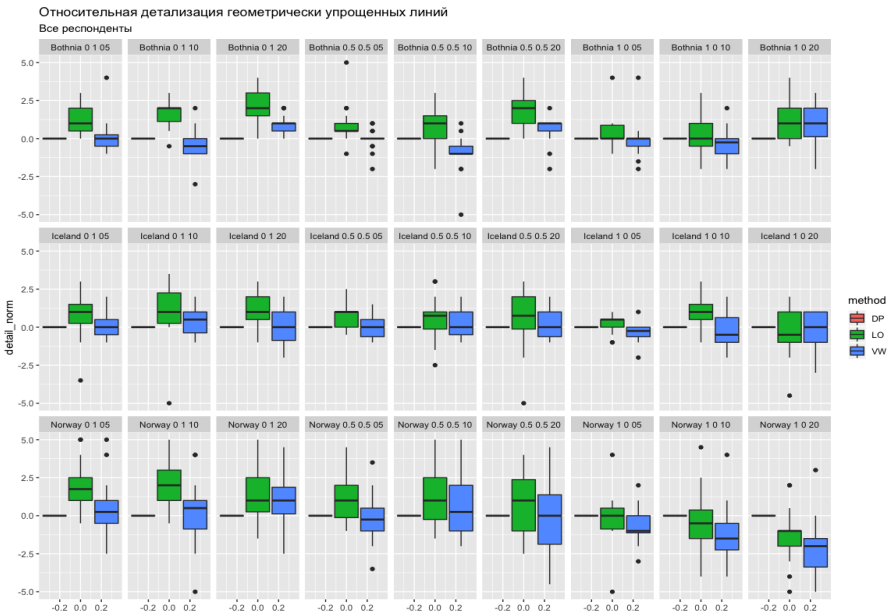

Рис. 6. Относительная детализация геометрически упрощенных линий (все респонденты)
Fig. 6. Relative detail of geometrically simplified lines (all respondents)

Анализ графиков относительной детализации позволил сделать следующие выводы:

– при более грубых уровнях детализации увеличивается нестабильность оценок: медиана сильнее отклоняется от 0, увеличивается интерквартильный размах.

– алгоритм Висвалингам оказался в среднем более управляемым, нежели алгоритм Ли-Оупеншоу, его оценки детализации в большем количестве случае оказались близкими к оценкам алгоритма Дугласа-Пейкера.

– для каждой из трех линий можно наметить комбинации весов регрессий, которые дают наиболее удовлетворительные результаты. Для Ботнии это комбинация [1; 0], для Норвегии [0,5; 0,5], а для Исландии результат до конца не очевиден, необходим дальнейший анализ для выбора между [0,5; 0,5] и [1; 0].

Так же, как и для абсолютных оценок, аналогичные визуализации по относительным оценкам были сделаны отдельно по выборкам для групп бакалавров и магистров. Они представлены на рис. 7 и рис. 8. Выводы, сделанные по общей выборке, они подтверждают, однако показывают, что оценки, сделанные магистрами, отличаются меньшей стабильностью, особенно для линии Норвегия, для которой большинство графиков имеют интерквартильный размах в 2 и более балла.

