

УДК: 528.94+912.43

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-1-31-381-394

В. П. Бесчастнов¹, Т. А. Андреева^{2,3}, С. В. Тюрин⁴, А. Е. Войнаровский⁵

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕБ-КАРТОГРАФИРОВАНИЯ С ИНТЕГРАЦИЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

АННОТАЦИЯ

Россия — государство с богатой многовековой историей, однако в настоящее время существуют серьезные проблемы с популяризацией истории Великой Отечественной войны среди молодежи. Одним из инструментов популяризации может стать использование интерактивных веб-карт, популярных среди широкого круга пользователей: от специалистов до обычных людей. Кроме того, к числу передовых технологий наряду с веб-картографированием относится пространственное моделирование объектов. В то же время отмечается нехватка методик интеграции результатов пространственного моделирования объектов в интерактивные веб-карты, хотя результаты подобной интеграции могут сыграть значимую роль в деле популяризации истории Великой Отечественной войны. Целью данной работы является проведение анализа этапов технологии и применяемых решений, при помощи которых осуществляется интеграция процессов веб-картографирования и пространственного моделирования объектов для создания интерактивной веб-карты. Данный анализ осуществляется на основе имеющихся технологических схем по созданию интерактивных веб-карт и пространственных моделей, идеях ориентированного на пользователя проектирования, а также личном опыте авторов в разработке интерактивных веб-карт. Технологическая схема включает в себя: сбор необходимой информации и получение данных для наполнения ресурса, разработку картографической и математической основы, наполнение интерактивной веб-карты, настройку параметров визуального представления и отображения объектов на интерактивной веб-карте, размещение созданной пространственной модели объекта на платформе, поддерживающей технологию WebGL, создание и настройку параметров визуального представления характеристик объекта, оформление итогового вида интерактивной веб-карты. Результаты проведенного анализа этапов технологии открывают новые возможности по интеграции пространственных моделей в процесс веб-картографирования для целей популяризации исторических сведений. Авторы на примере разработанной ими интерактивной веб-карты «Памятные места Ленинградской блокады и Зеленого пояса Славы» наглядно продемонстрировали реализацию шагов технологии в рамках выполнения проекта, а также подчеркнули особенности использования платформы WebGL для демонстрации результатов пространственного моделирования на интерактивной веб-карте.

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики, Университетская наб., д. 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034,
e-mail: vlad@bes4astnov.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики, Университетская наб., д. 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034,
e-mail: t.andreeva@spbu.ru

³ Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, наб. р. Мойки, д. 48, Санкт-Петербург, Россия, 191186, *e-mail: t.andreeva@spbu.ru*

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики, Университетская наб., д. 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034,
e-mail: s.tjurin@spbu.ru

⁵ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики, Университетская наб., д. 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034,
e-mail: a.vojnarovsky@spbu.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: веб-картография, интерактивная карта, пространственная модель, Ленинградская блокада, интеграция

**Vladislav P. Beschastnov¹, Tatyana A. Andreeva^{2,3}, Sergey V. Tyurin⁴,
Aleksandr E. Wojnarowski⁵**

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING WEB
MAPPING WITH THE INTEGRATION OF THE RESULTS
OF SPATIAL MODELING OF OBJECTS**

ABSTRACT

Russia is a country with a rich centuries-old history, however, at present, there are serious problems with popularizing the history of the Great Patriotic War among young people. One of the popularization tools may be the use of interactive web maps, which are popular among a wide range of users: from specialists to ordinary people. In addition, the number of advanced technologies, along with web mapping, includes spatial modeling of objects. At the same time, there is a lack of methods for integrating the results of spatial object modeling into interactive web maps, although the results of such integration can play a significant role in popularizing the history of the Great Patriotic War. The purpose of this work is to analyze the stages of development of technologies and applied solutions that integrate the processes of web mapping and spatial modeling of objects to create an interactive web map. This analysis is based on existing technological schemes for creating interactive web maps and spatial models, user-oriented design ideas, as well as the authors' personal experience in developing interactive web maps. The technological scheme includes: collecting the necessary information and obtaining data to fill the resource, developing a cartographic and mathematical basis, filling an interactive web map, configuring the parameters of the visual representation and display of objects on an interactive web map, placing the created spatial model of the object on a platform that supports WebGL technology, creating and configuring the parameters of the visual representation of characteristics of the object, the design of the final form of the interactive web map. The results of the analysis of the stages of technology development open up new opportunities for integrating spatial models into the web mapping process in order to popularize historical information. Using the example of the interactive web map "Memorials of the Leningrad Blockade and the Green Belt of Glory" developed by them, the authors clearly demonstrated the implementation of technological stages within the framework of the project, and also emphasized the features of using the WebGL platform to demonstrate the results of spatial modeling on an interactive web map.

