

Научно-теоретическая статья/Theoretical article

УДК 528.94

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-84-93>

**Основные принципы выполнения картографической визуализации
и критерии их реализации**

Т. С. Молокина¹✉

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

e-mail: molokinat@inbox.ru

Аннотация. За последние десятилетия в области представления картографической информации произошли революционные изменения, связанные с возрастающим объемом и количеством отображаемой информации, а также с изменением способов ее представления. Картографическая визуализация является связующим звеном между компьютерными технологиями и зрительной системой человека, влияющей на восприятие. Для классических карт принципы картографического отображения были сформулированы много десятилетий назад, однако главными отличительными чертами современных карт становятся интерактивность и динамика. Карта из пассивно воспринимаемой иллюстрации превращается в активно используемый инструмент в процессе мышления пользователей при решении задач пространственного анализа. В статье рассмотрены основные принципы выполнения картографической визуализации. Обозначены основные проблемы-противоречия, связанные с картографической визуализацией, с учетом сформулированных принципов.

Ключевые слова: картографическая визуализация, геовизуализация, геоаналитика, большие данные

Для цитирования:

Молокина Т. С. Основные принципы выполнения картографической визуализации и критерии их реализации. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 4. С. 84–93. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-84-93>

Core principles of cartographic visualization and criteria for their implementation

T. S. Molokina¹✉

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: molokinat@inbox.ru

Abstract. Over recent decades, cartographic representation has undergone a profound transformation, prompted by the increasing volume and complexity of information requiring visualization as well as changes in the methods of its presentation. Cartographic visualization serves as an interface between digital technologies and the human visual system, thereby influencing cognitive perception, spatial comprehension, and the interpretation of geospatial information. Although the principles underlying classical cartographic representation were established several decades ago, interactivity and dynamism have become defining characteristics of contemporary mapping. As a result, maps have evolved from static visual representations into active analytical instruments that support exploration of spatial relationships, development of spatial reasoning, and solution of complex geospatial problems. The article examines the core principles of cartographic visualization and discusses the principal conceptual tensions that emerge in their implementation.

Keywords: cartographic visualization, geovisualization, geoanalytics, big data

For citation:

Molokina T. S. (2026). Core principles of cartographic visualization and criteria for their implementation. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 4. pp. 84–93. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-84-93>

Введение

Одним из важнейших инновационных направлений развития современной картографии является картографическая визуализация, которая связана с отображением огромных массивов (часто неструктурированных) данных, с геоаналитикой, без которой в настоящее время сложно представить многие сферы человеческой деятельности: политику, экономику, образование, экологию и т. д.

Главными отличительными чертами современных карт становятся интерактивность и динамика. Картографическая визуализация становится средством взаимодействия, обеспечивающим необходимую поддержку процесса принятия решений.

Картографическая визуализация является связующим звеном между компьютерными технологиями и зрительной системой человека, влияющей на восприятие. Благодаря картографической визуализации стало возможным представление больших данных из различных источников в графической форме для зрительного осознания их человеком с целью построения гипотез, формулирования идей, научного анализа, прогнозирования, принятия решений.

Информационная насыщенность современного мира, развитие информационных технологий, разнообразие источников и скорость формирования данных, диктуют необходимость научных разработок в области картографической визуализации. С использованием технологий искусственного интеллекта стало возможным автоматизировать процесс создания новых решений в картографической визуализации, систематизировать и формализовать знания, накопленные картографами, переводя их в машиночитаемую форму.

Формализацию знаний для картографической визуализации можно условно разделить на четыре основных этапа:

1) систематизация всех имеющихся знаний по правилам оформления карт различной

тематики и назначения, а также разработка новых решений картографического дизайна;

2) разработка баз знаний допустимых и оптимальных вариантов отображения математической основы карты (варианты проекций, масштабные ряды и диапазоны, координатные сетки, варианты компоновок и т. д.), общегеографической основы, тематического содержания, а также разработка системы критериев выбора отображения элементов картографической визуализации в зависимости от технических характеристик устройства использования (размер и калибровка экрана устройства и т. д.), мерности и степени динамичности карты, учитывая при этом предполагаемую область применения результата картографической визуализации;

3) перевод законов и правил допустимых и оптимальных вариантов картографической визуализации в машиночитаемую форму, посредством языков программирования;

4) разработка методов количественной оценки качества картографической визуализации.

