

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXII Международный научный конгресс

Сборник материалов в 9 т.

Т. 1

Международная научная конференция

**«ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ»**

№ 2

Новосибирск
СГУГиТ
2026

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
Г. А. Уставич

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
А. А. Шоломицкий

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
В. С. Писарев

Кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
Н. С. Косарев

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXII Международный научный конгресс,
18–22 мая 2026 г., Новосибирск : сборник материалов в 9 т. Т. 1: Междуна-
родная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография,
маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2026. № 2 – 186 с. – ISSN 2618-
981X. – Текст : непосредственный.
DOI 10.33764/2618-981X-2026-1-2

В сборнике опубликованы материалы XXII Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции
«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

Издание может содержать сведения об иностранных агентах

УДК 528

© СГУГиТ, 2026

И. Е. Дорогова¹✉

Моделирование и учет косейсмических и постсейсмических движений земной коры для координатного обеспечения государства

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ современных подходов к моделированию постсейсмических движений земной коры на основе данных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Предложена классификация моделей, включающая три типа: феноменологические (эмпирические), физические (пространственные) и гибридные (физически обоснованные функциональные). Рассмотрены основные тенденции развития методов за последние 20 лет. Сформулированы принципы выбора типа модели в зависимости от степени изученности физических параметров среды. На основе анализа сейсмической активности и текущей геофизической изученности территории Российской Федерации предложены рекомендации по выбору типов моделей постсейсмических движений земной коры для отдельных сейсмически активных регионов: Камчатки, Алтая, Байкала, Сахалина, Дальнего Востока, Кавказа и Крыма.

Ключевые слова: постсейсмические движения, ГНСС, косейсмические смещения, координатное обеспечение, модель движений земной коры, обратная задача геодинамики, афтерслайп, вязкоупругая релаксация

I. E. Dorogova¹✉

Modeling and accounting of co-seismic and post-seismic movements of the Earth's crust for the coordinate support of the state

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Abstract. The article presents an analysis of modern approaches to modeling post-seismic movements of the Earth's crust based on data from Global Navigation Satellite Systems (GNSS). A classification of models is proposed, including three types: phenomenological (empirical), physical (spatial), and hybrid (physically justified functional). The main trends in the development of methods over the past 20 years are considered. Principles for choosing the type of model depending on the degree of study of the physical parameters of the environment are formulated. Based on the analysis of seismic activity and the current geophysical study of the territory of the Russian Federation, recommendations are proposed for selecting types of models of post-seismic movements of the Earth's crust for certain seismically active regions: Kamchatka, Altai, Baikal, Sakhalin, the Far East, the Caucasus, and Crimea.

Keywords: postseismic movements, GNSS, coseismic displacements, coordinate support, model of crustal movements, inverse problem of geodynamics, afterslip, viscoelastic relaxation

Введение

Одной из главных задач координатного обеспечения государства является поддержание актуальности координат геодезических пунктов во времени. В сейсмически активных регионах эта задача существенно осложняется тем, что происходящие землетрясения вызывают не только скачкообразные косейсмические смещения, но и продолжительные постсейсмические движения (отклонения движений точек земной коры для участков, расположенных вблизи эпицентров землетрясений от свойственных им значений и направлений), которые могут сохраняться в течение многих лет после основного толчка [1, 2].

Как отмечено в работе [1], постсейсмические движения приводят к утрате актуальности координат геодезических пунктов и должны учитываться в модели движений земной коры в виде локальных подмоделей. При этом существующие международные модели, такие как ITRF2020, хотя и включают параметризацию постсейсмических деформаций [2], не могут в полной мере учесть региональную специфику отдельных сейсмически активных зон.

Целью настоящего исследования является анализ и систематизация существующих подходов к моделированию постсейсмических движений, классификация моделей и выбор оптимальной стратегии построения постсейсмических моделей для различных регионов Российской Федерации на основе анализа сейсмической и геофизической изученности территории.

Анализ и классификация существующих подходов к моделированию постсейсмических движений земной коры

Анализ литературы за последние 20 лет, включая работы, посвященные моделированию постсейсмических движений по данным ГНСС и InSAR, позволяет выделить три основных подхода, различающихся по степени учета физики процесса и по пространственной области применимости, на основании которых модели постсейсмических движений можно разделить на 3 типа: феноменологические (эмпирические) модели, физические (пространственные) модели, гибридные модели.

Феноменологические модели представляют собой наиболее простой подход. Временные ряды постсейсмических смещений земной коры в таких моделях аппроксимируются суммой математических функций, чаще всего – логарифмических и экспоненциальных [3, 4].

Общий вид эмпирических моделей может быть представлен следующим уравнением [4]:

$$u(t) = \sum_{i=1}^{n^l} A_i^l \cdot \ln \left(1 + \frac{t - t_i^l}{\tau_i^l} \right) + \sum_{i=1}^{n^e} A_i^e \cdot \left(1 - e^{-\frac{t - t_i^e}{\tau_i^e}} \right) + C, \quad (12)$$

где A_i^l – амплитуда i -ой логарифмической составляющей (характеризует интенсивность афтерслайпа);

A_i^e – амплитуда i -ой экспоненциальной составляющей (характеризует интенсивность вязкоупругой релаксации);

t_i^e – эпоха землетрясения, соответствующая экспоненциальной составляющей;

t_i^l – эпоха землетрясения, соответствующая логарифмической составляющей;

τ_i^l – время затухания i -ой логарифмической составляющей;

τ_i^e – время релаксации i -ой экспоненциальной составляющей;

C – постоянное смещение (остаточная деформация).

Похожая модель применяется для учета постсейсмических движений земной коры в международной системе отсчета ITRF2020 [2].

Примерами успешной реализации такого подхода также являются модели, созданные для территории Японии после землетрясения Тохоку-Оки 2011 года [4], для Тайваня [3] и для Индонезии [5]. В работе [4] часть коэффициентов не является свободными (независимо эмпирически определяемыми для каждой отдельной станции), а принимаются в качестве универсальных постоянных для территории Японии, для описания косейсмических смещений в этой статье рекомендуется выбирать наиболее подходящую из трех предложенных моделей, которые отличаются набором коэффициентов.

