

УДК 528.952

Методика оценки визуальной информативности трехмерных карт городских территорий

Technique for assessing the visual informativeness of three-dimensional maps of urban areas

Зуев / Zuev V.

Владислав Александрович

(veuzdalv638@gmail.com)

ФГБОУ ВО «Сибирский

государственный университет

геосистем и технологий» (СГУГиТ),

аспирант кафедры картографии и геоинформатики.

г. Новосибирск

Бугаков / Bugakov P.

Петр Юрьевич

(peter-bugakov@yandex.ru)

кандидат технических наук, доцент.

СГУГиТ, доцент кафедры картографии и

геоинформатики.

г. Новосибирск

Ключевые слова: трехмерные карты – three-dimensional maps; оценка визуальной информативности – visual informativeness assessment; квалиметрия – qualimetry; параметры оценки – assessment parameters; методы оценки информативности – informativeness assessment methods.

Целью исследования является разработка методики, которая позволит оценить и улучшить визуальную информативность трехмерных карт городских территорий. За основу методики расчета оценки визуальной информативности взят метод квалиметрии. При разработке методики была выполнена формализация параметров трехмерной карты, позволяющая составить шкалу оценки каждого параметра по отдельности. Результатом исследования является система качественных и количественных параметров, влияющих на визуальную информативность, а также методика оценки информативности трехмерных карт на основе выявленных параметров.

The purpose of the study is to develop a technique that will allow evaluating and improving the visual information content of three-dimensional maps of urban areas. The method of qualimetry is used as the basis for calculating the assessment of visual informativeness. When developing the technique, the parameters of the three-dimensional map were formalized, allowing us to create a scale for evaluating each parameter individually. The result of the study is a system of qualitative and quantitative parameters that affect visual informativeness, as well as a technique for evaluating the informativeness of three-dimensional maps based on the identified parameters.

Введение

Оценка качества визуальной составляющей картографических произведений является одной из важных задач картографии. В настоящее время существует большое количество научных трудов, описывающих

методики оценки качества двухмерных картографических изображений, среди которых можно выделить работы Л. В. Яловкиной «Разработка методики обеспечения и контроля качества дизайна картографического изображения» [1], О. Ю. Жуковой «Оценка качества изобразительных свойств электронных карт на примере туристских» [2], О. Ю. Лептюховой «Методический подход к оценке качества разработки карты градостроительного зонирования» [3]. В работах Л. В. Яловкиной и О. Ю. Жуковой оценивается визуальная составляющая картографических изображений, в работе О. Ю. Лептюховой вводится интегральная оценка качества карты градостроительного зонирования. Однако лишь немногие работы описывают методики оценки качества визуальной составляющей трехмерных карт, представляющих собой картографическую визуализацию трехмерных геоинформационных моделей.

Основным недостатком существующих методов является их ограниченная применимость для оценки характеристик двухмерных карт по отношению к трехмерным картам. Это связано прежде всего с тем, что дополнительное измерение добавляет множество важных параметров, которые необходимо учитывать. Также существующие методики основаны на экспертной оценке, что может приводить к дополнительным неточностям в вычислениях из-за субъективности восприятия некоторых параметров.

Визуальная информативность трехмерной карты – это отношение количества воспринимаемой человеком визуальной информации о геопространстве к общему количеству информации, заложенной в карте ее составителем [4]. Данная характеристика оказывает существенное влияние на скорость и точность интерпретации данных, представленных на карте, определяет качество выявления пространственных отношений между различными объектами и явлениями. При повышении уровня визуальной информа-

тивности неизбежно будет расти уровень информационной перегруженности картографического произведения [5]. В связи с этим важной задачей при создании трехмерных карт является достижение информационной оптимальности, то есть баланса между ее информативностью и информационной перегруженностью.

Факторы, влияющие на визуальную информативность трехмерной карты городской территории

Информация, отображаемая на трехмерной карте, может быть семантической и пространственной. Причем визуализация семантической информации осуществляется, как правило, в виде текста (подписи) или графических условных обозначений. Пространственная информация описывает расположение объекта, его ориентацию в пространстве, форму, размер. При наличии на карте большого количества разнородной информации достижение высокого показателя визуальной информативности и низкого показателя информационной перегруженности возможно при соблюдении принципов наглядности, логичности и единообразия.