Формализация знаний в области картографической визуализации должна базироваться на ряде принципов, отражающих ее текущее состояние и учитывающих перспективы развития.

Методы и материалы

Для рассмотрения основных принципов, которые следует учитывать при выполнении картографической визуализации, необходимо проанализировать основные ее определения и направления исследований, а также определения геовизуализации, поскольку это понятие по сути является очень близким к картографической визуализации, однако имеет свои отличительные особенности. Термин «географическая визуализация» (сокращенно – геовизуализация) появился с переходом картографии в цифровую эпоху и описывается во многих научных трудах. По мнению ряда авторов, геовизуализация представляет

собой процесс интерактивной визуализации пространственных данных большого объема из различных источников на любом из этапов пространственного анализа посредством новых технологий [1–9] с использованием достижений в области когнитивного подхода [1, 8]. При этом визуализация направлена на индивидуальное интерактивное взаимодействие пользователя с интерфейсом, с целью обнаружения закономерностей, интерпретации результатов и принятия наиболее рациональных решений, посредством проведения различных манипуляций с пространственными данными (панорамирование, масштабирование, перемещение, включение и отключение доступных слоев, проведение геопространственного анализа, добавление собственных данных и т. п.) [4].

Картографическая же визуализация трехмерной модели местности по мнению авторов статьи [5] – это метод преобразования цифровой трехмерной модели земной поверхности в удобное для зрительного восприятия изображение в соответствии с картографическими законами.

В монографии [10] было предложено следующее определение картографической визуализации – это технологический процесс научно-обоснованного отображения пространственно-временных данных и знаний по картографическим законам в удобное для зрительного восприятия изображение с возможностью интерактивного взаимодействия.

В настоящее время все исследования в области картографической визуализации затрагивают обширные области смежных наук, та-

ких как психология, статистика, аналитика, информатика, дизайн и т. д., поэтому авторы многих научных публикаций говорят о необходимости осуществления скоординированного междисциплинарного взаимодействия картографии и геоинформатики с другими научными направлениями [11–17]. В табл. 1 представлено подразделение исследований в области картографической визуализации на три условные группы: анализ и обработка данных для картографической визуализации; отображение геопространственных данных; восприятие картографической информации пользователем.

1. Анализ и обработка данных для картографической визуализации.

Поскольку геовизуализация тесно связана с геоаналитикой, то, в первую очередь, она направлена на использование больших данных, характеризующихся значительными объемами, высокой скоростью передачи, разнообразием, высоким разрешением, гибкостью, исчерпывающим охватом и достоверностью [11].

Множество новых научных исследований в области геоаналитики основаны на решении проблем, связанных с извлечением больших данных и их интеграцией из разных источников, разработкой стандартов кодирования и словарей пространственных данных для последующего их отображения в графической форме и т. д. Важную роль играют исследования, направленные на решение проблем связанных данных для возможности их повторного использования [11, 12, 18–20].

Таблица 1. Группы исследований картографической визуализации

Исследования в области картографической визуализации			
Название групп исследований	I группа	II группа	III группа
	Анализ и обработка данных для картографической визуализации	Отображение геопространственных данных	Восприятие картографической информации пользователем
Примеры решаемых задач	- разработка алгоритмов и правил интеграции различных типов данных; - разработка правил интеграции данных, относящихся к разным предметным областям и стандартам; - разработка стандартов кодирования и словарей пространственных данных	- отображение пространственных данных в графической форме; - разработка внешнего вида данных в зависимости от технических возможностей; - выбор способов отображения в зависимости от типов данных; - разработка дизайна интерфейса; - разработка внешнего вида данных в зависимости от действий пользователя; - исследования в области психофизиологии восприятия	
Близкие научные направления	Статистика, аналитика, информатика	Дизайн, эргономика, информатика	Социология, психология, физиология, эргономика

2. Отображение геопространственных данных.