KEYWORDS: web cartography, interactive map, spatial model, Leningrad blockade, integration

¹ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, 7-9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia, *e-mail:* vlad@bes4astnov.ru

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, 7-9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia, *e-mail:* t.andreeva@spbu.ru

³ The Herzen State Pedagogical University of Russia, 48, Moika emb., St. Petersburg, 191186, Russia, *e-mail:* t.andreeva@spbu.ru

⁴ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, 7-9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia, *e-mail:* s.tjurin@spbu.ru

⁵ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, 7-9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia, *e-mail:* a.wojnarovsky@spbu.ru

ВВЕДЕНИЕ

История Великой Отечественной войны полна героических глав. В память об этих подвигах было установлено множество памятников и мемориальных досок, сохранен ряд военных объектов. Однако зачастую память об исторических событиях не имеет каких-либо инструментов для непосредственного взаимодействия с аудиторией. В результате памятные знаки и сведения о них начинают утрачиваться, а передача исторической памяти последующим поколениям становится трудной задачей. Вместе с этим данная задача является одной из важнейших для государства и общества.

Одним из подходов к решению задачи популяризации истории Великой Отечественной войны и сведений об исторических объектах является использование современных технологий интерактивного взаимодействия с пользователем и способствует более широкому вовлечению людей в изучаемую тему. Одним из примеров реализации данной технологии является интерактивная веб-карта.

Веб-картографирование позволяет просматривать объекты, имеющие географическую привязку, а также сведения о них в формате одного ресурса. В настоящее время существует несколько технологических платформ и решений по созданию интерактивных веб-карт, которые можно разделить на несколько групп по принципу реализации:

- базирующиеся на функционале веб-ГИС (например, ArcGIS Online¹) или использующие API возможности (API Яндекс Карт² и др.);
- платформы, использующие открытый исходный код (такие как MapBox GL³);
- JS-библиотеки, с открытым исходным кодом, позволяющие представлять картографические данные (например, Leaflet⁴).

Независимо от выбора конкретных платформ и решений, веб-картографирование базируется на единой технологической схеме [Загребин и др., 2021, с. 172; Wang et al., 2024, р. 2160]. Графическое ее представление приведено на рис. 1.

Веб-картографирование обладает еще одним значимым преимуществом — способностью представлять информацию в виде пространственных моделей объектов. Эта особенность позволяет не только наглядно демонстрировать реальные масштабы и габариты объектов, но и создавать эффект погружения в их исторический контекст, усиливая понимание их значимости. Следует подчеркнуть, что процесс создания таких пространственных моделей имеет свои технологические нюансы, требующие особого внимания при реализации [Apollonio et al., 2021].

Несмотря на данное преимущество, процесс интеграции веб-картографирования и результатов пространственного моделирования объектов не имеет явных технологических приемов, что затрудняет их совместное использование в рамках единого продукта.

¹ Введение в ArcGIS Online — Справка ArcGIS Online. Документация. Электронный ресурс: <https://doc.arcgis.com/ru/arcgis-online/get-started/what-is-agol.htm> (дата обращения 20.12.2024)

² Общие сведения. JavaScript API. Электронный ресурс: <https://yandex.ru/maps-api/docs/js-api/common/general.html> (дата обращения 20.12.2024)

³ Mapbox GL JS. Mapbox. Электронный ресурс: <https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/guides> (дата обращения 20.12.2024)

⁴ Documentation for Leaflet — a JavaScript library for interactive maps. Электронный ресурс: <https://leafletjs.com/reference.html> (дата обращения 20.12.2024)



Рис. 1. Обобщенная технологическая схема процесса создания веб-карт с объектным наполнением [Wang et al., 2024, p. 2160]

Fig. 1. Generalized technological scheme for creating web maps with object content [Wang et al., 2024, p. 2160]

В связи с этим анализ технологических решений, позволяющих объединить эти задачи в рамках единого картографического процесса, приобретает особую актуальность. Настоящая работа посвящена анализу технологической схемы разработки интерактивных веб-карт с использованием результатов пространственного моделирования объектов и ее реализации в рамках проекта интерактивной веб-карты «Памятные места Ленинградской блокады и Зеленого пояса Славы».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Остановимся более подробно на технологии создания интерактивной веб-карты. Интерактивная веб-карта — визуализированная цифровая карта, позволяющая пользователю манипулировать отображением географических данных в ответ на запрос с его стороны, опубликованная в сети Интернет и доступная пользователю посредством веб-браузера. Сама интерактивная веб-карта позволяет настраивать отображение объектов на карте по какому-либо признаку, изменять масштаб, и при этом не требуется ее перезагрузка [Лисицкий, Кикин, 2014; Манёров и др., 2020, с. 231–232].