Принцип наглядности ориентирован на повышение доступности и понятности информации, представленной на трехмерной карте, и заключается в необходимости использования интуитивно понятных визуальных образов объектов, условных знаков, контрастных, но сочетающихся между собой цветов.

Принцип логичности подразумевает представление информации на карте в структурированном виде и строгой логической последовательности. Соблюдение данного принципа способствует повышению эффективности научных исследований, проводимых с использованием трехмерных карт.

Принцип единообразия заключается в следовании единым правилам оформления элементов трехмерной карты при ее составлении.

Учитывая, что цифровая трехмерная карта в основном визуализируется на плоском экране цифрового устройства (персональный компьютер, смартфон, навигатор и т. д.) путем построения перспективных картографических изображений [6–8], были выделены следующие качественные и количественные показатели, влияющие на ее визуальную информативность:

- отношение количества видимых объектов к общему количеству объектов на трехмерной карте;
- коэффициент цветовой контрастности объектов;
- степень детализации объектов;
- размер условных знаков;
- количество условных знаков;
- качество текстур;
- читаемость;
- угол наклона луча, перпендикулярного плоскости перспективной проекции, относительно отвесной линии;

– поле зрения.

Рассмотрим сущность каждого показателя и определим шкалы их возможных значений, за пределами которых карту невозможно или нецелесообразно использовать.

При визуализации цифровой трехмерной карты неизбежны ситуации, когда одни объекты закрывают обзор на другие объекты, расположенные дальше от точки наблюдения. Отношение количества видимых объектов к общему количеству объектов на трехмерной карте лежит в интервале значений от 0 до 1 и может служить основным количественным параметром, характеризующим визуальную информативность трехмерной карты. Увеличение количества видимых объектов ведет к повышению информативности карты, но в то же время ухудшает качество восприятия отображаемого пространства.

Коэффициент цветовой контрастности характеризует степень визуальной различимости соседних объектов. При расчете данного коэффициента учитывается цветовой контраст между графическими изображениями объектов и фоном. Высокий контраст способствует повышению читаемости и, следовательно, информативности карты. Согласно руководству по обеспечению доступности веб-контента (Web Content Accessibility Guidelines), значение коэффициента контрастности могут варьироваться от 1 до 21 [9].

Степень детализации объектов определяет, насколько подробно и проработано представлены объекты на карте. Данный параметр включает в себя проработанность объектов и текстур, формы и размеры объектов. Высокая степень детализации делает объекты более реалистичными и информативными.

Существует 5 основных степеней (уровней) детализации (LOD – Levels of Details) трехмерных моделей городских территорий [10]:

- LOD0 – модель города состоит из цифровой модели местности с наложенным на нее растровым изображением. На этом уровне трехмерное представление объектов не предусмотрено;
- LOD1 – здания представлены в виде простых трехмерных фигур, которые получены путем выдавливания полигонов вдоль вертикальной оси. Объекты могут иметь текстуры;
- LOD2 – крыши зданий описываются набором полигонов. Кроме того, внешние стены и крыша здания представлены в виде отдельных объектов. Обязательное наличие текстур;
- LOD3 – здания представлены в виде подробных архитектурных моделей. Окна, двери и другие элементы внешней конструкции зданий представлены в виде отдельных тематических объектов;
- LOD4 – к третьему уровню детализации добавляются внутренние конструкции здания, такие как внутренние стены, комнаты и мебель, они также представлены в виде отдельных тематических объектов.

Данным уровням детализации можно присвоить баллы от 1 до 5. Где LOD0 – это 1 балл, LOD4 – 5 баллов.

Размер условных знаков определяется как процентное отношение суммарной площади условных знаков к площади перспективного картографического изображения. Данный параметр не рассчитывается, если условные знаки не представлены на карте.

Количество условных знаков – целочисленный параметр, определяемый путем подсчета условных знаков, попадающих в поле зрения при визуализации трехмерной карты.

Качество текстур определяется величиной Texel Density (текселерация, плотность текселей), которая вычисляется как отношение размера текстуры (в пикселях) к размерам трехмерного объекта и обозначается единицей измерения px/m [11]. Под текселем подразумевается неделимая точка элемента текстуры. Чем выше значение Texel Density, тем выше детализация текстуры. Качество текстур определяет, насколько реалистично выглядят поверхности объектов на карте. Качество текстур на карте, как правило, может меняться в диапазоне от 0,1 px/см до 10,24 px/см.