Главное достоинство моделей этого типа – простота математических выражений, возможность быстрой фильтрации данных и вычислительная эффективность. Основным недостатком является то, что коэффициенты не имеют прямого физического смысла и являются чисто эмпирическими, в результате чего задача интерполяции между точками не имеет однозначного решения, так как параметры модели подбираются независимо для каждой станции.

Более корректным представляется подход к решению данной проблемы с геофизической точки зрения, при котором модель основывается на механике происходящих процессов. При таком подходе результаты ГНСС-наблюдений используют как один из источников информации для решения обратной задачи геодинамики – нахождения распределения дислокаций вдоль субдукционной поверхности по поверхностным смещениям, а также уточнения модели очага землетрясения по данным о постсейсмических смещениях. Пример решения такой задачи представлен в работе [6]. В этих моделях данные ГНСС-наблюдений используются как один из источников информации для восстановления параметров физических процессов, вызывающих постсейсмические движения.

В рамках физического подхода можно выделить три подтипа моделей:

– модели афтерслайпа: моделируют разрыв на разломе, который аппроксимируется сеткой прямоугольников, решается задача о распределении проскальзывания на глубине, объясняющем наблюдаемые поверхностные смещения;

– модели вязкоупругой релаксации: задается реологическая модель среды (Максвелла, Бюргерса) и вязкость мантии, после чего рассчитываются теоретические смещения, которые сравниваются с реальными данными ГНСС-наблюдений;

– комбинированные модели: учитывают одновременно оба процесса (афтерслаип и релаксацию) и позволяют разделить их вклад.

В последнее время более распространен третий подтип физических моделей, обычно такие математические модели основаны на дифференциальных уравнениях упругости и вязкоупругости с использованием функций Грина, Окада или Поллитца [6]. К их достоинствам стоит отнести непрерывность, модель описывает смещения не только в точках наблюдений, но и в любой точке пространства, наличие физического смысла параметров модели (вязкость мантии, параметры трения, изменения напряжений). Недостатками являются высокая вычислительная сложность и объем необходимой априорной информации о геометрии разлома и свойствах среды, а также вариативность выбора реологической модели.

В последние годы сформировался третий подход, который можно назвать гибридным или физически обоснованным функциональным [7, 8]. Эти модели внешне напоминают эмпирические (сумма затухающих функций), но их коэффициенты не являются свободными – они заранее вычисляются на основе физических параметров среды.

В работе [7] предложена модель:

$$D(t) = A \cdot f_{VR}(t) + A \cdot f_{AS}(t) + C,$$

где $f_{VR}(t)$ и $f_{AS}(t)$ – функции, выведенные из лабораторных законов физики горных пород, а коэффициенты A и B связаны с изменениями напряжений в мантии и на разломе соответственно.

$f_{VR}(t)$ – функция вязкоупругой релаксации основана на степенном законе ползучести (power-law creep) и реологии Бюргерса;

$f_{AS}(t)$ – функция афтерслаипа основана на законе трения с упрочнением на скорости (rate-strengthening friction).

Достоинством гибридных моделей является сочетание физической обоснованности параметров (возможность декомпозиции наблюдаемого движения на составляющие) и простота описывающих аналитических выражений. Главный недостаток – модели остаются одноточечными (не дают непрерывного описания косейсмических смещений)

На основе проведенного анализа предлагается классификация моделей постсейсмических движений земной коры, приведенная в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация моделей постсейсмических движений земной коры

Тип модели	Название	Основной принцип	Пространственная область	Физическая обоснованность
I	Феноменологические (эмпирические)	Кривая затухания описывается с помощью простых математических функций, без углубления в физику процесса. Обычно содержит логарифмические (связанные с афтерслайпом) и экспоненциальные составляющие (связанные с вязкоупругой релаксацией астеносферы)	Только точки наблюдений	Низкая
II	Физические (пространственные)	Основаны на восстановлении параметров физического процесса (вязкость мантии, параметры трения на разломе), который вызывает движения	Любая точка пространства (создает непрерывное поле решений)	Высокая
III	Гибридные (физически обоснованные функциональные)	Аналитические функции, выведенные из физических законов, с физическими параметрами, но не пространственные, а одноточечные (для точек наблюдений)	Только точки наблюдений	Средняя (параметры имеют физический смысл, применимы только в точках наблюдения)

Тенденции в моделировании постсейсмических движений земной коры и принципы выбора модели для конкретной территории

Анализ работ, посвященных изучению и моделированию постсейсмических движений земной коры, позволяет выделить несколько основных тенденций последних лет.

Эмпирические модели получили широкое распространение в 2000–2014 гг, в последние годы заметна тенденция к физическому обоснованию коэффициентов моделей. Работы [7, 8] демонстрируют примеры нового класса гибридных моделей, которые совмещают простоту аналитических выражений с физической интерпретируемостью параметров.

Важной тенденцией последних лет является также интеграция данных различных методов: ГНСС, InSAR и гравиметрических данных GRACE [8]. Это позволяет более надежно разделять вклады различных геодинамических процессов и уменьшать неоднозначность, присущую эмпирическим моделям. Наблюдается также переход от моделей описательного характера к прогнозным, моделирующим долгопериодные постсейсмические деформации.

На основе анализа основных типов моделей постсейсмических движений можно сформулировать основные принципы выбора типа модели для конкретной территории: создание физической (пространственной) модели целесообразно при наличии подробных исследований физических характеристик среды для изучаемой территории (известны физические параметры пород, геометрия сочленения литосферных плит, глубина очага и данные о напряжениях); если имеются некоторые исследования физических характеристик среды, известны отдельные физические параметры, но отсутствует полная информация для построения пространственной модели – рекомендуется создание гибридной модели; использование эмпирических моделей как первого приближения возможно на тех территориях, где имеются только данные ГНСС-наблюдений, а подробные геофизические исследования отсутствуют или фрагментарны.

