

Н. Б. Кожухов^{1,2}✉

Методика создания интерактивной карты железных дорог России на основе открытых геопространственных данных

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Российская Федерация

² МАГП «Роскадастр», г. Москва, Российская Федерация

* e-mail: kozhukhow@list.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика создания интерактивной карты железных дорог России на основе открытых геопространственных данных. Актуальность работы обусловлена тем, что сведения о железнодорожной сети представлены в разных источниках и форматах, имеют неодинаковую точность, разную полноту атрибутивного описания и требуют предварительной обработки перед веб-публикацией. Цель исследования заключается в разработке последовательности операций, обеспечивающей переход от разрозненных растровых и векторных материалов к структурированной геоинформационной модели и интерактивной веб-карте. Предложенная методика включает анализ источников, геопривязку растровой основы, совмещение векторной схемы с координатной базой, очистку и редактирование геометрии, разделение линий на логические участки, формирование атрибутивной модели и экспорт данных в форматы GeoJSON или векторных тайлов. Для веб-визуализации рассматривается применение библиотеки Leaflet. Результатом является технологическая схема подготовки векторного слоя железнодорожной сети, пригодного для поиска, фильтрации и отображения семантической информации по отдельным участкам.

Ключевые слова: интерактивная карта, железные дороги, геопространственные данные, QGIS, Leaflet, векторные тайлы

N. B. Kozhukhov^{1,2}✉

A Method for Creating an Interactive Map of Russian Railways Based on Open Geospatial Data

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² MAGP Roskadastr, Moscow, Russian Federation

e-mail: kozhukhow@list.ru

Abstract. The paper considers a method for creating an interactive map of Russian railways based on open geospatial data. The relevance of the research is determined by the fact that information about the railway network is distributed among different sources and formats, differs in spatial accuracy and semantic completeness, and therefore requires preprocessing before web publication. The purpose of the study is to develop a sequence of operations that transforms raster and vector source materials into a structured geoinformation model and an interactive web map. The proposed method includes source analysis, georeferencing of a raster map, alignment of vector schemes with a coordinate base, geometry cleaning and editing, segmentation of lines into logical sections, creation of an attribute model, and export to GeoJSON or vector tiles. Leaflet is considered as a tool for web visualization. The result is a technological workflow for preparing a vector railway layer suitable for search, filtering, and displaying semantic information for individual railway sections.

Keywords: interactive map, railways, geospatial data, QGIS, Leaflet, vector tiles

Введение

Железнодорожная сеть является сложным пространственным объектом, который объединяет линейные участки, станции, узлы, технические характеристики и связи с другими видами транспортной инфраструктуры. В традиционной картографической форме такая сеть часто представляется как статическое изображение. Однако для современных задач анализа, обновления и распространения данных этого недостаточно: пользователь должен иметь возможность обращаться к отдельным объектам, получать их свойства, выполнять поиск, фильтрацию и сравнение по атрибутивным признакам.

Открытые геопространственные данные расширяют возможности создания тематических карт, но наличие открытого источника само по себе не означает готовности данных к публикации. Для железнодорожной тематики характерны разрозненность, неодинаковая полнота, различия в системах координат, разная детализация и отсутствие единой атрибутивной модели. В научной литературе эти проблемы рассматриваются как часть более широкой задачи обработки геопространственных больших данных, где существенными являются объем, разнородность, качество и пригодность данных для визуального анализа [1-4].

Существующие представления железнодорожной сети можно условно разделить на бумажные карты, любительские веб-карты и сторонние картографические сервисы. Бумажные карты удобны для общего обзора, но не поддерживают интерактивность. Любительские карты могут быть подробными, однако их структура и степень верификации часто неоднородны. Сторонние сервисы позволяют быстро получить обзорную картину, но не всегда обеспечивают требуемую полноту, устойчивость и семантическую детализацию данных по территории России.

В связи с этим актуальной является разработка методики, которая описывает не только финальную визуализацию, но и весь путь подготовки данных: от выбора источников до формирования векторного слоя, связанного с атрибутами. Интерактивная карта в таком подходе понимается не как изображение, а как интерфейс доступа к геоинформационной модели. Цель работы - разработать методику обработки и веб-визуализации открытых геопространственных данных железнодорожной тематики. Для достижения цели решаются задачи анализа исходных данных, подготовки растровых и векторных материалов в ГИС-среде, формирования атрибутивной модели, выбора формата веб-публикации и определения состава функций интерактивной карты.