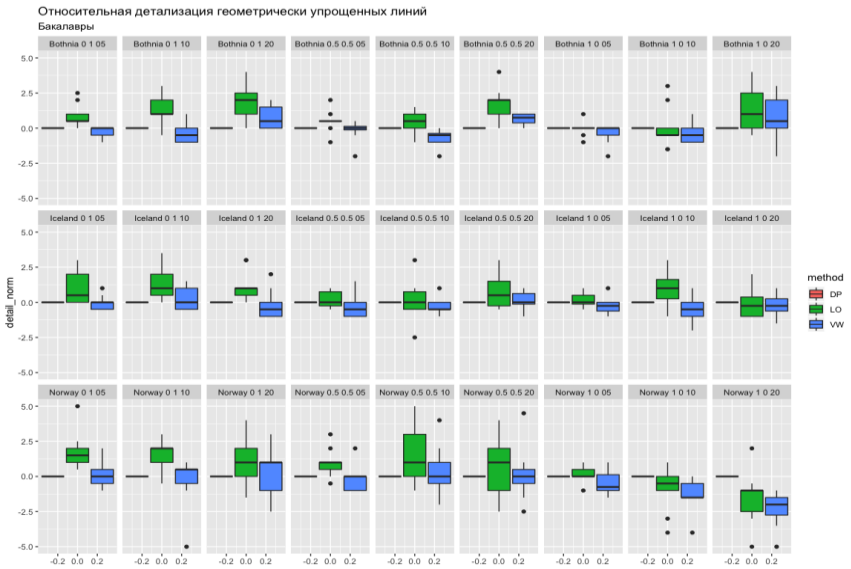

Рис. 7. Относительная детализация геометрически упрощенных линий (бакалавры)
Fig. 7. Relative detail of geometrically simplified lines (bachelor students)

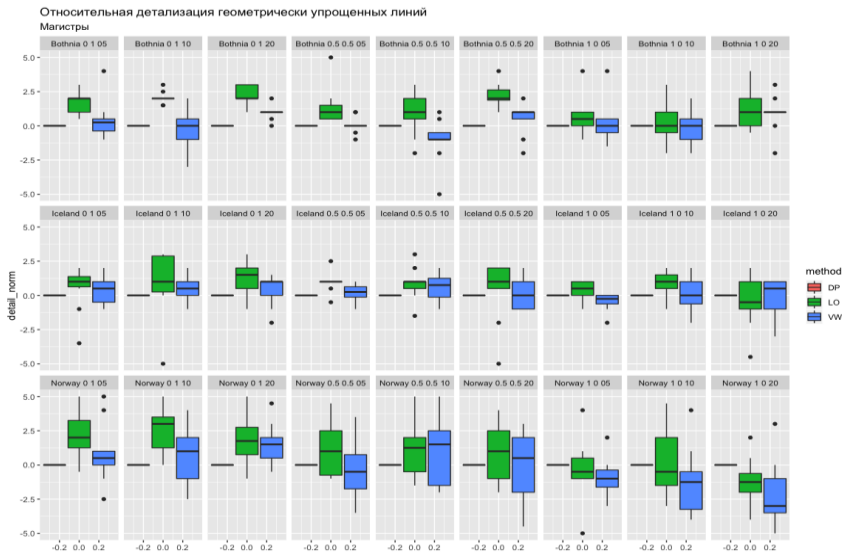

Рис. 8. Относительная детализация геометрически упрощенных линий (магистры)
Fig. 8. Relative detail of geometrically simplified lines (master students)

Получилось, что бакалавры подошли более разнопланово к шкалированию уровней детализации (большой разброс баллов между респондентами для одного изображения), но при этом более часто чем магистры оценивали расположенные рядом изображения как

имеющие близкую детализацию (меньший разброс баллов для одного респондента, но между изображениями).

На заключительном этапе анализа мы выполнили еще две итерации агрегирования относительных данных. Для начала мы исключили данные по алгоритму Дугласа-Пейкера (которые равны 0) и построили общие диаграммы размаха, чтобы посмотреть на совокупный разброс по двум оставшимся алгоритмам для каждого случая. Полученные результаты представлены на рис. 9. На данном рисунке каждой линии отведен свой столбец графиков и нанесена красная линия, показывающая желаемое (эталонное) значение относительного отклонения по детализации, равное нулю. Группа из трех соседних по вертикали графиков соответствует последовательности геометрических упрощений, полученных для одной линии при фиксированном сочетании весов регрессий.