На основе изложенных принципов и с учетом текущей сейсмической и геофизической изученности территории Российской Федерации для моделирования постсейсмических деформаций для различных регионов предлагается выбор следующих типов моделей: Камчатка – физическая модель (регион характеризуется высокой сейсмической активностью, наличием подробных геофизических исследований), Алтай, Байкал, Сахалин, Дальний Восток – гибридные модели (имеются отдельные геофизические исследования, но не достаточно подробные для построения полноценной пространственной модели); Кавказ, Крым – эмпирические модели (имеются данные ГНСС-наблюдений, позволяющие построить эмпирические зависимости).

Заключение

В результате проведенного исследования проанализированы существующие подходы к моделированию постсейсмических движений земной коры, предложена трехуровневая классификация моделей постсейсмических движений, учитывающая как степень учета физики процесса, так и возможность пространственной экстраполяции: феноменологические (эмпирические), основанные на подборе коэффициентов логарифмических и экспоненциальных функций; физические (пространственные), решающие обратную задачу геодинамики; гибридные, сочетающие физическую обоснованность с аналитической простотой.

Также в работе сформулированы принципы выбора типа модели в зависимости от степени изученности физических параметров среды и доступности геофизических данных, и на основе анализа текущего состояния геофизической изученности территории Российской Федерации предложены типы моделей для отдельных регионов.

Описанные локальные подмодели постсейсмических движений для выбранных регионов планируется разработать и включить в состав модели движений земной коры для координатного обеспечения территории Российской Федерации [1].

Благодарности

Исследование выполнено в рамках СЧ НИР «ГЕОТЕХ-КВАНТ» с целью повышения точности координатно-временных определений на территории Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорогова И.Е., Демидов К.А. Реализация первого приближения программно-математической модели движений земной коры для пересчета координат пунктов между эпохами // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 2. – № 1. – С. 19-25. – DOI: 10.33764/2618-981X-2025-1-2-19-25.
2. Altamimi Z., Rebischung P., Collilieux X., Métivier L., Chanard K. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions // Journal of Geodesy. – 2023. – Vol. 97, No. 5. – DOI: 10.1007/s00190-023-01738-w.
3. Chen K.-H., Yang W.-B., Hsu Y.-J., Lee S.-B. Realization approach of non-linear postseismic deformation model for Taiwan semi-kinematic reference frame // Earth, Planets and Space. – 2020. – Vol. 72, No. 36. – DOI: 10.1186/s40623-020-01209-y.
4. Tobita M. Combined logarithmic and exponential function model for fitting postseismic GNSS time series after 2011 Tohoku-Oki earthquake // Earth, Planets and Space. – 2016. – Vol. 68, No. 41. – DOI: 10.1186/s40623-016-0422-4.
5. Abidin H.Z., Meilano I., Sarsito D.A., et al. Semi-Dynamic Datum of Indonesia // FIG/IAG/UN-GGIM-AP/ICG/GSI/JFS Technical Seminar Reference Frame in Practice. – Kobe, Japan, 2017.
6. Владимирова И.С., Лобковский Л.И., Михайлов В.О. Моделирование постсейсмических процессов в зонах субдукции // Геодинамика и тектонофизика. – 2012. – Т. 3, № 2. – С. 131-151. – DOI: 10.5800/GT-2012-3-2-0068.
7. Dhar S., Muto J. Function Model Based on Nonlinear Transient Rheology of Rocks: An Analysis of Decadal GNSS Time Series After the 2011 Tohoku-oki Earthquake // Geophysical Research Letters. – 2023. – Vol. 50, e2023GL103259. – DOI: 10.1029/2023GL103259.
8. Yamashita T., Dhar S., Muto J. Application of a physics-based function model to postseismic GNSS time series after the 2010 Maule, Chile earthquake // JpGU Meeting 2025. – Chiba, Japan, 2025.

© И. Е. Дорогова, 2026

И. Е. Дорогова¹✉, К. А. Демидов¹

Автоматизация сбора данных обработки онлайн-сервиса CSRS-PPP и построение трендов координат пунктов

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Аннотация. В статье представлена реализация автоматического сбора данных результатов обработки ГНСС-измерений, полученных с помощью канадского онлайн-сервиса CSRS-PPP. Автоматизация процесса по сбору данных позволяет существенно сэкономить время обработки результатов рядов наблюдений и освобождает от рутинных задач ручного ввода, а также от возможных ошибок ввода. Данная программная реализация дает возможность организовать регулярное определение координат пунктов, что позволяет накапливать многолетние временные ряды для дальнейшего анализа и работы с ними. В статье приведена схема автоматизации, описаны ключевые этапы – от сбора файлов ГНСС-измерений и их автоматической обработки до построения трендов координат пунктов на основе данных обработки. Представлена структура базы данных, ее основные компоненты. На основе накопленных данных реализована функция построения трендов координат, позволяющая определять скорость смещения отдельных пунктов.

Ключевые слова: геодинамика, скорости движения пунктов, геодезические пункты, автоматизация, онлайн-сервис, обработка данных

I. E. Dorogova¹✉, K. A. Demidov¹

Automation of data collection from the CSRS-PPP online service and the construction of point coordinate trends

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Abstract. The article presents the implementation of automatic data collection of the results of processing GNSS measurements obtained using the Canadian online service CSRS-PPP. Automating the data collection process saves a lot of time and frees you from the routine of constant manual input, as well as from errors that occur during it. This implementation makes it possible to organize the regular determination of the coordinates of points, which allows you to accumulate multi-year time series for further analysis and work with them. The article provides an automation scheme, describes the key stages – from collecting GNSS measurement files and their automatic processing to building trends in point coordinates based on processing data. The structure of the database and its main components are presented. Based on the accumulated data, the function of constructing coordinate trends has been implemented, which makes it possible to find out the speed of individual points.