Важным направлением в исследованиях картографической визуализации является отображение имеющихся данных в графической форме [16], выбор способов отображения в зависимости от типов данных, запросов пользователя, разработка критериев оценки эстетических качеств картографической визуализации и т. д. Данное направление тесно связано с искусством и картографическим дизайном, например, в источнике [17] обсуждается возможность использования таких сочетаний цветов на картах, как в произведениях искусства художественных течений различных времен.

3. Восприятие картографической информации пользователем.

Все более широкий круг пользователей активно использует картографическую визуализацию в повседневной жизни для определения местоположения, получения информации, решения различных задач [21]. Таким образом, явно прослеживается тенденция к персонализации карт, поэтому особое внимание в исследованиях картографической визуализации уделяется правильному восприятию картографической информации человеком и вопросам удобства взаимодействия пользователя с картой для принятия эффективных решений, с учетом теории когнитивной психологии [11, 12, 14, 18, 19–23].

Результаты

Основываясь на пункте 4.2. ГОСТ Р 70846.6 (ГОСТ Р 70846.6: Визуализация пространственных данных, – Москва, 2023. – URL: <http://gost.gtsever.ru/Data/818/81868.pdf> – Текст : электронный), пункте 3 ГОСТ Р 70955 (ГОСТ Р 70955—2023. Картография цифровая. Термины и определения, – Москва, 2023. – URL: <http://gost.gtsever.ru/Data/813/81365.pdf> – Текст : электронный), ГОСТ 21667-76 (ГОСТ 21667-76 Картография. Термины и определения – Москва, 1976. – URL: <http://gost.gtsever.ru/Data/81/8199.pdf> – Текст : электронный), рассмотренные ранее определения и группы исследований, можно сформулировать основные принципы, которые

необходимо соблюдать при выполнении картографической визуализации.

1. Мгновенная скорость создания. Поскольку карты в современном мире, в большинстве случаев, участвуют в решении повседневных задач и часто воспринимаются пользователями как временный информационный ресурс, то мгновенная скорость картографической визуализации стала ее неотъемлемой частью. Создание карт посредством онлайн-сервисов позволяет отображать и настраивать карту в режиме реального времени, делая возможным добавление или изменение данных с очень высокой скоростью.

2. Наличие инструментов геоанализа. Очень важным инструментом в современном мире является геоаналитика, занимающаяся проблемами, связанными с географическим пространством и различными объектами, событиями, явлениями и процессами. Она тесно связана с использованием больших данных, поэтому картографическая визуализация должна предусматривать возможность использования больших данных и знаний для исследования и понимания различных процессов и явлений на основе их географического положения. При этом картографическая визуализация должна опираться на исследования в области интеллектуального статистического анализа данных и машинного обучения.

3. Ориентированность на пользователя. Еще одним важным принципом картографической визуализации, является персонализация, т. е. ориентирование на пользователя. Чтобы карта была наиболее полезной, необходимо предусматривать возможность настройки графического отображения информации в соответствии с потребностями и предпочтениями пользователя. Пользовательские настройки являются важным условием успешной передачи информации с карты пользователю, при этом необходимо учитывать возможность создания собственной карты на основе загруженных данных, а также адаптации картографической визуализации к конкретным задачам. Напрямую с этим принципом связаны исследования в области взаимодействия пользователя с интерфейсом, которые должны включать не только глубокое изучение целевых пользователей и возможных комбинаций сце-

нариев использования карты, но и оценку удобства восприятия информации.

4. Адаптивность картографической визуализации. Развитие компьютерных и мобильных технологий диктует требование для картографической визуализации, связанное с ее адаптивностью к различным устройствам, т. е. возможность корректного отображения карт и интерфейса на различных дисплеях (ноутбук, планшет, смартфон, электронная доска и т. д.) для более эффективного и удобного использования.