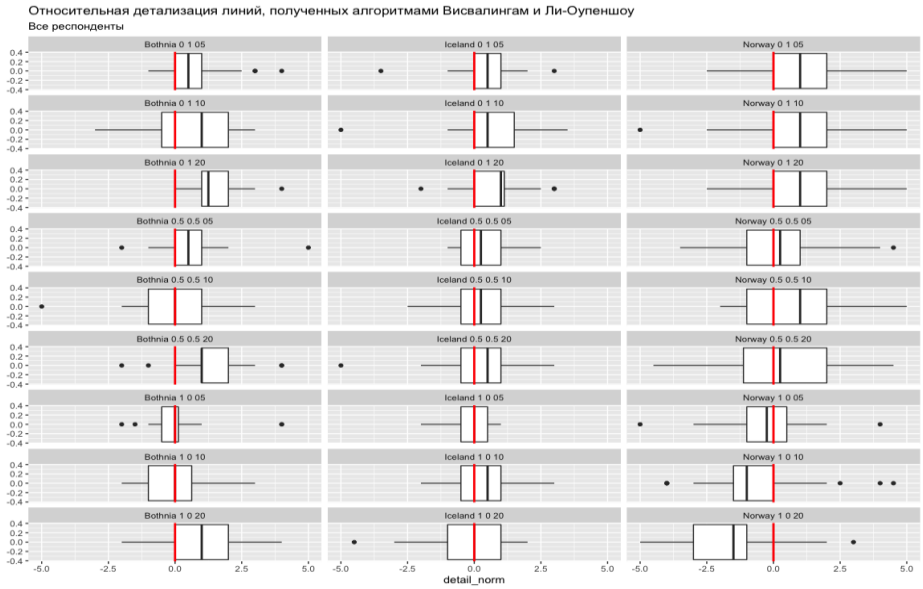

Рис. 9. Относительная детализация линий, полученных алгоритмами Висвалингам и Ли-Оупеншоу (все респонденты)
Fig. 9. Relative detail of lines obtained by the Visvalingam and Li-Openshaw algorithms (all respondents)

Анализ рис. 9 подтверждает ранее сделанное предположение, что наиболее близкие по детализации линии получаются для Ботнии и Норвегии при весах регрессий, равных соответственно [1; 0] и [0,5; 0,5]. Также данный уровень агрегирования позволил сделать вывод о том, что для Исландии оптимальным является сочетание весов [1; 0], так как для него сразу по двум уровням детализации медиана относительного отклонения равна нулю, в то время как для комбинации [0,5; 0,5] на всех уровнях медиана ненулевая. Построение аналогичных графиков отдельно для бакалавров (рис. 10) и магистров (рис. 11) в целом подтверждает данный вывод, но по данным бакалавров детализация по Ислан-дии для случая [0,5; 0,5] успешно конкурирует по устойчивости с комбинацией [1; 0].

Финальная серия графиков, представленная на рис. 12 показывает данные, агрегированные не только по алгоритмам, но и по уровням детализации. Из нее можно сделать вывод о наиболее оптимальном сочетании весов [1; 0], [1; 0] и [0,5; 0,5] для Ботнии, Исландии и Норвегии. Как и на предыдущих стадиях анализа, выборка по бакалаврам (рис. 13) не позволяет сделать однозначного выбора между [1; 0] и [0,5; 0,5] для Исландии, а выборка по магистрам (рис. 14) дает тот же результат, хотя и менее устойчивый (ни одна медиана не равняется нулю).