В связи с отличием процесса веб-картографирования от традиционного, в ряде исследовательских работ были выработаны свои технологические схемы процесса формирования интерактивной веб-карты [Horbiński, Lorek, 2020; Bartalesi et al., 2023].

Незначительные различия в данных схемах обусловлены целями и задачами, для решения которых создавался продукт. Тем не менее, можно выделить обобщенный вариант технологического процесса веб-картографирования, ранее представленный на рис. 1. Разберем показанные этапы подробнее:

1. **Процесс сбора и обработки текстовой и пространственной информации.** В рамках данного этапа осуществляется сбор исходных данных в различных форматах. Определяющее значение при этом имеет наличие или отсутствие пространственного характера у собираемых данных. В том случае, если они им обладают, осуществляется предварительная обработка, геопривязка и форматирование геоданных в формат, поддерживающий работу с ними [Wang et al., 2024, p. 2160]. Наиболее часто используемым форматом является GeoJSON.

2. **Процесс разработки интерактивных веб-карт.** Является наиболее важным этапом в рамках веб-картографирования, а потому включает в себя другие этапы:
 - 2.1 **Определение математической основы создаваемой интерактивной веб-карты.** Включает в себя: выбор проекции и системы координат, в которой будут представлены данные, определение масштабных уровней карты, а также уровня, который будет выступать в качестве основного при загрузке веб-карты [Horbiński, Lorek, 2020, p. 8].
 - 2.2 **Объединение и интеграция ранее собранных данных.** В рамках этапа производится объединение собранных данных в рамках одного текстового файла в формате, который поддерживает интерактивное взаимодействие с картой. Как правило, используется формат JavaScript.
 - 2.3 **Настройка стилового оформления веб-карты и элементов интерактивности.** Несмотря на кажущуюся незначительность в рамках глобального создания карты, именно от этого этапа зависит, как увидит карту пользователь [Roth, 2013, p. 85]. В рамках работы производится настройка различных интерактивных окон информации по объектам, стиля оформления элементов и кнопок карты, разрабатывается интуитивно понятная система условных обозначений и др. Пожалуй, именно этот этап требует наибольших затрат трудовых и временных ресурсов от картографа. Это обусловлено необходимостью работы по ряду направлений: дизайн, разработка, агрегирование данных, персонализация и адаптивность [Roth, 2013, p. 76]. По результатам данного этапа мы получаем интерактивную веб-карту практически в итоговом виде, сочетающую текстовую и картографическую информацию.
3. **Оформление итогового вида интерактивной веб-карты.** На данном этапе осуществляется конечное оформление карты путем добавления информации во внешние элементы, окружающие карту. Например, создаются дополнительные веб-страницы в формате вкладок, содержащие информацию о проекте, или формируются руководства по правильному использованию карты. Фактически на данном этапе реализуется поддержка карты для пользователей с целью обеспечения удобства эксплуатации.

Как следует из обобщенной схемы технологического процесса веб-картографирования, основными этапами, в рамках которого осуществляется формирование, наполнение и придание адаптивного вида сведениям являются этапы 2.2 и 2.3. Особое значение имеет этап 2.3, где происходит основное оформление внешнего вида и представления информации об объектах. Он фактически представляет собой сочетание различных типов интерактивности, которые расширяют функционал представленных на карте сведений [Crampton, 2003].

В частности, одним из примеров реализации сочетания типов интерактивности, в рамках этапа по настройке стилового оформления карты, является создание всплывающих окон информации, содержащих описательные сведения об объекте. Важным преимуществом при этом является наличие широкого инструментария по настройке внешнего вида и адаптивности благодаря языку CSS¹. В результате само окно может быть представлено в различных формах: в качестве всплывающей подсказки или полноценного модального окна с прокруткой сведений.