Читаемость определяет, насколько легко можно различить и интерпретировать элементы карты. Она зависит от таких факторов, как цвет, контраст, размер знаков и детализация объектов. Для читаемости мы определили следующую условную шкалу оценки:

1 – очень низкая читаемость, символы и условные обозначения трудноразличимы, цвета сливаются, информация воспринимается плохо;

2 – низкая читаемость, символы и условные обозначения различимы, но цвета могут сливаться, информация требует внимательного изучения;

3 – средняя читаемость, символы и условные обозначения различимы, цвета различимы, но мелкие детали могут быть потеряны, информация читается с некоторыми усилиями;

4 – хорошая читаемость, символы и условные обозначения хорошо различимы, цвета различимы, информация легко читается, мелкие детали видны;

5 – отличная читаемость, символы и условные обозначения отлично различимы, цвета различимы, информация легко читается, все детали видны.

Изменение угла наклона луча наблюдения, перпендикулярного плоскости перспективной проекции, относительно отвесной линии влияет на количество видимых объектов на перспективном геоизображении, получаемом при визуализации трехмерной карты. Для простоты данный угол можно назвать углом наблюдения. Диапазон его изменения составляет от 0 до 90°. Уменьшение угла наблюдения обеспечивает обзор большего количества объектов на трехмерной карте, при этом происходит потеря информации об их высотной составляющей. Увеличение угла наблюдения приводит к уменьшению количества

видимых объектов, но позволяет получить наиболее достоверные сведения о их высоте.

Поле зрения зависит от выбранного угла обзора, который, как правило, варьируется в пределах от 30 до 150°. Величина угла обзора, близкая к максимальной, обеспечивает видимость большого количества объектов, но в силу геометрической природы центральной проекции может вносить пространственные искажения по периферии экрана.

Каждый рассмотренный показатель по-своему оказывает влияние на качественные характеристики визуальной составляющей трехмерной карты, однако их обособленное применение не способно обеспечить объективную оценку визуальной информативности картографического произведения. Требуется разработка математической модели расчета комплексного показателя визуальной информативности трехмерной карты.

Вычисление комплексного показателя визуальной информативности

Комплексный показатель визуальной информативности трехмерной карты предлагается вычислить по формуле (1), которая используется в квалиметрии для расчета показателя по средневзвешенным арифметическим значениям свойств [15].

$$K = \sum_{i=1}^N g_i \cdot k_i, \tag{1}$$

где N – количество учитываемых свойств; g_i – весовой коэффициент i -го свойства; k_i – показатель качества, соотношенный с нормативами.

В квалиметрии [12–14] соотношенный с нормативами показатель качества вычисляется по следующей формуле (2):

$$k_i = \frac{(p_i - p_i^{\min})}{(p_i^{\max} - p_i^{\min})}, \tag{2}$$

где p_i – измеренная величина показателя качества на исследуемой трехмерной карте; p_i^{\max} , p_i^{\min} – нормативные значения, за пределами которых карту невозможно или нецелесообразно использовать.

Весовые коэффициенты из формулы (1) рассчитываются при помощи метода ранжирования, используемого в квалиметрии по формуле (3).

$$g_i = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{i,j}}{\sum_{i=1, j=1}^{n,m} Q_{i,j}}, \tag{3}$$

где n – количество экспертов; m – число оцениваемых показателей; $Q_{i,j}$ – весовой коэффициент j -го показателя в рангах (баллах), который дал i -й эксперт.