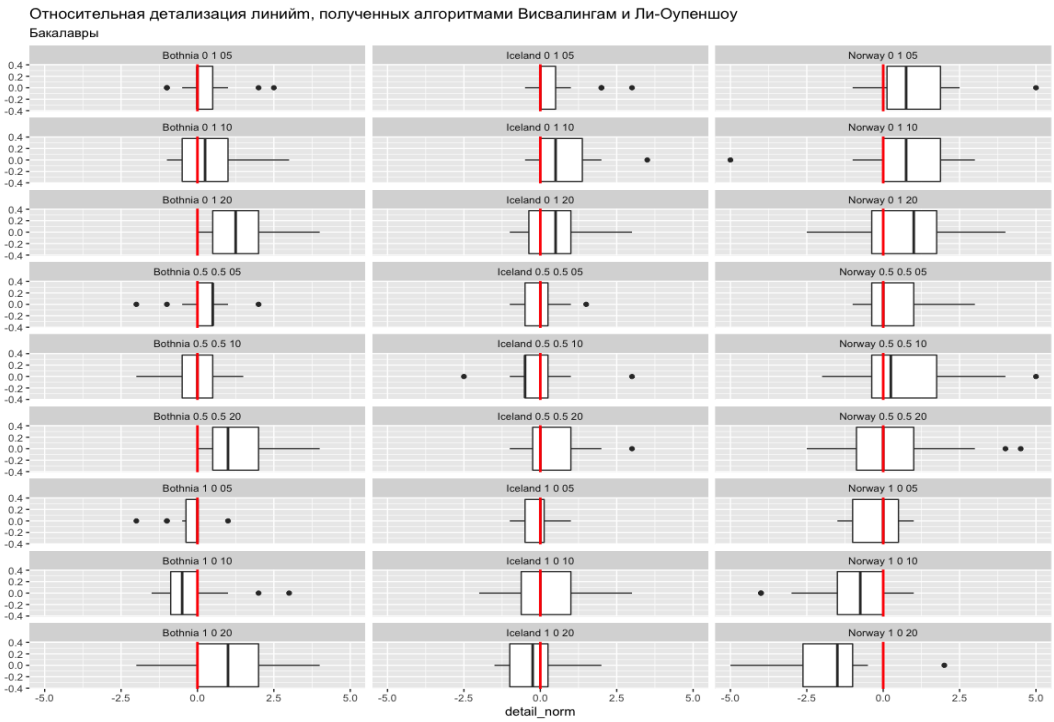

Рис. 10. Относительная детализация линий, полученных алгоритмами Висвалингам и Ли-Оупеншоу (бакалавры)

Fig. 10. Relative detail of lines obtained by the Visvalingam and Li-Openshaw algorithms (bachelor students)

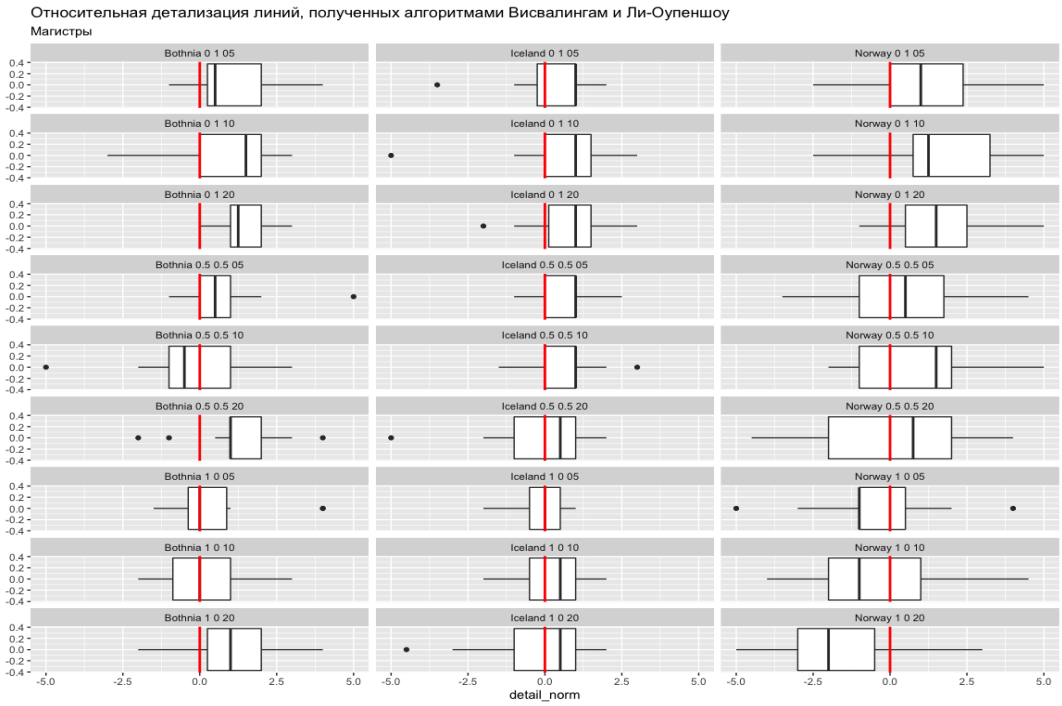

Рис. 11. Относительная детализация линий, полученных алгоритмами Висвалингам и Ли-Оупеншоу (магистры)