Особенностью стилового оформления является возможность гармоничного включения результатов пространственного моделирования в общий массив представляемых данных [Bartalesi, 2023, p. 243]. Данный способ отображения имеет ряд преимуществ:

¹ CSS: Cascading Style Sheets. MDN. Электронный ресурс: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS> (дата обращения 15.12.2024)

1. **Возможность более детального рассмотрения объекта при отсутствии лишних фоновых элементов.** Указанные элементы могут создавать избыточную информационную нагрузку на пользователя и отвлекать от основного объекта. Кроме того, утрачивается необходимость одинакового масштабного отображения самого объекта и окружающих объектов, а значит, пользователь может масштабировать модель объекта независимо от ограничений масштабного ряда картографической подложки. В результате мы имеем возможность для детального представления объекта вне зависимости от его размеров.
2. **Возможность использования инструментов VR/AR.** Это является выгодным технологическим заделом на будущее, когда использование подобной технологии станет более развитым, а настройка их параметров более гибкой.
3. **Возможность получения всей информации об историческом объекте в формате одного окна.** В результате пользователю не приходится совершать несколько кликов, чтобы как произвести визуальную оценку представления объекта, так и узнать описательные сведения о нем.

Стоит отметить, что данный способ отображения позволяет пользователю увидеть как статичное фото объекта, так и интерактивную веб-карту даже при проблемах с интернет-соединением. А это значит, что он гарантированно получает визуальное и текстовое представление об объекте, избегая возможных сложностей с загрузкой данных, которые могли бы возникнуть при других методах их подключения.

Но при подобном способе интеграции результатов пространственного моделирования объектов возникает вопрос: как именно их связать с иными сведениями об объекте, которые подключаются в формате файла JavaScript? Ответом является кроссплатформенный API — WebGL.

WebGL — кроссплатформенный API для отображения 3D-графики в браузере. WebGL исполняется как элемент HTML5 и поэтому является полноценной частью объектной модели документа (DOM API) браузера. Данная технология позволяет создавать интерактивные и адаптивные модели для их дальнейшего отображения в браузере [Cantor, Jones, 2012]. Структурно принцип работы WebGL можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема принципа работы WebGL [Liu et al., 2024, p. 19]
Fig. 2. A block diagram of how WebGL works [Liu et al., 2024, p. 19]

Суть данной схемы заключается в следующем. Сформированная модель загружается на специализированный сервис, поддерживающий работу с WebGL. В качестве примеров можно привести: three.js, Sketchfab, OGC.js и др. Затем для отображения на нужном веб-сайте производится загрузка модели с WebGL-сервиса в виде html-контейнера при помощи алгоритмов рендеринга [Miao et al., 2017; Liu et al., 2024, p. 19–20]. Они включают в себя обработку и визуализацию графики путем обработки вершин модели, графического ускорения графики и управления буферами данных и текстурами модели.

Для подключения html-код размещается внутри текстового документа формата JavaScript, содержащего сведения об объекте как пространственного, так и атрибутивного характера, не требуя каких-либо дополнительных операций для подключения. Далее технология с помощью кода загружает данные со специализированного сервера (его адрес указан в коде), поддерживающего WebGL, что обеспечивает успешную интеграцию результатов пространственного моделирования в интерактивную веб-карту. Процесс включает в себя настройку стилей отображения, интерактивных элементов и режимов визуализации. Данный факт подчеркивает легкость интеграции результатов пространственного моделирования объектов с использованием WebGL.

Еще одним преимуществом данной технологии является отсутствие необходимости устанавливать дополнительные плагины или программы для представления пространственных объектов в веб-браузере. По сути, данная технология схожа с удаленным хранилищем, содержащим сведения о пространственной модели объекта, которые можно подключить к интерактивной веб-карте [Cantor, Jones, 2012; Miao et al., 2017].

В результате использования сочетания технологии веб-картографирования и платформы WebGL, выступающей в качестве инструмента по отображению 3D-графики в браузере, мы имеем возможность добавить на веб-карту не только исторические объекты и карты, но также интегрировать пространственные интерактивные модели, которые в несколько раз повышают пользовательский интерес.

На основе проведенного анализа технологий можно вывести и проанализировать технологическую схему процесса веб-картографирования с интеграцией результатов пространственного моделирования объектов. Она включает в себя следующие основные этапы:

1. Сбор необходимой информации и получение данных для наполнения ресурса.

В рамках этапа производится сбор и агрегирование исходных данных, которые будут использованы при создании интерактивной веб-карты. Сюда можно включить: сбор сведений о картографируемых объектах и их агрегацию в текстовом формате GeoJSON, формирование пространственных моделей объектов, сбор растровых исторических карт-подложек и др.

2. Разработка интерактивной веб-карты.