Keywords: geodynamics, speeds of movement of points, geodetic points, automation, online service, data processing

Введение

Сбор данных и их дальнейшая обработка являются ключевыми этапами гео-

дезического геодинимического мониторинга. Использование данных измерений на пунктах различных геодезических сетей и создание трендов координат позволяют проанализировать направление и скорость движения пунктов. Эта информация служит основой для устойчивого развития координатно-временного обеспечения Российской Федерации. К примеру, на основе данных о скоростях движения пунктов, может производиться вычисление скорости движения литосферных плит [1]. На основе этих значений возможна реализация модели движения литосферных плит на территории страны и ее дальнейшее внедрение для реализации полудинамической системы координат, способной поддерживать долговременную взаимосвязь с международными системами координат [2].

В ходе многолетнего мониторинга может возникать необходимость получать и обрабатывать значительное количество данных, что обуславливает необходимость автоматизации обработки файлов ГНСС-измерений и сбора данных результатов обработки. Для обработки файлов можно использовать различные программы – от настольных приложений до онлайн-сервисов. Удобным, быстрым и подходящим по точности решения вариантом является выбор онлайн-сервисов, например, онлайн-сервиса CSRS-PPP [3]. Его преимуществом является то, что это бесплатное и высокоточное программное обеспечение для обработки ГНСС-измерений в формате RINEX. Задачей является автоматизация цикла – от загрузки файлов в онлайн-сервис, до сбора результатов обработки для дальнейшей работы с ними.

В данной статье описан процесс автоматизации сбора данных результатов обработки онлайн-сервиса CSRS-PPP и построение трендов координат пунктов на их основе.

Схема автоматизации

Для точного понимания процесса автоматизации была составлена схема, представленная на рисунке 1.

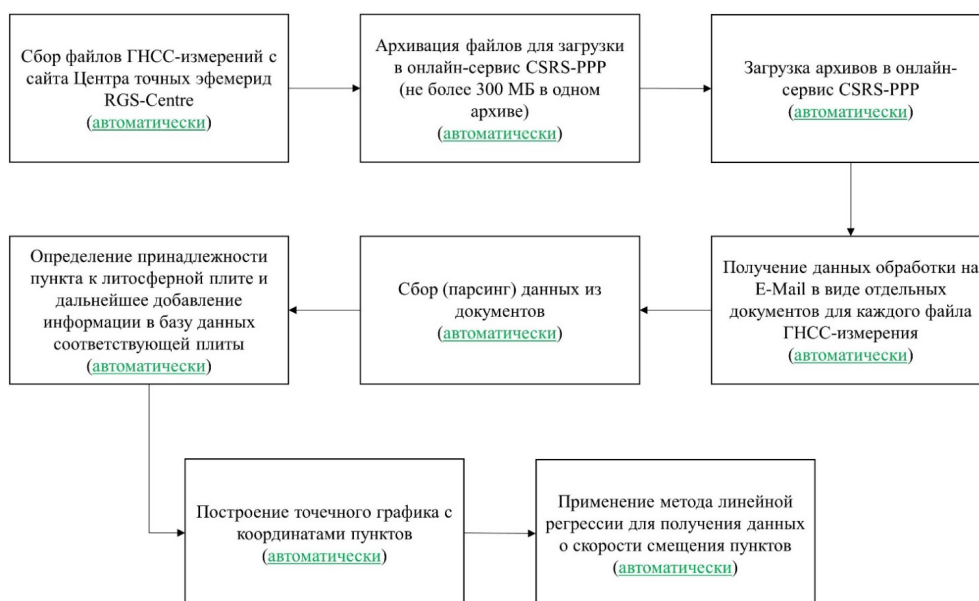


Рис. 1. Схема автоматизации для сбора данных обработки онлайн-сервиса CSRS-PPP

К основным процессам, для которых выполнена автоматизация, являются:

- сбор файлов ГНСС-измерений пунктов Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) с сайта RGS-Centre [4]. Данный процесс осуществляется при помощи библиотеки `moncenterlib`, которая позволяет автоматизировать процесс сбора данных ГНСС-измерений при помощи модуля `RGSCClient` [5, 6];

- архивация файлов ГНСС-измерений. Данный пункт необходим из-за наличия ограничений сервиса CSRS-PPP по загрузке файлов – можно загружать либо один файл измерений в формате `.npx/.o`, либо несколько, но в формате архива, размер которого не превышает 300 МБ;

- загрузка файлов ГНСС-измерений в виде архивов в онлайн-сервис CSRS-PPP. Данный процесс реализуется через HTTP POST-запросы напрямую к API онлайн-сервиса. В данном запросе передаются архивы с данными измерений, параметры обработки, а также данные о пользователе (файлы «куки»), так как онлайн-сервис CSRS-PPP не предоставляет доступ к обработке без авторизации на сайте;

- получение данных обработки. Данные приходят на почту E-Mail в виде отдельных файлов для каждого измерения;

- сбор обработанных данных, а также дальнейшее добавление их в базу данных. Данный процесс осуществляется в несколько этапов: происходит первичный сбор данных геодезических координат B , L при помощи которых определяется принадлежность к тому или иному тектоническому блоку по модели литосферных плит Питера Берда PB2002 [7, 8]. После определения литосферной плиты, на которой находится пункт, вся информация из файла о результатах обработки будет добавлена в соответствующую базу данных в формате `dBase`;

- построение точечного графика с координатами пунктов, а также применение метода линейной регрессии для получения данных о скоростях движения наблюдаемых пунктов. Этот этап осуществляется на основе данных прямоугольных пространственных координат X , Y , Z , собранных ранее, чтобы затем определить компоненты скорости движения пунктов V_X , V_Y , V_Z . В перспективе планируется добавить фильтрацию для уменьшения влияния скачков, к примеру, от перестановки ГНСС-оборудования.

Структура базы данных

В виду специфики онлайн-сервиса CSRS-PPP, результаты обработки ГНСС-измерений не объединяются в отдельный файл или базу данных. Для каждого ГНСС-измерения результат обработки приходит в виде отдельного файла. Фрагмент письма представлен на рисунке 2.