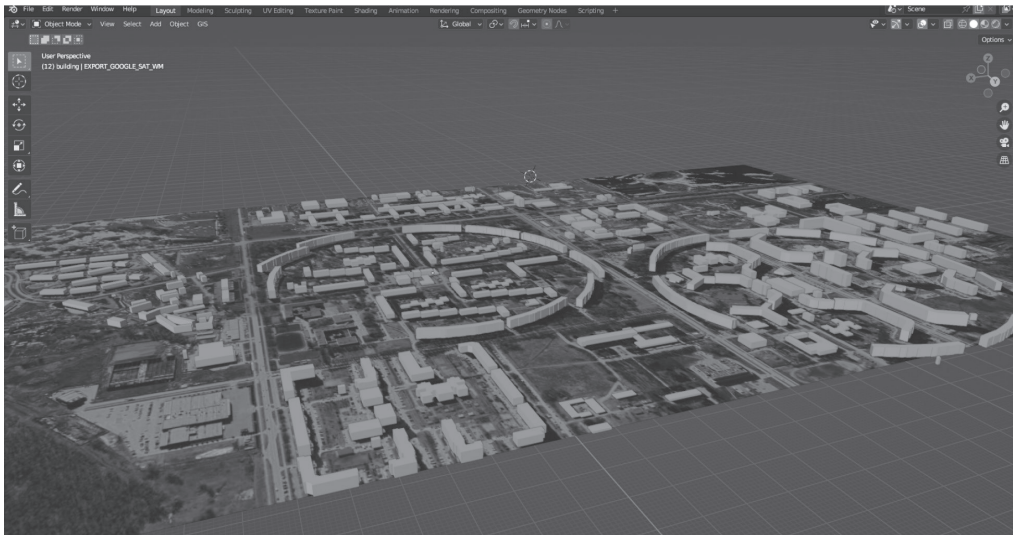


Рис. 1. Вариант визуализации трехмерной картографической модели

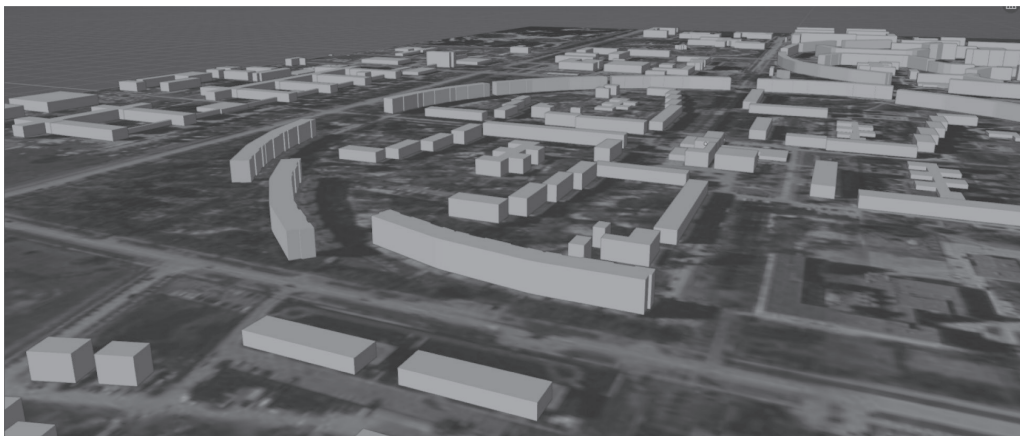


Рис. 2. Перспективное картографическое изображение k1

Таблица 1

Весовые коэффициенты показателей трехмерной карты

Показатель трехмерной карты	Весовой коэффициент
Читаемость	0.17143
Коэффициент цветовой контрастности объектов	0.16508
Отношение количества видимых объектов к общему количеству объектов на трехмерной карте	0.15238
Степень детализации объектов	0.13651
Качество текстур	0.09841
Угол наклона луча, перпендикулярного плоскости перспективной проекции, относительно отвесной линии	0.07937
Размер условных знаков	0.07619
Поле зрения	0.06667
Количество условных знаков	0.05397

Таблица 2

Показатель трехмерной карты	Перспективное картографическое изображение k1
Читаемость	42.85714
Коэффициент цветовой контрастности объектов	24.7619
Отношение количества видимых объектов к общему количеству объектов на трехмерной карте	77.1311
Степень детализации объектов	34.12698
Качество текстур	37.85104
Угол наклона луча, перпендикулярного плоскости перспективной проекции, относительно отвесной линии	26.45503
Размер условных знаков	0
Поле зрения	33.33333
Количество условных знаков	0