2.1 Разработка картографической и математической основы. В рамках работы на данном этапе осуществляется решение ряда задач:

- выбор оптимальной технологической платформы или JS-библиотеки для веб-картографирования;
- подбор тайловых картографических подложек и настройка параметров их проекции и масштаба для создаваемого проекта;
- размещение и инициализация карты на веб-ресурсе, а также выбор масштабного уровня при загрузке карты.

2.2 Наполнение интерактивной веб-карты. Данный этап подразумевает выполнение следующих работ:

- осуществление конвертации ранее полученных файлов со сведениями об объектах в формат JavaScript;
- производство загрузки конвертированных файлов на веб-карту;

- выполнение подключения растровых карт в случае их использования в рамках реализуемого проекта.
- 2.3 Настройка параметров визуального представления и отображения объектов на интерактивной веб-карте.** В рамках этого этапа решаются задачи по:
- разработке системы условных обозначений для объектов, представленных на интерактивной веб-карте;
 - настройке параметров легенды интерактивной веб-карты;
 - при необходимости дополнительно корректируются параметры фильтрации объектов по типу, если фильтрация слоев работает некорректно.
- 2.4 Размещение созданной пространственной модели объекта на платформе, поддерживающей технологию WebGL.** Для реализации этого этапа производится экспорт сформированной пространственной модели объекта из программного обеспечения, где осуществлялось ее создание. Выбирается веб-ресурс, поддерживающий технологию WebGL, для загрузки экспортированной модели. Производится импорт. После импорта осуществляется получение html-кода для последующего встраивания модели во всплывающее окно интерактивной веб-карты.
- 2.5 Создание и настройка параметров визуального представления характеристик объекта.** На данном этапе выполняются работы по:
- созданию всплывающих окон информации со сведениями об объекте, настройка их стилей, параметров отображения и интерактивности;
 - встраиванию html-кода пространственной модели объекта в ранее подключенный текстовый файл формата JavaScript, содержащий иные сведения о данном объекте;
 - настройке визуального отображения html-контейнера встроенной модели в рамках окна информации об объекте.
- 3. Оформление итогового вида интерактивной веб-карты.** На заключительной стадии выполняются работы по настройке вспомогательных окон-вкладок, которые помогают пользователю более детально понять информацию, представленную на карте. Кроме того, осуществляются работы по поддержке и совершенствованию созданного продукта.

В результате в рамках данной технологии появляется этап, связанный с интеграцией результатов посредством WebGL. Именно в рамках этого этапа осуществляется связь процессов веб-картографирования и пространственного моделирования объектов. Вместе с тем данный этап обладает гибкостью применяемых технологических решений. В зависимости от конкретных целей интерактивной веб-карты и применяемых сервисов он может изменять свои детали.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа технологии были апробированы в рамках реализации проекта «Памятные места Ленинградской блокады и Зеленого пояса Славы». Оборона и блокада Ленинграда является одной из героических глав истории несгибаемости народа в Великой Отечественной войне. В память о подвиге было установлено множество памятников и мемориальных досок, созданы мемориальные комплексы [Лукьянов, 1972].

Целью проекта является создание интерактивной веб-карты г. Санкт-Петербурга и нескольких районов Ленинградской обл., на которой будут размещены объекты, связанные с историей блокадного Ленинграда и Зеленого пояса Славы (памятники, мемориальные доски, воинские захоронения, стелы, мемориалы и др.), которые несут историко-

просветительскую функцию сохранения памяти о Великой Отечественной войне. Дополнительно на веб-карте следует отобразить привязанные исторические карты и планы, размещающиеся поверх пространства основной карты, которые позволят более полно понять историю обороны города. Кроме того, предполагается создание интерактивных пространственных моделей наиболее значимых исторических памятников и объектов и размещение данных моделей в рамках создаваемой интерактивной веб-карты.

Создание данного ресурса может сыграть значимую роль в сохранении исторических объектов, посвященных памяти о героях обороны и блокады Ленинграда, а также популяризировать историю Великой Отечественной войны среди широкого круга людей.