Fig. 11. Relative detail of lines obtained by the Visvalingam and Li-Openshaw algorithms (master students)

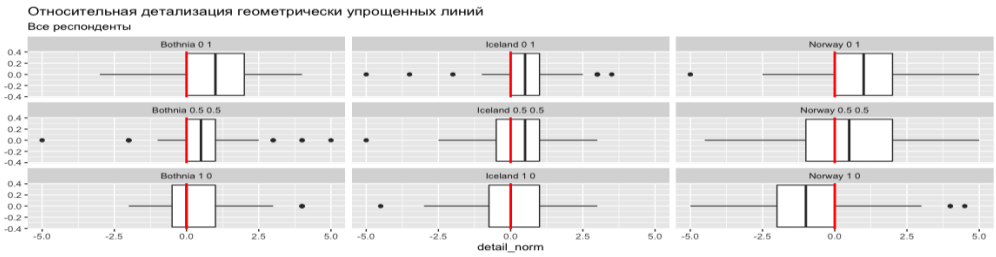

Рис. 12. Относительная детализация линий, полученных алгоритмами Висвалингам и Ли-Оупеншоу на всех уровнях детализации (все респонденты)
Fig. 12. Relative detail of lines obtained by the Visvalingam and Li-Openshaw algorithms on all levels of detail (all respondents)

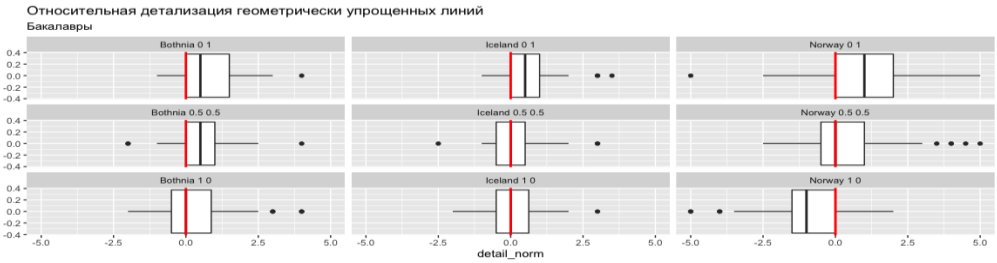

Рис. 13. Относительная детализация линий, полученных алгоритмами Висвалингам и Ли-Оупеншоу на всех уровнях детализации (бакалавры)
Fig. 13. Relative detail of lines obtained by the Visvalingam and Li-Openshaw algorithms on all levels of detail (bachelor students)

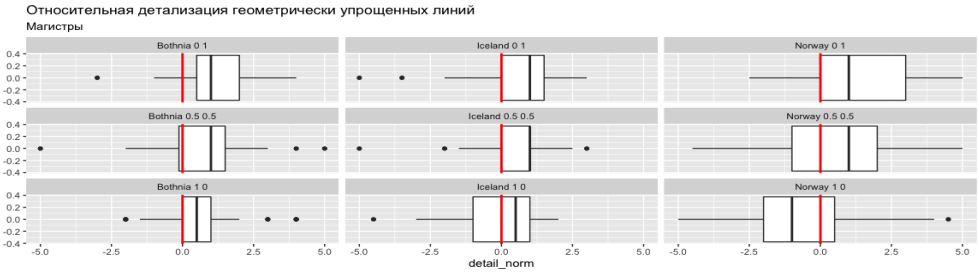

Рис. 14. Относительная детализация линий, полученных алгоритмами Висвалингам и Ли-Оупеншоу на всех уровнях детализации (магистры)
Fig. 14. Relative detail of lines obtained by the Visvalingam and Li-Openshaw algorithms on all levels of detail (master students)