Методы и материалы

Методика строится на последовательном преобразовании разнородных исходных материалов в единый тематический слой железнодорожной сети. В качестве исходных данных могут использоваться растровые карты железных дорог, векторные схемы, открытые геопространственные базы, сведения о станциях и участках, а также базовые картографические подложки. При выборе источников учитываются координатная привязка, топологическая связность, наличие семан-

тических признаков, условия использования и возможность регулярного обновления.

На первом этапе выполняется инвентаризация источников. Для каждого источника фиксируются формат, охват территории, предполагаемая точность, состав атрибутов, дата актуальности и ограничения лицензирования. Такой подход позволяет заранее отделить материалы, пригодные для геометрической основы, от материалов, которые целесообразно использовать только как справочные или контрольные. Для открытых данных особенно важно различать геометрию объекта и его описание: линия железной дороги может быть пространственно корректной, но не иметь сведений об электрификации, статусе эксплуатации или принадлежности к дороге.

Таблица 1 – Основные типы исходных данных и операции подготовки

Тип данных	Назначение в методике	Операции контроля и обработки
Растровая карта железных дорог	Визуальная основа и источник контрольных точек	Геопривязка, оценка искажений, сопоставление с базовой подложкой
Векторная схема железнодорожной сети	Геометрическая основа линейных объектов	Совмещение, исправление топологии, удаление дублей, разбиение линий
Открытые геопространственные данные	Дополнительная геометрия и атрибуты	Проверка полноты, нормализация полей, сопоставление с другими источниками
Сведения о станциях и участках	Семантическое наполнение объектов	Унификация названий, привязка к участкам, проверка уникальности
Базовые картографические подложки	Контроль положения и текст веб-карты	Сравнение положения, оценка масштаба отображения, выбор подложки

Геопривязка растровой карты выполняется в QGIS. В качестве контрольных точек могут использоваться крупные города, узловые станции, пересечения линий, мосты и другие хорошо распознаваемые объекты. После трансформации оценивается остаточная ошибка, а результат сопоставляется с базовой картографической подложкой. При работе с историческими или обзорными картами следует учитывать, что часть расхождений связана не только с технической ошибкой привязки, но и с генерализацией исходного картографического материала [9, 10].

Следующий этап - совмещение векторной схемы с координатной основой. Если векторный материал не имеет корректной пространственной привязки, он трансформируется относительно геопривязанного растра и базовой карты. Затем выполняется редактирование геометрии: удаляются дубли, исправляются разрывы, пересечения и самопересечения, проверяется связность участков. На этом этапе важно отделить картографические линии, предназначенные только для отображения, от аналитических объектов, которые должны иметь устойчивые идентификаторы и атрибуты.

Для формирования атрибутивной модели железнодорожная линия рассматривается как объект, имеющий геометрию и набор семантических характеристик. Минимальный состав полей может включать идентификатор объекта, название участка, тип линии, статус эксплуатации, признак электрификации, число путей, принадлежность к дороге, источник сведений и дату обновления. Такое описание позволяет выполнять запросы, строить фильтры и формировать всплывающие окна на веб-карте. В более сложной реализации атрибуты могут храниться в пространственной базе данных, например PostGIS, что упрощает контроль целостности и обновление данных [15].

После подготовки геометрии и атрибутов данные экспортируются для веб-визуализации. Для прототипирования удобен формат GeoJSON, так как он хранит геометрию и свойства объектов в текстовом представлении и поддерживается большинством веб-картографических библиотек [12, 13]. При увеличении объема данных предпочтительно использовать векторные тайлы: они разбивают слой на фрагменты, соответствующие текущей области просмотра и масштабу карты, что снижает нагрузку на браузер и ускоряет отображение [14].

Контроль качества данных выполняется на трех уровнях. На геометрическом уровне проверяются отсутствие разрывов и дублей, корректность пересечений, непротиворечивость направления линий и соответствие положения объектов выбранной координатной основе. На атрибутивном уровне оцениваются заполненность ключевых полей, единообразие справочников, наличие источника происхождения и дата обновления. На визуальном уровне анализируется читаемость слоя на разных масштабах, корректность подписей, различимость типов линий и устойчивость всплывающих окон. Результаты проверки целесообразно фиксировать в отдельном журнале, так как при последующем обновлении слоя важно понимать, какие участки были исправлены вручную и какие сведения требуют повторной верификации.

Результаты

В результате выполненного обобщения предложена методика создания интерактивной карты железных дорог России, включающая семь основных этапов: сбор исходных данных; геопривязку растровых материалов; совмещение векторной схемы с координатной основой; очистку и редактирование геометрии; разделение линий на логические участки; наполнение объектов атрибутивной информацией; экспорт данных для веб-визуализации. Итогом является подготовленный векторный слой железных дорог, содержащий не только геометрию, но и семантические характеристики.