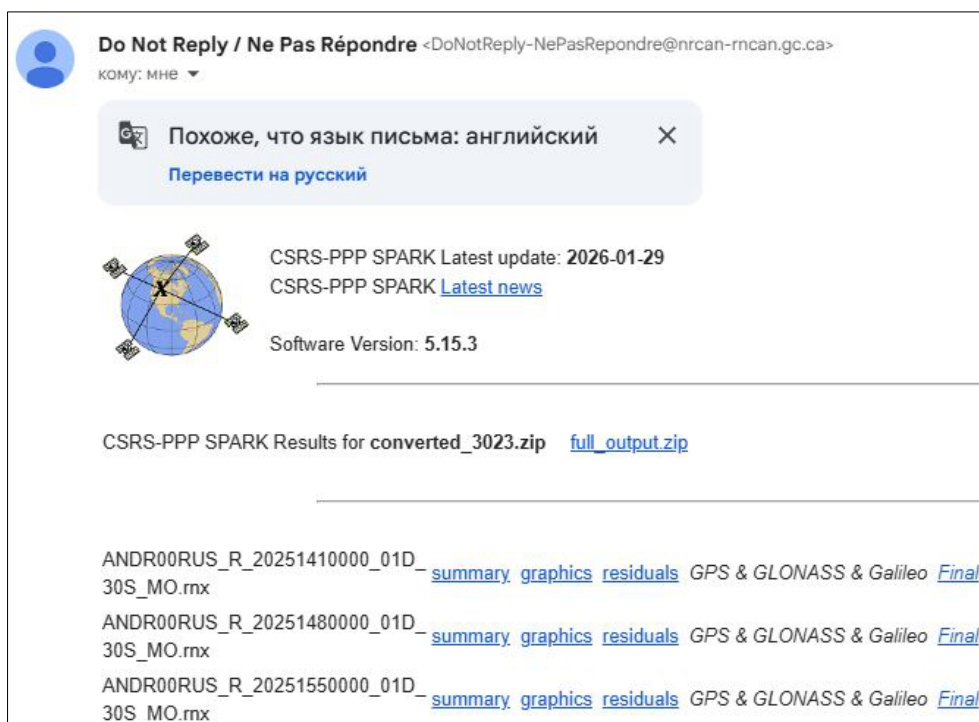


Рис. 2. Фрагмент письма с результатами обработки ГНСС-измерений сервиса CSRS-PPP

Из всех файлов результатов обработки, которые присылает онлайн-сервис CSRS-PPP, наиболее подходящим для сбора данных является документ с названием *summary*. Он объединяет в себе всю полезную информацию о результатах обработки в текстовом формате HTML, которую можно добавить в базу данных для дальнейшей работы с ней. Пример файла *summary* представлен на рисунке 3.

The estimated coordinates ITRF2020/IGb20 2025-05-21 for the ANDR00RUS_R_20251410000_01D_30S_MO.rnx RINEX file are as follows:

Latitude N64° 44' 07.3032" ± 0.002 m (95%)
Longitude E177° 30' 35.9008" ± 0.002 m (95%)
Ellipsoidal Height 64.934 m ± 0.007 m (95%)
[64.73536200,177.50997244,64.934]

UTM Zone 60 (North)
Northing 7179059.474 m
Easting 524286.049 m
Scale factor (point) 0.99960722
Scale factor (combined) 0.99959707
[7179059.474,524286.049,64.934]

Cartesian coordinates
X -2727120.560 ± 0.003 m (95%)
Y 118593.093 ± 0.002 m (95%)
Z 5745237.649 ± 0.007 m (95%)
[-2727120.560,118593.093,5745237.649]

Orbits and Clocks Used: [Final](#)
GNSS Data: GPS & GLONASS & Galileo
GRS80 ellipsoid used for (x,y,z) to (lat,lon,h) transformation

Рис. 3. Файл результатов обработки *summary* онлайн-сервиса CSRS-PPP

В базу данных из файла summary вносится информация, подчеркнутая на рисунке 3, а именно:

- наименование пункта;
- название системы координат;
- информация о дате измерения;
- название файла RINEX;
- геодезические координаты B, L, H ;
- координаты в проекции UTM *Easting, Northing*;
- пространственные прямоугольные координаты X, Y, Z ;
- информация об использованных спутниковых системах.

Фрагмент базы данных на основе собранной информации, представленной выше, представлен на рисунке 4. База хранится в формате dBase, формируется при помощи библиотеки sqlite3 на языке Python [9].

name	rinex_file	processed_date	coordinate_system	lat_deg	lat_min	lat_sec	lon_deg	lon_min	lon_sec	ellipsoidal_height
ANDR	ANDR00RUS_R_20251550000_01D_30S_MO.mrx	2025-06-04	ITRF2020/IGb20	64	44	7.3031	177	30	35.9009	64.935
ANDR	ANDR00RUS_R_20251480000_01D_30S_MO.mrx	2025-05-28	ITRF2020/IGb20	64	44	7.3032	177	30	35.9009	64.937
ANDR	ANDR00RUS_R_20251410000_01D_30S_MO.mrx	2025-05-21	ITRF2020/IGb20	64	44	7.3032	177	30	35.9008	64.934
		x	y	z	utm_northing	utm_easting	gnss_data			
		-2727120.563	118593.092	5745237.649	7179059.472	524286.05	GPS & GLONASS & Galileo			
		-2727120.563	118593.092	5745237.652	7179059.473	524286.05	GPS & GLONASS & Galileo			
		-2727120.56	118593.093	5745237.649	7179059.474	524286.049	GPS & GLONASS & Galileo			

Рис. 4. Фрагмент базы данных, формируемой на основе данных обработки онлайн-сервиса CSRS-PPP

Реализация функции построения трендов координат пунктов

На основе данных, собранных в базу данных, производится автоматическое построение трендов координат пунктов. Формирование графиков происходит при помощи библиотеки matplotlib, математические вычисления – при помощи библиотеки numpy [10, 11]. Интерфейс с построенным графиком представлен на рисунке 5.