5. Интерактивность картографической визуализации. Поскольку картографическая визуализация является важным инструментом для пользователя при решении различных задач геопространственного анализа, то очевидно, что этому должна способствовать динамическая интерактивная среда, которая предполагает не только изучение карты пользователем, но и возможность внесения изменений в ее содержание, на основе выбора по интересующему запросу. Интерактивность картографической визуализации позволяет активно использовать карту благодаря таким инструментам, как масштабирование, перемещение, работа со слоями, просмотр дополнительной информации, построение маршрутов, поиск и т. д. При этом пользователь может создавать карту, изменять ее элементы, фильтровать содержимое, менять режим отображения карты и т. д. Картографическая визуализация должна обеспечивать возможность проведения основных измерений по карте (определение координат, измерение расстояний, площадей и т. д.).

6. Эстетическая привлекательность результата картографической визуализации. С развитием различных графических редакторов появилось множество инструментов компьютерной графики, которые дают возможность создавать эстетически привлекательные карты. Эстетика в картографической визуализации служит визуальным языком, эффективно передающим информацию и направляющим взаимодействие с пользователями. Она не только связана с визуальной привлекательностью карты, создающей вовлеченность пользователя, привлекая внимание, но и отвечает за простоту использования и правильность понимания карт, а также их эргономичность.

7. Математический закон построения. Картографическая визуализация должна использовать математические законы построения картографических проекций, которые динамически изменяются в зависимости от масштабирования и охвата картографируемой территории, учитывая при этом анализ распределения искажений в соответствии с назначением карты.

8. Мультимасштабность и генерализованность. Картографическая визуализация должна позволять выбирать оптимальную детализацию карты, посредством мультимасштабности, позволяя быстро осуществлять переход от одного масштаба к другому с целью извлечения картографической информации необходимой степени обобщения. При выборе определенного масштаба пользователем в интерактивном режиме должно меняться и содержание карты, с учетом особенностей генерализации.

В России и за рубежом все более активно начали создаваться картографические сервисы и программы, позволяющие представить огромное количество разнообразных геопространственных данных, отражающих самые различные аспекты состояния и развития окружающей действительности. В то же время большинство таких сервисов и программ представляют собой: 1) либо сложный программный продукт, требующий специализированных знаний в области геоинформатики; 2) либо сервис по созданию геоизображений территории, не имеющих координатной привязки; 3) либо сервисы, содержащие возможности создания карт, но ограниченные по наличию визуальных и аналитических инструментов.

Таким образом, в первом варианте существуют проблемы моментального создания карт и использования таких сервисов и программ неподготовленными пользователями. Во втором варианте существуют проблемы привязки объектов карты к реальным координатам и выполнения пространственного анализа. В третьем варианте возникают проблемы и сложности использования максимально широкого спектра возможностей дигитайна на картографической основе.

Табл. 2 содержит основные критерии, по которым можно оценить соответствие картографической визуализации рассмотренным принципам.