ВЫВОДЫ

На основании проведенного анализа были сделаны следующие выводы:

1. Линии, воспринимаемые респондентами как имеющие схожую детализацию, могут быть получены разными алгоритмами, однако выбор метрики, использующейся в качестве ограничения, зависит от характера линии. В частности, для линий, имеющих неглубокую иерархию изгибов, размеры которых малы в сравнении с длиной всей линии (Ботния), наиболее схожие по детализации результаты получаются при использовании линейного смещения в качестве ограничивающей метрики (в нашем случае за его оценку отвечает модифицированное расстояние Хаусдорфа). При увеличении сложности линии большую роль начинает играть такая метрика как уменьшение количества изгибов. Для участка береговой линии Норвегии наиболее оптимальным среди проанализированных

оказалось равное соотношение весов между расстоянием и количеством изгибов [0,5; 0,5], в то время как для Исландии, занимающей промежуточное положение по сложности иерархии изгибов, это соотношение колеблется между [1; 0] и [0,5; 0,5] в зависимости от того, используется ли полная выборка или одна из двух однородных подвыборок респондентов (бакалавры, магистры).

2. Гипотеза о соотношении весов ограничивающих метрик (используемых при осреднении параметров уравнений регрессии), ранее выдвинутая в статье [*Samsonov, Yakimova,* 2020], подтвердилась частично. Наше предположение состояло в том, что для Ботнии, Исландии и Норвегии оно составляет [1; 0], [0,7; 0,3] и [0,5; 0,5]. Сравнивая эти цифры с результатами анализа экспертного опроса, можно сделать вывод, что для Ботнии и Исландии оно оправдалось, а для Норвегии мы недооценили важность контроля отклонения линии от исходной как косвенной характеристики уменьшения детализации.

3. Гипотеза о возможности комбинирования разных метрик для получения линий сопоставимой детализации, подтвердилась, поскольку для одной из трех линий наилучший результат устойчиво получился при взвешенной комбинации анализируемых метрик.

4. Из двух метрик — линейного смещения по метрике модифицированного расстояния Хаусдорфа и уменьшения количества изгибов — метрика линейного смещения является более показательной при характеристике изменения детализации линии, поскольку ни один из результатов опроса не показал возможность применения только уменьшения количества изгибов как эффективной характеристики изменения детализации.

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. *Ai T.* The drainage network extraction from contour lines for contour line generalization. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007. V. 62. No 2. P. 93–103. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2007.04.002.
2. *Bayer T.* Automated Building Simplification Using a Recursive Approach. Advances in Cartography and GIScience. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. V. 1. P. 121–146. DOI:10.1007/978-3-642-03294-3_8.
3. *Douglas D.H., Peucker T.K.* Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature.The Canadian Cartographer, 1973. No 10(2). P. 112–122.
4. *Dubuisson M.-P., Jain A.K.* A Modified Hausdorff Distance for Object. Proceedings of 12th International Conference on Pattern Recognition. IEEE Comput. Soc. Press, 1994. V. 1. P. 566-568. DOI: 10.1109/ICPR.1994.576361.
5. *Li Z., Openshaw S.* Algorithms for Automated Line Generalization Based on a Natural Principle of Objective Generalization. International journal of geographical information systems, 1992. V. 6. No 5. P. 373–389. DOI:10.1080/02693799208901921.
6. *Mustiere S.* Cartographic generalization of roads in a local and adaptive approach: A knowledge acquistion problem. International Journal of Geographical Information Science, 2005. V. 19. No 8–9. P. 937–955. DOI: 10.1080/13658810509161245.
7. *Park W., Yu K.* Hybrid line simplification for cartographic generalization. Pattern Recognition Letters, 2011. V. 32. No 9. P. 1267–1273. DOI: 10.1016/j.patrec.2011.03.013.