Используя вышеописанную технологию на практике, а также выявленные технологические особенности, авторы реализовали технологическую схему по созданию интерактивного веб-ресурса «Памятные места обороны и блокады Ленинграда»:

1. Собрали сведения по имеющимся историческим объектам на территории г. Санкт-Петербурга и близлежащих районов Ленинградской обл., произвели сбор первичных материалов для формирования первых 3D-моделей объектов. Для этих целей использовали сведения, содержащиеся в государственных реестрах памятных объектов, а также выполнили лазерное сканирование, фотографирование и обмер объектов. Кроме того, была выполнена агрегация собранных пространственных и описательных данных по памятным объектам по признакам (памятники, мемориальные доски, мемориалы и т. д.). Результаты агрегации оформлены в виде текстовых документов формата GeoJSON¹.
2. Разработали интерактивную веб-карту.
 - 2.1 Разработали картографическую основу будущей карты. Для этих целей использовали JS-библиотеку Leaflet. Были выбраны оптимальные картографические подложки, распространяемые на условиях открытого использования, выполнена интеграция JS-библиотеки в окно карты и настроены ее параметры, в частности — масштабный ряд, центр окна карты, выбран масштабный уровень при загрузке карты.
 - 2.2 Осуществили наполнение интерактивной веб-карты сведениями об исторических объектах. Для этого выполнили конвертацию текстовых документов с данными по историческим объектам из формата GeoJSON в формат JavaScript. Таким образом, в создаваемую интерактивную карту данные подгружались с геометрическим и атрибутивным описанием в виде координат объекта, а также с указанным названием, адресом, данными об авторах и годе создания, сведениями об объекте. В подключаемых файлах были настроены параметры адреса, с которого производится загрузка статичных фотоизображений.
 - 2.3 Затем в рамках этапа настройки параметров визуального представления и отображения объектов на интерактивной веб-карте осуществлялись:
 - отрисовка и формирование системы условных обозначений в формате SVG. Разработка производилась таким образом, чтобы условные знаки обеспечивали читаемость на любом типе устройства, интуитивно понятно передавали категорию представляемого объекта;
 - настройка параметров в контроллере слоев, который представляет собой плагин, встраиваемый в JS-библиотеку Leaflet². Фактически

¹ Using GeoJSON with Leaflet. Leaflet — a JavaScript library for interactive maps. Электронный ресурс: <https://leafletjs.com/examples/geojson/> (дата обращения 08.02.2025)

² Layer Groups and Layers Control. Leaflet — a JavaScript library for interactive maps. Электронный ресурс: <https://leafletjs.com/examples/layers-control/> (дата обращения 10.02.2025)

контроллер слоев выступает в качестве легенды создаваемой карты, поэтому при настройке выполнялись работы по структурированию представляемых категорий объектов в виде единой системы с сохранением функции фильтрации объектов по категориям. Результат работы на данном этапе приведен на рис. 3.

- 2.4 Далее производилось размещение созданной пространственной модели объекта на платформе, поддерживающей технологию WebGL. После обработки исходных данных в ПО для работы с облаками точек и формирования модели осуществлялся ее экспорт в формате obj. При наличии текстур для модели производился их экспорт в виде картинки формата jpg. Далее экспортированная модель загружалась на WebGL-сервис Sketchfab¹, где производилась финальная настройка внешнего вида и добавлялись текстуры. В итоге получали html-код модели для ее встраивания в интерактивную веб-карту.
- 2.5 Затем осуществлялась настройка визуальных параметров всплывающего окна, которое представляет сведения в удобном и адаптивном для пользователя виде. Настраивались возможности прокрутки окна, затемнения фона, параметров закрытия окна, формирование табличной верстки внутри окна. Данные настройки производились с использованием языка CSS. Кроме того, устанавливались параметры для размещения описательных сведений об объекте внутри сформированной в окне таблицы.

Отдельно в текстовый файл формата JavaScript с информацией об объектах в раздел для размещения модели добавлялся ранее скопированный с Sketchfab html-код. Благодаря этому коду осуществляется загрузка сформированных моделей и их подключение во всплывающее окно объекта. Загруженная во всплывающее окно модель активируется по нажатию, присутствует возможность ее полноэкранного отображения. Результат оформления всплывающего окна и загрузки пространственной модели приведен на рис. 4–5.



Рис. 3. Результат реализации настройки параметров визуального отображения объектов на интерактивной карте в контроллере слоев (выполнено авторами)
Fig. 3. The result of the implementation of the settings for the visual display of objects on an interactive map in the layer controller (made by the authors)

¹ Sketchfab — The best 3D viewer on the web. Электронный ресурс: <https://sketchfab.com/> (дата обращения 02.03.2025)

Памятник "Блокадная прорубь"


Адрес	Санкт-Петербург, набережная Фонтанки, 21
Координаты	59.934803509469923, 30.343422437484865
Модель, фотографии	

Рис. 4. Результат интеграции результатов пространственного моделирования объектов во всплывающее окно информации об объекте (выполнено авторами)

Fig. 4. The result of the integration of the results of spatial modeling of objects into a pop-up window of information about the object (performed by the authors)



Рис. 5. Полноэкранное представление результатов пространственного моделирования объектов (выполнено авторами)

Fig. 5. Full-screen representation of the results of spatial modeling of objects (performed by the authors)

3. Далее выполнено итоговое оформление внешнего вида веб-карты. Создано пользовательское модальное окно для сбора сведений в форме обратной связи. Таким образом, можно более детально совершенствовать и поддерживать созданный продукт. Кроме того, сформированы окна со сведениями о самом проекте и вкладка, содержащая список объектов, представленных в активном окне карты.