Общая технологическая цепочка может быть представлена следующим образом: QGIS - подготовка и контроль геометрии; GeoJSON или векторные тайлы – формат обмена и публикации; Leaflet – клиентская веб-визуализация; интерактивная карта - пользовательский интерфейс доступа к объектам. Данная цепочка сохраняет связь между картографическим изображением и атрибутивной моделью. Пользователь взаимодействует не с растровой картинкой, а с векторным

объектом, поэтому при выборе участка система может отобразить название, тип линии, статус, электрификацию и другие сведения.

Для веб-карты определен базовый набор компонентов: картографическая подложка, тематический слой железнодорожных линий, атрибутивная таблица, всплывающие окна, инструменты поиска и фильтрации, масштабирование и навигация. При небольшом объеме данных слой может загружаться в виде единого GeoJSON-файла. Такой способ удобен для демонстрационного прототипа, поскольку упрощает публикацию и отладку. Однако для крупных наборов пространственных данных он становится ограничением: файл загружается целиком, что приводит к задержкам и росту потребления памяти браузера.

Таблица 2 – Сравнение форматов публикации железнодорожного слоя

Формат	Преимущества	Ограничения	Целесообразное применение
GeoJSON	Простота структуры, удобство редактирования и отладки, поддержка свойств объектов	Низкая эффективность при большом объеме линий и атрибутов	Прототип, локальная демонстрация, небольшие тематические слои
Векторные тайлы	Постепенная загрузка по масштабу и области просмотра, высокая производительность	Необходимость тайловой подготовки и дополнительной настройки сервера или хранилища	Крупные слои, публичная веб-карта, масштабируемая визуализация
База данных	Единое хранение, контроль целостности, поддержка запросов	Требует администрирования и настройки доступа	Обновляемые проекты, многопользовательская работа, аналитические запросы

Применение векторных тайлов является перспективным решением для дальнейшего развития карты. В этом случае данные заранее разбиваются на небольшие пространственные фрагменты, а браузер получает только те объекты, которые необходимы для текущего масштаба и экстенда. Такой подход особенно важен для протяженных линейных объектов, поскольку железнодорожная сеть охватывает большую территорию и включает множество пересечений, станций, ответвлений и участков с разными характеристиками.

Отдельным результатом является структура атрибутов, обеспечивающая интерактивность. В простейшем случае всплывающее окно должно показывать название участка, принадлежность к дороге, статус эксплуатации, признак электрификации и источник данных. Для анализа могут быть добавлены поля, позволяющие фильтровать линии по типу, отображать действующие и недействующие участки, выделять электрифицированные линии, а также связывать линейные объекты со станциями. Таким образом, методика создает основу для последующего расширения карты новыми слоями и сервисами.

Обсуждение

Предложенная методика отличается от простого размещения изображения железнодорожной карты в сети тем, что конечный результат является объектной моделью. Это принципиально важно для задач геоинформатики: векторный объект можно редактировать, проверять, классифицировать, связывать с таблицами, использовать в поиске и отображать в разных стилях. Благодаря этому одна и та же база данных может служить источником как для обзорной карты, так и для тематических представлений, ориентированных на определенные признаки.

Вместе с тем методика имеет ограничения. Первое ограничение связано с неодинаковым качеством открытых источников. Если исходные данные неполны или противоречивы, автоматическое объединение может привести к ошибкам. Поэтому в методику включены этапы ручного контроля, сопоставления с несколькими источниками и фиксации происхождения атрибутов. Второе ограничение связано с актуальностью: железнодорожная инфраструктура меняется, а открытые источники обновляются с разной периодичностью. Для практического использования карта должна иметь процедуру регулярного обновления и журнал изменений.

Третье ограничение относится к производительности веб-карты. GeoJSON подходит для демонстрации, но при большом числе объектов необходимо переходить к тайловой архитектуре или серверной генерализации. В современных веб-картографических решениях эта проблема решается за счет векторных тайлов, предварительного упрощения геометрии, пространственных индексов и разделения атрибутивных данных по уровням детализации [14-18].

Перспективы развития работы связаны с добавлением станций как отдельного точечного слоя, реализацией поиска по названиям, фильтрацией по типам линий, отображением электрификации и статуса эксплуатации. Кроме того, методика может быть расширена за счет интеграции с пространственной базой данных и настройки автоматизированной проверки топологии. Это позволит перейти от демонстрационной карты к обновляемому геоинформационному ресурсу, пригодному для учебных, справочных и аналитических задач.