8. *Samsonov T.E., Yakimova O.P.* Regression modeling of reduction in spatial accuracy and detail for multiple geometric line simplification procedures. International Journal of Cartography, 2020. V. 6. No 1. P. 47–70. DOI: 10.1080/23729333.2019.1615745.
9. *Samsonov T.E., Yakimova O.P.* Shape-Adaptive Geometric Simplification of Heterogeneous Line Datasets. International Journal of Geographical Information Science, 2017. V. 31. No 8. P. 1485–1520. DOI:10.1080/13658816.2017.1306864.
10. *Touya G., Duchêne C., Ruas A.* Collaborative Generalisation: Formalisation of Generalisation Knowledge to Orchestrate Different Cartographic Generalisation Processes. Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. P. 264–278. DOI: 10.1007/978-3-642-15300-6_19.
11. *Visvalingam M., Whyatt J.D.* Line Generalisation by Repeated Elimination of Points. The Cartographic Journal, 1993. V. 30. No 1. P. 46–51. DOI:10.1179/000870493786962263.
12. *Wang Z., Muller J.C.* Complex Coastline Generalization. Cartography and Geographic Information Science, 1993. V. 20. No 2. P. 96–106.

REFERENCES

1. *Ai T.* The drainage network extraction from contour lines for contour line generalization. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007. V. 62. No 2. P. 93–103. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2007.04.002.
2. *Bayer T.* Automated Building Simplification Using a Recursive Approach. Advances in Cartography and GIScience. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. V. 1. P. 121–146. DOI: 10.1007/978-3-642-03294-3_8.
3. *Douglas D.H., Peucker T.K.* Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. The Canadian Cartographer, 1973. No 10(2). P. 112–122.
4. *Dubuisson M.-P., Jain A.K.* A Modified Hausdorff Distance for Object. Proceedings of 12th International Conference on Pattern Recognition. IEEE Comput. Soc. Press, 1994. V. 1. P. 566–568. DOI: 10.1109/ICPR.1994.576361.
5. *Li Z., Openshaw S.* Algorithms for Automated Line Generalization Based on a Natural Principle of Objective Generalization. International journal of geographical information systems, 1992. V. 6. No 5. P. 373–389. DOI: 10.1080/02693799208901921.
6. *Mustiere S.* Cartographic generalization of roads in a local and adaptive approach: A knowledge acquistion problem. International Journal of Geographical Information Science, 2005. V. 19. No 8–9. P. 937–955. DOI: 10.1080/13658810509161245.
7. *Park W., Yu K.* Hybrid line simplification for cartographic generalization. Pattern Recognition Letters, 2011. V. 32. No 9. P. 1267–1273. DOI: 10.1016/j.patrec. 2011.03.013.
8. *Samsonov T.E., Yakimova O.P.* Regression modeling of reduction in spatial accuracy and detail for multiple geometric line simplification procedures. International Journal of Cartography, 2020. V. 6. No 1. P. 47–70. DOI: 10.1080/23729333.2019.1615745.
9. *Samsonov T.E., Yakimova O.P.* Shape-Adaptive Geometric Simplification of Heterogeneous Line Datasets. International Journal of Geographical Information Science, 2017. V. 31. No 8. P. 1485–1520. DOI: 10.1080/13658816.2017.1306864.
10. *Touya G., Duchêne C., Ruas A.* Collaborative Generalisation: Formalisation of Generalisation Knowledge to Orchestrate Different Cartographic Generalisation Processes. Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. P. 264–278. DOI: 10.1007/978-3-642-15300-6_19.
11. *Visvalingam M., Whyatt J.D.* Line Generalisation by Repeated Elimination of Points. The Cartographic Journal. 1993. V. 30. No 1. P. 46–51. DOI: 10.1179/0008704937 86962263.
12. *Wang Z., Muller J.C.* Complex Coastline Generalization. Cartography and Geographic Information Science, 1993. V. 20. No 2. P. 96–106.