Таблица 2. Критерии корректной реализации принципа

Принцип	Критерии соответствия принципу	Признаки нарушения реализации принципа (примеры ошибок)
Мгновенная скорость создания	Данные о событиях (пробки, аварии, очаги возгорания и т. д.) автоматически отображаются на карте в реальном времени с минимальной задержкой; данные автоматически классифицируются и стилизуются, согласно предустановленным правилам, исключая необходимость предварительной обработки со стороны пользователя; а любые изменения в базе данных сразу отображаются на карте без ручного обновления	Наблюдаются расхождения между данными в БД и их отображением на карте; после каждого обновления требуется ручная проверка слоёв и корректировка картографом — из-за задержки данные устаревают и теряют актуальность для оперативных решений
Наличие инструментов геоанализа	Поддерживается импорт пользовательских данных разных форматов; картографический интерфейс обеспечивает выполнение ключевых операций геопространственного анализа (оверлей, буферизацию, сетевой анализ, кластеризацию и др.) с автоматической визуализацией результатов — в виде новых слоёв, буферных зон, маршрутов или тепловых карт	Функционал карты ограничен средствами визуализации и навигации; возможности карты ограничены просмотром данных и поиском объектов (по названию или координатам) — импорт данных, создание слоёв и геопространственный анализ не поддерживаются
Ориентированность на пользователя	Любой пользователь может самостоятельно загружать свои данные, определять набор отображаемых категорий, настраивать интервалы шкал и их цветовые схемы и т. д. Содержание карты адаптируется под уровень пользователя; карта сохраняет настройки (область интереса пользователя, слои, фильтры, историю поиска и т. д.), переводит топонимы на родной язык пользователя и использует стандартные единицы измерения для определенного региона	Интерфейс не предусматривает пользовательской настройки и загрузки собственных данных; категории отображения, интервалы шкалы и цветовые схемы предопределены и неизменяемы; настройки интерфейса сбрасываются — слои и область просмотра приходится настраивать заново
Адаптивность	Все элементы карты корректно отображаются на экранах любого размера и во всех браузерах; интерфейс карты поддерживает адаптацию визуальных параметров: корректировку яркости и насыщенности под условия освещения (например, специальный ночной режим для комфортной навигации в тёмное время суток)	При статичной вёрстке наблюдается некорректное отображение элементов карты на различных устройствах, например, их взаимное перекрытие, выход масштабной линейки за границы экрана, недостаточный размер кнопок и условных знаков для комфортного взаимодействия
Интерактивность	Картографический интерфейс содержит инструменты навигации, измерений, фильтрации данных, поиска объектов по атрибутам, управления временными параметрами, точкой обзора, настройкой визуализации (прозрачность, включение/отключение тематических слоёв) и т. д.	Отсутствуют базовые возможности управления картой и стандартные инструменты добавления, удаления или скрывания тематических слоёв и объектов
Эстетическая привлекательность	Карта оформлена в едином графическом стиле: используются гармоничные цветовые палитры, читаемые шрифты с чёткой иерархией по размеру и начертанию, минималистичные условные знаки без лишних эффектов, а элементы карты распределены сбалансированно без образования визуально пустых зон или участков с избыточной плотностью элементов, что обеспечивает комфортное восприятие и хорошую читаемость	Из-за слишком ярких цветов, дисгармоничной цветовой схемы, лишних эффектов и большого количества разных шрифтов карта плохо читается и выглядит нецелостно. Может наблюдаться нарушение иерархии, когда второстепенные элементы привлекают больше внимания, чем основные
Математический закон построения	Наличие полноценной математической основы карты: проекции, масштабного ряда, системы координат — обеспечивает точность пространственного отображения объектов и создаёт необходимые условия для проведения геоаналитических операций. Выбор картографической проекции обоснован целевой задачей: приоритет отдаётся минимизации тех видов искажений, которые влияют на точность ключевых расчетов	Без полноценной математической основы карта становится схематичной иллюстрацией, а применение проекций с существенными искажениями делает её непригодной для точных измерений и геоанализа
Мультимасштабность и генерализация	Использование логически обоснованного масштабного ряда способствует согласованному отображению пространственных данных на разных уровнях детализации. Изменение состава и подробности отображения объектов в соответствии с текущим масштабом обеспечивает целостность восприятия картографического материала на всех уровнях масштабного ряда	Карта привязана к одному масштабу, что исключает возможность корректного отображения объектов при попытке изменить масштаб

Обсуждение

Можно сформулировать несколько противоречий-проблем, связанных картографической визуализацией при учете сформулированных принципов:

1) картографической визуализацией как очень наглядным инструментом геоаналитики стремятся пользоваться все чаще, но при этом в процессе картографической визуализации участвуют не только специалисты, но и неподготовленные пользователи, которые не обладают достаточными знаниями в области геоинформатики, программирования, картографии и дизайна, что приводит к созданию плохо оформленных карт, которые не передают нужную информацию или передают ее с ошибками;