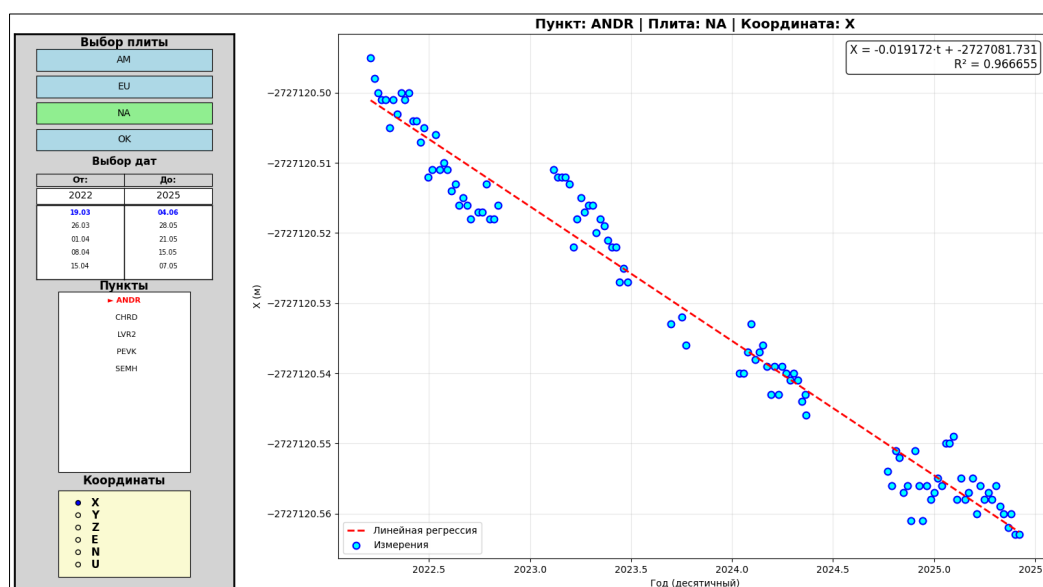


Рис. 5. Интерфейс с построенным трендом координат пункта

Интерфейс, представленный на рисунке 5, содержит точечный график, график линейной регрессии, уравнение линейной регрессии, значение коэффициента детерминации, а также блок для выбора настроек.

В интерфейсе блока выбора настроек, представленном в левой части рисунка 5, первым этапом производится выбор плиты. Это обусловлено тем, что пункты распределяются в разные базы данных на основе их принадлежности к литосферным блокам. Затем производится выбор пункта из имеющихся в базе данных для конкретной плиты.

После выбора пункта можно выбрать дату. В стандартном варианте, после выбора пункта, показывается график на весь диапазон дат, присутствующих в базе данных. Но в некоторых случаях существует необходимость в разделении графика (в случае перестановки антенны или же крупного сейсмического события). Для этого можно воспользоваться меню выбора дат, в свою очередь график линейной регрессии и его уравнение будут изменены в соответствии с заданным диапазоном.

Заключительным этапом является выбор вида координат для построения графика. На выбор есть пространственные прямоугольные координаты X , Y , Z координаты в проекции UTM *Easting* (E), *Northing* (N) и изменения по высоте U .

Заключение

В работе представлена реализация автоматического решения для сбора данных обработки онлайн-сервиса CSRS-PPP и функции построения трендов координат для пунктов. Подробно показана поэтапная схема автоматизации, описаны инструменты для ее создания. Описана структура формируемых баз данных. Представлена реализация функции построения трендов координат пунктов.

На данном этапе система представлена в виде отдельных Python-скриптов, внутри которых все действия происходят автоматически. Основным направлением для работы в дальнейшем является объединение всех скриптов в единую «бесшовную» систему и создание отдельного программного обеспечения.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках СЧ НИР «ГЕОТЕХ-КВАНТ» с целью повышения точности координатно-временных определений на территории Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорогова И. Е., Демидов К.А. Разработка программной модели движений блоков земной коры для территории Российской Федерации // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопрограмное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения, 2023. – Т. 3. – С. 192-198. – DOI: 10.33764/2687-041X-2024-3-192-198.
2. Дорогова И. Е., Демидов К.А. Реализация первого приближения программно-математической модели движений земной коры для пересчета координат пунктов между эпохами // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2025. – Т. 2. – № 1. – С. 19-25. – DOI: 10.33764/2618-981X-2025-1-2-19-25.

3. Канадская служба вращения Земли и систем отсчета // CSRS-PPP [сайт]. – 2026. – URL : <https://webapp.csr-scrs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> (дата обращения : 05.05.2026). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
4. Центр точных эфемерид RGS Centre [сайт]. – URL: <https://rgs.cgkipd.ru/fags-coords> (дата обращения : 06.05.2026). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
5. MonCenterLib // Python библиотека мониторинга качества измерений и стабильности пунктов геодезической сети [сайт]. – URL: moncenter.ru/moncenterlib/ (дата обращения : 05.05.2026). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
6. Карпик, А. П., Мареев А. В. Мамаев Д. С. Свободное программное обеспечение для геодезического мониторинга Moncenter // Вестник СГУГиТ, 2022. – Т. 27. – № 5. – С. 43-54. – DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-5-43-54 .
7. Bird, P. An updated digital model of plate boundaries / P. Bird. – Текст : непосредственный // An electronic journal of the Earth sciences. – 2003. – № 10. – 52 с. – ISSN 1525-2027.
8. World tectonic plates and boundaries // GitHub [сайт]. – 2026. – URL : <https://github.com/fraxen/tectonicplates> (дата обращения : 06.05.2026). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
9. Библиотека sqlite3 для Python // Python documentation [сайт]. – 2026. – URL : docs.python.org/3/library/sqlite3.html (дата обращения : 04.05.2026). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
10. Библиотека matplotlib для Python // Matplotlib official site [сайт]. – 2026. – URL : matplotlib.org/stable/index.html (дата обращения : 04.05.2026). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
11. Библиотека numpy для Python // NumPy official site [сайт]. – 2026. – URL : <https://numpy.org> (дата обращения : 04.05.2026). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.