Таблица 3

Показатель трехмерной карты	Перспективные картографические изображения		
	k1	k2	k3
Читаемость	42.85714	128.5714	128.5714
Коэффициент цветовой контрастности объектов	24.7619	41.26984	49.52381
Отношение количества видимых объектов к общему количеству объектов на трехмерной карте	77.1311	29.62963	16.93122
Степень детализации объектов	34.12698	34.12698	34.12698
Качество текстур	37.85104	37.85104	37.85104
Угол наклона луча, перпендикулярного плоскости перспективной проекции, относительно отвесной линии	26.45503	70.54674	39.68254
Размер условных знаков	0	0	0
Поле зрения	33.33333	33.33333	33.33333
Количество условных знаков	0	0	0
Комплексный показатель визуальной информативности	276.52	375.33	340.02



Рис. 3. Циклограмма показателей перспективного картографического изображения k1



Рис. 4. Перспективные картографические изображения k2 и k3



Рис. 5. Сравнение циклограмм показателей перспективных картографических изображений k1, k2

Для повышения наглядности полученных результатов можно построить циклограмму. Циклограмма в квалиметрии – это диаграмма сопоставления показателей качества, которая позволяет более точно и информативно отобразить свойства оцениваемого произведения или изделия (в том числе и трехмерной карты) [15]. Использование циклограммы позволит наглядно оценить влияние отдельных параметров трехмерной карты на ее визуальную информативность. Большая площадь многоугольника, полученного на циклограмме, будет свидетельствовать о более высоком уровне визуальной информативности.

Этапы методики оценки визуальной информативности трехмерных карт городских территорий

Предложенная методика оценки визуальной информативности трехмерных карт городских территорий включает в себя несколько этапов:

1. Определение весовых коэффициентов для каждого показателя визуальной информативности трехмерной карты.

2. Построение перспективного картографического изображения на основе трехмерной модели городской территории.

3. Расчет числового значения каждого показателя, влияющего на визуальную информативность, с учетом соответствующего весового коэффициента.

4. Расчет комплексного показателя визуальной информативности.

5. Построение циклограммы показателей визуальной информативности трехмерной карты городской территории.

6. Изменение исходной трехмерной модели городской территории или параметров ее визуализации с целью повышения значения отдельных показателей визуальной информативности трехмерной карты.

7. Повторение шагов 2–6.

8. Сравнение полученных перспективных картографических изображений и выбор лучшего с самым большим комплексным показателем визуальной информативности, а также с максимальной площадью циклограммы.

Первый этап методики может быть пропущен, если весовые коэффициенты уже рассчитаны.

Апробация методики

Апробация методики была выполнена на примере трехмерной модели р. п. Краснообск, созданной средствами Blender GIS. Один из возможных вариантов визуализации исходной трехмерной картографической модели показан на рис. 1.

Трехмерная картографическая модель содержит 324 объекта с уровнем детализации LOD1, условные

знаки отсутствуют. Результаты выполнения этапов методики представлены далее.

Этап 1. Опрос 5 экспертов и применение метода ранжирования позволили рассчитать по формуле (3) весовые коэффициенты показателей трехмерной карты (таблица 1).

Этап 2. На основе трехмерной картографической модели построено перспективное картографическое изображение k_1 (рис. 2).

Этап 3. По формуле (2) рассчитаны значения каждого показателя, влияющего на визуальную информативность, с учетом соответствующих весовых коэффициентов. Для большей наглядности эти числовые значения были умножены на 1000 (таблица 2).

Этап 4. По формуле (1) рассчитан комплексный показатель визуальной информативности. Для первого варианта визуализации трехмерной карты он равен 276.52.

Этап 5. Циклограмма показателей визуальной информативности трехмерной карты городской территории на примере k_1 имеет вид, показанный на рис. 3.

Этапы 6, 7 и 8. При изменении параметров визуализации трехмерной картографической модели были построены перспективные картографические изображения k_2 и k_3 (рис. 4).

Коэффициенты показателей перспективных картографических изображений k_1 , k_2 и k_3 , а также комплексные показатели визуальной информативности показаны в таблице 3.

Сравнение циклограмм перспективных картографических изображений k_1 , k_2 и k_3 показано на рис. 5.

Большее значение комплексного показателя картографического изображения k_2 , а также большая площадь его циклограммы позволяет сделать вывод, что оно обладает большей визуальной информативностью по сравнению с изображениями k_1 и k_3 .