Заключение

В ходе работы рассмотрена методика создания интерактивной карты железных дорог России на основе открытых геопространственных данных. Установлено, что открытые данные железнодорожной тематики требуют предварительной обработки, поскольку они часто представлены в разных форматах, имеют неодинаковую точность и различаются по полноте атрибутивного описания.

Использование ГИС-среды позволяет выполнить геопривязку растровых материалов, совмещение векторных схем с координатной основой, очистку геометрии и структурирование объектов. Ключевым элементом интерактивной карты является векторная модель, связывающая геометрию участков с семантическими характеристиками. Именно эта связь обеспечивает всплывающие окна, поиск, фильтрацию и тематическое отображение.

Для веб-публикации подготовленный слой может быть экспортирован в GeoJSON или преобразован в векторные тайлы. GeoJSON целесообразен для прототипирования и небольших слоев, а векторные тайлы являются более эффективным решением для больших пространственных массивов. В дальнейшем методика может быть дополнена средствами обновления данных, контролем топологии, добавлением станций и расширенной системой фильтрации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Li S., Dragicevic S., Anton F., Sester M., Winter S., Coltekin A., Pettit C., Jiang B., Haworth J., Stein A., Cheng T. Geospatial big data handling theory and methods: A review and research challenges // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. - 2016. - Vol. 115. - P. 119-133.
2. Goodchild M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography // GeoJournal. - 2007. - Vol. 69, No. 4. - P. 211-221.
3. Haklay M., Weber P. OpenStreetMap: User-Generated Street Maps // IEEE Pervasive Computing. - 2008. - Vol. 7, No. 4. - P. 12-18.
4. Neis P., Zielstra D. Recent developments and future trends in volunteered geographic information research: The case of OpenStreetMap // Future Internet. - 2014. - Vol. 6, No. 1. - P. 76-106.
5. Roth R. E. Interactive maps: What we know and what we need to know // Journal of Spatial Information Science. - 2013. - No. 6. - P. 59-115.
6. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic Information Systems and Science. - 4th ed. - Hoboken : Wiley, 2015. - 496 p.
7. Slocum T. A., McMaster R. B., Kessler F. C., Howard H. H. Thematic Cartography and Geovisualization. - 3rd ed. - Upper Saddle River : Pearson Prentice Hall, 2009. - 576 p.
8. Kraak M.-J., Ormeling F. Cartography: Visualization of Geospatial Data. - 4th ed. - Boca Raton : CRC Press, 2020. - 262 p.
9. QGIS Documentation. QGIS User Guide [Electronic resource]. - URL: <https://docs.qgis.org/> (accessed: 10.05.2026).
10. QGIS Documentation. Georeferencer [Electronic resource]. - URL: https://docs.qgis.org/latest/en/docs/user_manual/working_with_raster/georeferencer.html (accessed: 10.05.2026).
11. GDAL/OGR Documentation. Vector drivers and data formats [Electronic resource]. - URL: <https://gdal.org/drivers/vector/> (accessed: 10.05.2026).
12. Butler H., Daly M., Doyle A., Gillies S., Hagen S., Schaub T. The GeoJSON Format. RFC 7946 [Electronic resource]. - 2016. - URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7946> (accessed: 10.05.2026).
13. Leaflet. An open-source JavaScript library for interactive maps. Documentation [Electronic resource]. - URL: <https://leafletjs.com/reference.html> (accessed: 10.05.2026).
14. Mapbox. Vector Tile Specification [Electronic resource]. - URL: <https://github.com/mapbox/vector-tile-spec> (accessed: 10.05.2026).
15. PostGIS Documentation [Electronic resource]. - URL: <https://postgis.net/documentation/> (accessed: 10.05.2026).
16. OpenStreetMap Wiki. Elements [Electronic resource]. - URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Elements> (accessed: 10.05.2026).
17. OpenStreetMap Wiki. Map features [Electronic resource]. - URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features (accessed: 10.05.2026).
18. OpenStreetMap Wiki. Railway [Electronic resource]. - URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:railway> (accessed: 10.05.2026).
19. OpenRailwayMap. OpenStreetMap-based railway infrastructure map [Electronic resource]. - URL: <https://www.openrailwaymap.org/> (accessed: 10.05.2026).
20. Tippecanoe. Build vector tilesets from large collections of GeoJSON features [Electronic resource]. - URL: <https://github.com/felt/tippecanoe> (accessed: 10.05.2026).

© *Н. Б. Кожухов*, 2026