© И. Е. Дорогова, К. А. Демидов, 2026

В. Ф. Канушин¹, Д. Н. Голдобин¹, Н. Н. Кобелева¹✉

Учет приливного влияния на результаты геометрического нивелирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Аннотация. Современное развитие геодезических технологий и повышение требований к точности измерений обуславливают необходимость совершенствования методов учета приливного влияния в результаты нивелирования. Особую значимость данная задача приобретает при выполнении высокоточных наблюдений, мониторинге деформационных процессов и решении задач геодинамики. В работе представлена методика учета приливного влияния в результаты геометрического нивелирования, основанная на разложении приливного потенциала по сферическим функциям до пятой степени включительно. Приведены результаты вычисления высот уровенной поверхности для пункта, расположенного в лабораторном корпусе СГУГиТ. Выполнен анализ полученных данных и их сопоставление с результатами ранее выполненных исследований. Результаты исследования могут быть использованы при обработке высокоточных нивелирных измерений, а также при развитии и совершенствовании государственных высотных сетей.

Ключевые слова: гравитационные приливы, геометрическое нивелирование, приливные поправки, приливной потенциал, сферические функции, уровенная поверхность, приливные вариации высоты

V. F. Kanushin¹, D. N. Goldobin¹, N. N. Kobeleva¹✉

Taking into account the tidal influence on the results of geometric leveling

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Abstract. Modern advances in geodetic technology and increasing demands on measurement accuracy necessitate improved methods for accounting for tidal influence in leveling results. This task is particularly important when performing high-precision observations, monitoring deformation processes, and solving geodynamic problems. This paper presents a method for accounting for tidal influence in geometric leveling results, based on the expansion of the tidal potential in spherical functions up to and including the fifth power. The results of calculating the height level of the surface for a point located in the laboratory building of SGUGiT are presented. The obtained data are analyzed and compared with the results of previous studies. The results of the study can be used in processing high-precision leveling measurements, as well as in the development and improvement of state elevation networks.

Keywords: gravity tides, geometric leveling, tidal corrections, tidal potential, spherical functions, level surface, tidal variations in height

Введение

Гравитационные приливы – это глобальное явление, обусловленное притяжением Луны, Солнца и планет Солнечной системы. Его воздействие распространяется на все тело Земли от ее центра до поверхности, на океаны и поверхностные воды. Гравитационные приливы создают эффекты, которые отражаются на всех видах высокоточных измерений [1].

Приливные влияния, обусловленные гравитационными полями небесных тел в любой точке Земли, вызывают периодические вариации силы тяжести, изменения направления отвеса, колебания уровенных поверхностей потенциала силы тяжести и квазипериодические смещения самой точки на физической поверхности Земли. На рисунке 1 показана диаграмма распределения в различных точках земной поверхности векторов приливообразующей силы, обусловленной одним небесным телом.

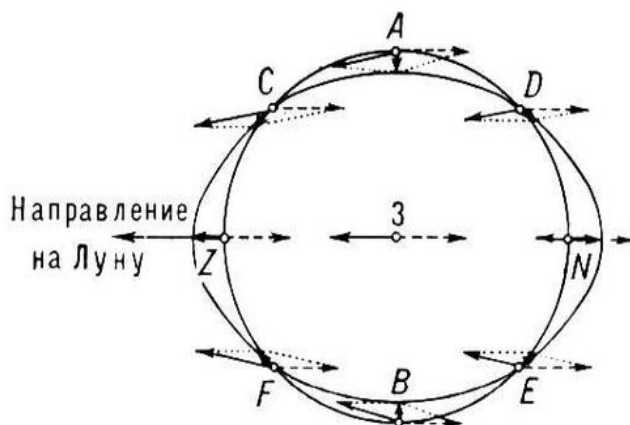


Рис.1. Диаграмма распределения приливообразующей силы, обусловленной одним небесным телом

Из рисунка 1 видно, что, если в каждой точке земной поверхности вектор приливообразующей силы F_{Π} разложить на вертикальную F_B и горизонтальную F_{Γ} составляющие, то вертикальная составляющая вызывает вариации силы тяжести, а горизонтальная составляющая вызывает колебание направления отвеса и смещение точек на физической поверхности, то есть приливную деформацию Земли. При классических наблюдениях на геодезических пунктах обычно используется астрономическая горизонтальная топоцентрическая система координат $OX^T Y^T Z^T$, в которой ось Z^T направлена в астрономический зенит и совпадает с направлением отвеса. Так как приливные влияния вызывают колебания направления отвеса и смещение земной коры, то на каждом пункте геодезические измерения в каждый момент времени выполняются в своей собственной мгновенной топоцентрической системе координат. Поскольку разница в притяжениях Луны и Солнца в разных местах Земли и ее деформация превосходят точность некоторых геодезических измерений, то геодезисты должны вводить по-

правки в такие измерения за приливные влияния. Рассматривая геодезические аспекты приливного влияния, Международная ассоциация геодезии (МАГ) на заседаниях в Канберре (Австралия) в 1979 году приняла решение о полном исключении приливных влияний из всех геодезических измерений [2]. Это решение соответствует требованиям, возникающим при решении краевой задачи физической геодезии для определения возмущающего потенциала, согласно которого аномалии силы тяжести должны отражать влияние только аномальных масс внутри Земли. Согласно действующим в настоящее время нормативным требованиям [3] и актуальным методикам 2026 года, приливные поправки обязательны для нивелирования I и II классов для линий протяженностью более 50 км, так как игнорирование приливного влияния на результаты геометрического нивелирования приводит к крупномасштабным искажениям высотных сетей. Основным принцип заключается в приведении результатов геодезических измерений к исходной, неизменной во времени системе координат, связанной с моделью твердой Земли.

Методы и материалы

В процессе геометрического нивелирования на каждой станции измерения определяют превышение dh . Это превышение является расстоянием между поверхностями равного потенциала силы тяжести $W_A(T_0)$ и $W_B(T_0)$, проходящими через точки A и B стояния реек в момент T_0 .