2) сервисы, позволяющие быстро создавать картоподобные изображения неподготовленным пользователем, выполняют роль только интерактивной иллюстрации без возможностей определения координат и проведения полноценного геоанализа, кроме того, имеют ограниченное количество шаблонов и инструментов для отображения всех возможных вариантов тематического картографирования;

3) имеющиеся шаблоны и инструменты для быстрого и интерактивного создания карт в большинстве сервисов разрабатываются программистами и дизайнерами, но очень редко в решении таких вопросов участвует картограф, что зачастую приводит к ошибкам в восприятии информации;

4) создание карт на основе программ ГИС, поддерживающих возможности проведения полноценного геопространственного анализа,

предполагает наличие профессиональных навыков в картографическом дизайне и геоинформатике, а также достаточно трудоемко и энергозатратно, что исключает возможность их использования неподготовленными пользователями.

Таким образом, решение сформулированных проблем возможно посредством экспертной системы, созданной на основе интегрированных знаний из областей картографии, геоинформатики, психологии, физиологии, аналитики и статистики. Ключевым условием ее разработки выступает формализация знаний в сфере картографической визуализации, которая должна учитывать сформулированные выше принципы.

В последующих публикациях будут детально рассмотрены основные задачи, требующие решения для обеспечения качественной формализации знаний для картографической визуализации, а также предложены возможные пути их реализации.

Заключение

Картографическая визуализация играет большую роль в информационном обеспечении таких областей деятельности человека, как экономика, наука, образование, туризм, строительство и т. д., поэтому должна удовлетворять требованиям современного мира. При этом она должна облегчать пользователю понимание огромного количества неструктурированных данных из различных источников и учитывать все принципы, которые были сформулированы ранее, для выполнения качественной картографической визуализации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. MacEachren A. M., Gahegan M., Pike W. Geovisualization for knowledge construction and decision support. *Computer Graphics and Applications*. 2004. Vol. 24, No. 1, P. 13–17.
2. Valêncio C., Kawabata T., Medeiros C., 3D Geovisualisation Techniques Applied in Spatial Data Mining. 9th international conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. 2013. P. 57–68. DOI: 10.1007/978-3-642-39712-7_5.
3. Coltekin A., Janetzko H., Fabrikant S. I. Geovisualization. *Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (2nd Quarter 2018 Edition). University of Zurich, 2018. DOI 10.22224/gistbok/2018.2.6.
4. Молокина Т. С., Колесников А. А. Анализ состояния и перспективы развития визуализации пространственных данных. *Вестник СГУГиТ*. 2021. Т. 26, № 4. С. 73–82.
5. Лисицкий Д. В., Бугаков П. Ю. Картографическая визуализация трехмерных моделей местности. *Вестник СГГА*. 2011. Вып. 3 (16). С. 87–93.
6. Balla D., Zichar M., Tóth R., Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools. *Applied Sciences*. MDPI, 2020. Vol. 10, No. 19. DOI: 10.3390/app10196701.