Заключение

В ходе проведенного исследования была разработана и апробирована методика оценки визуальной информативности трехмерных карт городских территорий, основанная на методах квалиметрии. Основной целью работы было выявление качественных и количественных показателей, влияющих на визуальную информативность, и их формализация для последующей оценки. В результате исследования были определены ключевые параметры, такие как количество отображаемых объектов, цветовая контрастность, степень детализации, масштаб, качество текстур и другие, которые играют важную роль в создании информативных и удобных для восприятия трехмерных карт.

Для дальнейшей апробации разработанной методики в разных условиях требуется проведение экспериментов по расчету визуальной информативности трехмерных карт городских территорий с различным количеством объектов, плотностью застройки, различ-

ными текстурами и параметрами визуализации. Такие эксперименты требуют основательной подготовки и по своему объему заслуживают быть описанными в отдельной научной статье.

Предложенная система показателей и разработанная методика позволят не только оценить текущий уровень визуальной информативности карты, но и выявить слабые места, которые могут быть улучшены для повышения качества визуализации. Использование квалитметрических методов, включая расчет комплексного показателя визуальной информативности и построение циклограмм, обеспечит объективность и наглядность оценки.

В дальнейшем планируется углубленное изучение возможностей применения технологий искусственного интеллекта для оценки визуальной информативности трехмерных карт, а также разработка автоматизированных инструментов для анализа и оптимизации параметров картографических изображений.

Литература

1. Яловкина, Л. В. О результатах разработки методики обеспечения и контроля качества дизайна картографического изображения / Л.В. Яловкина, О.Н. Николаева // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 211–221.
2. Жукова, О. Ю. Оценка качества изобразительных свойств электронных карт на примере туристских / О.Ю. Жукова, Л.В. Гедз // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 5. – С. 33–38.
3. Лептюхова, О. Ю. Методический подход к оценке качества разработки карты градостроительного зонирования / О.Ю. Лептюхова, М.Е. Скуридин // Экономика строительства и природопользования. – 2022. – № 1-2 (82-83). – С. 168–174.
4. Зуев, В. А. Факторы, влияющие на визуальную информативность трехмерных карт / В.А. Зуев, П.Ю. Бугаков // Аллея науки. – 2023. – Т. 1, № 6 (81). – С. 1557–1560.
5. Дышленко, С. Г. Построение трехмерных карт / С.Г. Дышленко, В.Я. Цветков // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 4 (16). – С. 130–138.
6. Бугаков, П. Ю. Методика создания перспективных карт по 3D-моделям местности : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 25.00.33 / Бугаков Петр Юрьевич ; ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – Новосибирск, 2012. – 24 с.
7. Лисицкий, Д. В. Картографическая визуализация трехмерных моделей местности / Д.В. Лисицкий, П.Ю. Бугаков // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2011. – № 3 (16). – С. 81–87.
8. Лисицкий, Д. В. Трехмерная компьютерная картография : монография / Д.В. Лисицкий, П.Ю. Бугаков, Н.А. Тай. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 178 с.

9. Understanding WCAG 2.0: Visual and Audio Contrast // W3C Web Accessibility Initiative. – URL : <https://www.w3.org/TR/UNDERSTANDING-WCAG20/visual-audio-contrast-contrast.html> (дата обращения: 21.04.2025).

10. Buchholz, H. Real-Time Visualization of 3D City Models: PhD thesis / H. Buchholz. – HPI, Universitdt Potsdam. – 2006.

11. Villanueva, N. Beginning 3D Game Assets Development Pipeline: Learn to Integrate from Maya to Unity / N. Villanueva. – 2022. – P. 117–149.

12. Азгальдов, Г. Г. Квалитметрия для всех : учеб. пособие / Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Садовов. – Москва : ИД «ИнформЗнание», 2012. – 165 с.

13. Райхман, Э. П. Экспертные методы в оценке качества / Э.П. Райхман, Г.Г. Азгальдов. – Москва : Экономика, 1974. – 139 с.

14. Федюкин, В. К. Основы квалитметрии. Управление качеством продукции / В.К. Федюкин. – Москва : Филинъ. – 2004. – 295 с.

15. Шапошников, В. А. Квалитметрия : учебное пособие для вузов / В.А. Шапошников. – Екатеринбург : Издательство РГППУ, 2016. – 134 с.