Таким образом, доказана применимость и гибкость технологии в рамках реального проекта. Использование в данном примере JS-библиотеки Leaflet обусловлено наличием поддержки технологии WebGL, обеспечивающей высокую производительность при визуализации больших массивов пространственных данных, гибкостью инструментария при веб-картографировании. Стоит отметить, что использование данной библиотеки является бесплатным, что существенно снижает затраты на разработку по сравнению с коммерческими аналогами, не уступая им по функциональности.

ВЫВОДЫ

Интерактивные веб-карты становятся мощным инструментом визуализации географических данных, однако их потенциал в полной мере остается нераскрытым. Особенно это касается интеграции сложных типов геопрограммной информации, таких как трехмерные модели объектов исторического наследия. Проведенное исследование демонстрирует, что именно пространственное моделирование способно трансформировать пассивное восприятие картографического контента в формат, где пользователь имеет возможность «прикоснуться» к объекту и практически «вживую» увидеть его.

Авторами была проанализирована технологическая возможность интеграции трехмерных пространственных моделей в интерактивные веб-карты, уделив особое внимание ключевым аспектам оптимизации производительности и обеспечению удобства пользовательского взаимодействия. Были детально изучены и систематизированы технологические особенности веб-картографирования при работе с трехмерными объектами. Практическая значимость исследования подтверждена успешной реализацией проекта интерактивной веб-карты «Памятные места Ленинградской блокады и Зеленого пояса Славы», где с использованием JS-библиотеки Leaflet успешно применены разработанные методы интеграции трехмерных моделей с интерактивными веб-картами.

Авторы уверены, что проведенное исследование открывает новые перспективы для органичного объединения веб-картографирования и пространственного моделирования, создавая технологическую основу для принципиально новых способов визуализации исторических объектов. Разработанный подход не только решает технические задачи интеграции 3D-моделей в интерактивные веб-карты, но и формирует новый язык представления исторического наследия, где географическая привязка дополняется возможностью детального изучения объектов в трехмерном пространстве. Особую ценность работа приобретает в контексте современных задач исторического просвещения, предлагая инновационный инструментарий, способный сделать историю более осязаемой и доступной для самой широкой аудитории. Реализованный проект демонстрирует эффективность такого синтеза технологий, а предложенная методика может стать основой для создания целого класса аналогичных решений в сфере цифровой публичной истории и сохранения культурного наследия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Загребин Г. И., Крылов С. А., Котова О. И. Создание интерактивных веб-карт на территорию города. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Материалы XVII Международного научного Конгресса, 2021. Т. 1. С. 169–177. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-169-177.

Лисицкий Д. В., Кикин П. М. Методические основы веб-картографии. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 2014. № 4. С. 85–91.

Лукьянов Ю. А. Зеленый пояс Славы. Ленинград: Лениздат, 1972. 280 с.

Манёров М. Р., Сюзюмов А. А., Тюрин С. В. Методические принципы разработки интерактивных веб-карт на примере объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Геодезическая дуга Струве». ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Международной конференции, 2020. Т. 26. Ч. 4. С. 228–241. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-228-241.

Apollonio F. I., Fantini F., Garagnani S., Gaiani M. A Photogrammetry-Based Workflow for the Accurate 3D Construction and Visualization of Museum Assets. Remote Sensing, 2021. V. 13(3). P. 1–39. DOI: 10.3390/rs13030486.

Bartalesi V., Coro G., Lenzi E., Pagano P., Pratelli N. From Unstructured Texts to Semantic Story Maps. International Journal of Digital Earth, 2023. V. 16. No. 1. P. 234–250. DOI: 10.1080/17538947.2023.2168774.

Cantor D., Jones B. WebGL Beginner's Guide. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2012. 376 p.

Crampton J. W. Interactivity Types in Geographic Visualization. Cartography and Geographic Information Science, 2002. V. 29. No. 2. P. 85–98. DOI: 10.1559/152304002782053314.