7. Hepburn J., Fairbairn D. Testing geovisualisations for effective environmental engineering decisionmaking. Abstracts of the ICA. 2019. Vol. 1. P. 111–112. DOI 10.5194/ica-abs-1-111-2019.
8. Jiang B., Huang B., Vasek V. Geovisualisation for Planning Support Systems. Planning Support Systems in Practice. Advances in Spatial Science. Springer, Berlin, Heidelberg. 2003. P. 177–191. DOI 10.1007/978-3-540-24795-1_10. 14.
9. Mohan M. Geospatial information from satellite imagery for geovisualisation of smart cities in India. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol. XLI-B8. P. 979–985. DOI 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-979-2016.
10. Андрюхина Ю. Н., Бугаков П. Ю., Касьянова Е. Л. [и др.] Цифровая картография : монография / под редакцией Д. В. Лисицкого. Новосибирск : СГУГиТ, 2023. 442 с.
11. Robinson A. C., Demšar U., Moore A. B. Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter. International Journal of Cartography. 2017. P. 32-60. – DOI: 10.1080/23729333.2016.1278151.
12. Dykes J., MacEachren A.M., Kraak M.-J. Exploring Geovisualization. Elsevier Ltd, 2005. 730 p.
13. MacEachren A. M., Kraak M. J. Research Challenges in Geovisualization // Cartography and Geographic Information Science. 2000. Vol.28, No.1. P. 204-207. DOI: 10.1007/BF03544825.
14. Andrienko G., Andrienko N., Keim D. Challenging problems of geospatial visual analytics. Journal of Visual Languages & Computing. 2011. Vol. 22, I. 4, P. 251–256. DOI: 10.1016/j.jvlc.2011.04.001.
15. Schiewe J. Geovisualization and geovisual analytics: the interdisciplinary perspective on cartography. Journal of cartography and geographic information. 2013. Vol. 63, No. 3. P. 122-126 DOI: 10.1007/bf03546122.
16. Susilo H., Rassarandi F.D., Susanta F.F. Exploration of various visual display methods for geovisualization purposes. Prokons: Jurusan Teknik Sipil. 2020. Vol. 14, No. 1. P. 41. DOI: 10.33795/prokons.v14i1.289.
17. Krassanakis V., Skopeliti A., Keskin M. Geovisualization: current trends, challenges, and applications. Geographies. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 801-805. DOI: 10.3390/geographies3040043.
18. Slocum T. A., McMaster R. B., Kessler F. C. Review of thematic cartography and geovisualization (4th ed.). North American Cartographic Information Society CRC Press, 2024 – 612 p. DOI: 10.14714/CP103.1919
19. Huang W., Harrie L. Towards knowledge-based geovisualisation using Semantic Web technologies: a knowledge representation approach coupling ontologies and rules // International Journal of Digital Earth. 2019. P. 1–22. DOI: 10.1080/17538947.2019.1604835.
20. Huang W., Eiðsson E., Harrie L., Multiple Representation for Geospatial Linked Data. Approaches to visualising linked data. Conference on Geoinformation Science (Sweden 21st June 2018) Vol. 2, No. 2, P. 89-124.
21. Vondrakova A., Vozenilek V. User issues in geovisualization. 16 th international multidisciplinary scientific geoconference sgem. Conference Proceedings (Sofia, 2016). Vol. 3. P. 599-606. DOI: 10.5593/SGEM2016/B23/S11.076.
22. Kraak M.-J. Geovisualization illustrated // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. 2003. Vol. 57, No. 5. P. 390-399. DOI:10.1016/S0924-2716(02)00167-3.
23. Savelyev A., MacEachren A. M. Advancing the theory and practice of system evaluation: a case study in geovisual analytics of social media. International Journal of Cartography. 2019. Vol. 6, No. 2. P. 202-221. DOI: 10.1080/23729333.2019.1637488.

REFERENCES

1. MacEachren A. M., Gahegan M., Pike W. (2004) Geovisualization for knowledge construction and decision support. *Computer Graphics and Applications*. Vol. 24, No. 1, 13-17.

2. Valêncio C., Kawabata T., Medeiros C., (2013) 3D Geovisualisation Techniques Applied in Spatial Data Mining. *9th international conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*. 57–68. DOI: 10.1007/978-3-642-39712-7_5.
3. Coltekin A., Janetzko H., Fabrikant S. I. (2018) Geovisualization. *Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (2nd Quarter 2018 Edition). University of Zurich, DOI: 10.22224/gistbok/2018.2.6.
4. Molokina, T. S., Kolesnikov, A. A. (2021) Analysis of the state and prospects for the development of spatial data visualization. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26 (4), 73–82 [in Russian].
5. Lisitsky D. V., Bugakov P. Yu. (2011) Cartographic Visualization of Three-Dimensional Terrain Models // *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3 (16). 87–93. [in Russian]
6. Balla D., Zichar M., Tóth R., (2020) Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools. *Applied Sciences*. MDPI, Vol. 10, No. 19. DOI: 10.3390/app10196701.
7. Hepburn J., Fairbairn D. (2019) Testing geovisualisations for effective environmental engineering decisionmaking. *Abstracts of the ICA*. Vol. 1. 111–112. DOI: 10.5194/ica-abs-1-111-2019.
8. Jiang B., Huang B., Vasek V. (2003) Geovisualisation for Planning Support Systems. *Planning Support Systems in Practice. Advances in Spatial Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 177–191. DOI: 10.1007/978-3-540-24795-1_10. 14
9. Mohan M. (2016) Geospatial information from satellite imagery for geovisualisation of smart cities in India. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B8. 979–985. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-979-2016.
10. Andriukhina, U. N., Bugakov, P. U., Kasyanova, E. L. (2023) *Cifrovaya kartografiya [Digital cartography]*. Novosibirsk: SGUGiT, 442 p. [in Russian].
11. Robinson, A. C., Demšar, U., Moore, A. B. (2017) Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter. *International Journal of Cartography*, 32–60. DOI: 10.1080/23729333.2016.1278151.
12. Dykes, J., MacEachren, A.M., Kraak, M.-J. (2005) *Exploring Geovisualization*. Elsevier Ltd. 730 p.
13. MacEachren A. M., Kraak M.J. (2000) Research Challenges in Geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*. Vol.28, No.1. 204-207 DOI: 10.1007/BF03544825.
14. Andrienko, G., Andrienko, N., Keim, D. (2011) Challenging problems of geospatial visual analytics. *Journal of Visual Languages & Computing*, 22(4), 251–256. DOI: 10.1016/j.jvlc.2011.04.001.
15. Schiewe, J. (2013) Geovisualization and geovisual analytics: the interdisciplinary perspective on cartography. *Journal of cartography and geographic information*, 63(3), 122–126. DOI: 10.1007/bf03546122.
16. Susilo, H., Rassarandi, F.D., Susanta, F.F. (2020) *Exploration of various visual display methods for geovisualization purposes*. Prokons: Jurusan Teknik Sipil. 14(1), 41 p. DOI: 10.33795/prokons.v14i1.289.
17. Krassanakis, V., Skopeliti, A., Keskin, M. (2023) Geovisualization: current trends, challenges, and applications. *Geographies*, 3(4), 801–805. – DOI: 10.3390/geographies3040043.
18. Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C. (2024) *Review of thematic cartography and geovisualization (4th ed.)*. North American Cartographic Information Society CRC Press, 612 p. – DOI: 10.14714/CP103.1919.
19. Huang, W., Harrie, L. (2019) Towards knowledge-based geovisualisation using Semantic Web technologies: a knowledge representation approach coupling ontologies and rules. *International Journal of Digital Earth*, 1–22. DOI: 10.1080/17538947.2019.1604835.
20. Huang, W., Eiðsson, E., Harrie, L., (2018) Multiple Representation for Geospatial Linked Data. *Approaches to visualising linked data. Conference on Geoinformation Science (Sweden 21st June 2018)*, 2(2), (pp 89-124).

21. Vondrakova, A., Vozenilek, V. User issues in geovisualization. *16 th international multidisciplinary scientific geoconference sgem. Conference Proceedings (Sofia, 2016)*, Vol. 3, 599–606. DOI: 10.5593/SGEM2016/B23/S11.076..
22. Kraak, M.-J. (2003) Geovisualization illustrated. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57(5), 390–399. DOI:10.1016/S0924-2716(02)00167-3.
23. Savelyev, A., MacEachren, A. M. (2019) Advancing the theory and practice of system evaluation: a case study in geovisual analytics of social media. *International Journal of Cartography*, 6(2), 202–221. DOI: 10.1080/23729333.2019.1637488.

Об авторе

Татьяна Сергеевна Молокина – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики.

Author details

Tatyana S. Molokina – PhD, Senior Lecturer, Department of Cartography and Geoinformatics.

Получено / Received 28.08.2025

Поступила после рецензирования / Revised 24.12.2025

Принята к публикации / Accepted 15.06.2026