Horbiński T., Lorek D. The Use of Leaflet and GeoJSON Files for Creating the Interactive Web Map of the Preindustrial State of the Natural Environment. Journal of Spatial Science, 2020. V. 67. No. 31. P. 1–17. DOI: 10.1080/14498596.2020.1713237.

Liu X., Wu T., Xu W., Liu Q. Design and Implementation of WebGL Model Rendering Engine. Scientific Journal of Intelligent Systems Research, 2024. V. 6. P. 18–23. DOI: 10.54691/778tvh90.

Miao R., Song J., Zhu Y. 3D Geographic Scenes Visualization Based on WebGL. Proceedings of the VI International Conference on Agro-Geoinformatics. USA, Virginia: Fairfax, 2017. IEEE, 2017. P. 1–6. DOI: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2017.8046999.

Roth R. E. Interactive Maps: What We Know and What We Need to Know. Journal of Spatial Information Science, 2013. V. 2013. No. 6. P. 59–115. DOI: 10.5311/josis.v0i6.105.

Wang L., Wang Z., Zhao X., Tsung F., Zeng W. Antarctica Storytelling: Creating Interactive Story Maps for Polar Regions with Graphic-Based Approach. The Visual Computer, 2024. V. 41(4). P. 2157–2169. DOI: 10.1007/s00371-024-03489-x.

REFERENCES

Apollonio F. I., Fantini F., Garagnani S., Gaiani M. A Photogrammetry-Based Workflow for the Accurate 3D Construction and Visualization of Museum Assets. Remote Sensing, 2021. V. 13(3). P. 1–39. DOI: 10.3390/rs13030486.

Bartalesi V., Coro G., Lenzi E., Pagano P., Pratelli N. From Unstructured Texts to Semantic Story Maps. International Journal of Digital Earth, 2023. V. 16. No. 1. P. 234–250. DOI: 10.1080/17538947.2023.2168774.

Cantor D., Jones B. WebGL Beginner's Guide. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2012. 376 p.

Crampton J. W. Interactivity Types in Geographic Visualization. Cartography and Geographic Information Science, 2002. V. 29. No. 2. P. 85–98. DOI: 10.1559/152304002782053314.

Horbiński T., Lorek D. The Use of Leaflet and GeoJSON Files for Creating the Interactive Web Map of the Preindustrial State of the Natural Environment. Journal of Spatial Science, 2020. V. 67. No. 31. P. 1–17. DOI: 10.1080/14498596.2020.1713237.

Lisitsky D. V., Kikin P. M. Methodological Principles of Web-Mapping. *Izvestiya vuzov “Geodesy and Aerophotosurveying”*, 2014. No. 4. P. 85–91 (in Russian).

Liu X., Wu T., Xu W., Liu Q. Design and Implementation of WebGL Model Rendering Engine. *Scientific Journal of Intelligent Systems Research*, 2024. V. 6. P. 18–23. DOI: 10.54691/778tvh90.

Lukyanov Yu. A. *The Green Belt of Glory*. Leningrad: Lenizdat, 1972. 280 p. (in Russian).

Manyorov M. R., Syuzyumov A. A., Tyurin S. V. Methodological Framework for Developing Interactive Web Maps Based on the Example of Struve Geodetic Arc UNESCO World Heritage Site. *InterCarto. InterGIS. Proceedings of International Conference*, 2020. V. 26. Part 4. P. 228–241 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-228-241.

Miao R., Song J., Zhu Y. 3D Geographic Scenes Visualization Based on WebGL. *Proceedings of the VI International Conference on Agro-Geoinformatics*. USA, Virginia: Fairfax, 2017. IEEE, 2017. P. 1–6. DOI: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2017.8046999.

Roth R. E. Interactive Maps: What We Know and What We Need to Know. *Journal of Spatial Information Science*, 2013. V. 2013. No. 6. P. 59–115. DOI: 10.5311/josis.v0i6.105.

Wang L., Wang Z., Zhao X., Tsung F., Zeng W. Antarctica Storytelling: Creating Interactive Story Maps for Polar Regions with Graphic-Based Approach. *The Visual Computer*, 2024. V. 41(4). P. 2157–2169. DOI: 10.1007/s00371-024-03489-x.

Zagrebin G. I., Krylov S. A., Kotova O. I. Creating Interactive Web Maps for the City. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of the XVII International Scientific Congress*, 2021. V. 1. P. 169–177 (in Russian). DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-169-177.