Для выполнения геометрического нивелирования необходимо, чтобы положение отвесной линии AI_0 и уровенных поверхностей не менялось с течением времени по трассе нивелирования.

В результате приливного влияния Луны, Солнца и планет за промежуток времени $T_1 - T_0$ значение потенциалов силы тяжести в точках A и B изменятся как:

$$W_A(T_1) = W_A(T_0) + W_{II}(A, T_1), \quad (1)$$

$$W_B(T_1) = W_B(T_0) + W_{II}(B, T_1), \quad (2)$$

где $W_{II}(A, T_1)$ и $W_{II}(B, T_1)$ – приливные потенциалы силы тяжести в точках A и B в момент T_1 .

На рисунке 2 приведена схема геометрического нивелирования с учетом приливных вариаций гравитационного поля.

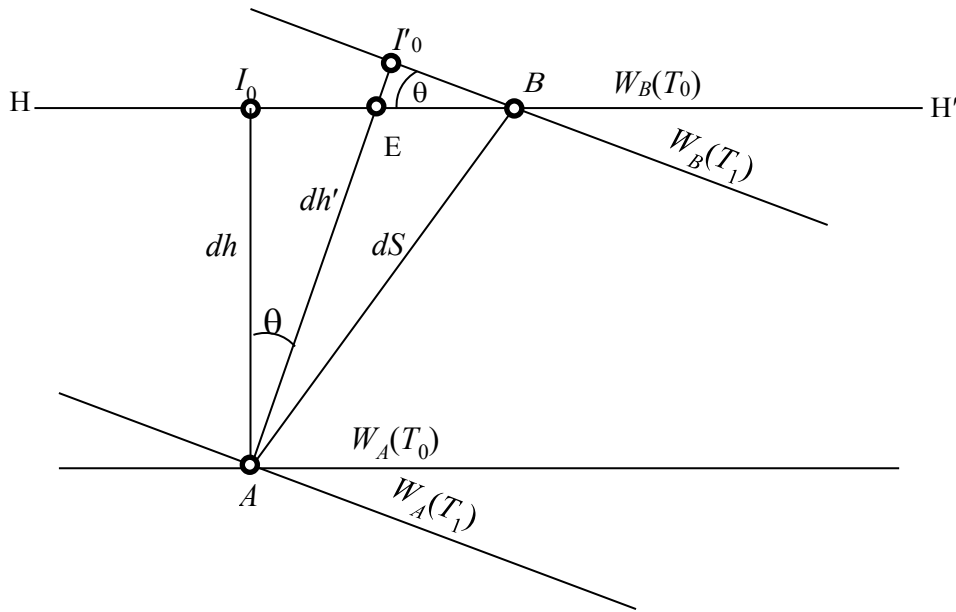


Рис. 2. Схема геометрического нивелирования с учетом приливных вариаций гравитационного поля

При приливном изменении гравитационного поля в момент T_1 визирная ось HH' сместится на угол $\theta = I_0BI'_0$, и превышение точки B над точкой A в этот момент будет равно:

$$dh' = AE + EI' . \quad (3)$$

Т.к. треугольник AI_0E является прямоугольным, находим

$$AE = dh \cdot \sec \theta , \quad (4)$$

$$EI_0 = dh \cdot \tg \theta . \quad (5)$$

Аналогично, из треугольника EI'_0B получим

$$EI'_0 = BE \cdot \sin \theta , \quad (6)$$

$$BE = BI_0 - EI_0 . \quad (7)$$

Учитывая, что $BI_0 \approx dS_0$, и является расстоянием между точками A и B по касательной к уровенной поверхности гравитационного потенциала силы тяжести $W_B(T_0)$ и подставляя формулы (5) и (7) в выражение (6), получим

$$EI' = (dS_0 - dh \cdot \operatorname{tg} \theta) \sin \theta. \quad (8)$$

Подставляя (4) и (8) в формулу (3), получим выражение для превышения в момент T_1

$$dh' = \frac{dh}{\cos \theta} + (dS_0 - dh \cdot \operatorname{tg} \theta) \sin \theta \quad (9)$$

Поскольку $\max |\theta| \leq 0,1''$ и $\max |dh| \leq 3,10^{-3}$ мм, то пренебрегая членами, содержащими θ^2 , т. е., допуская ошибку в превышении порядка $1,8 \times 10^{-10}$ мм, получим превышение в момент T_1 в следующем виде

$$dh' = dh + \theta dS_0 \quad (10)$$

Отсюда поправка в элементарное нивелирное превышение за влияние приливной вариации гравитационного поля, обусловленной притяжением Луны, Солнца и планет, составит:

$$\delta h = dh' - dh = \theta dS_0 \quad (11)$$

В формуле (11) необходимо вычислять приливные вариации отклонения отвеса θ и расстояния dS между точками, с другой стороны интеграл по линии нивелирования на замкнутом контуре может быть не равным нулю и проявлять зависимость от трассы нивелирования [4]. Соответственно, при вычислении поправки в нивелирное превышение за влияние приливных вариаций гравитационного поля следует использовать формулы, основанные на дифференциальных свойствах потенциала силы тяжести W . Элементарное приращение потенциала силы тяжести между двумя близкими точками A и B в момент T равно [4]

$$\begin{aligned} \Delta W = W_B(T) - W_A(T) = & \frac{1}{2}(h_B - h_A)(g_A(T) + g_B(T)) + \\ & + \frac{1}{2}(h_A + h_B)(g_B(T) - g_A(T)) \end{aligned} \quad (12)$$

где h_B и h_A – отсчеты по рейкам в точках A и B ;

$$g_B(T) = g_B^0 + \delta g_B(T), \quad (13)$$

$$g_A(T) = g_A^0 + \delta g_A(T), \quad (14)$$

где g_A^0 и g_B^0 – значения силы тяжести в точках A и B невозмущенного гравитационного поля Земли;

– $\delta g_A(T)$ и $\delta g_B(T)$ – приливные вариации поля силы тяжести в точках A и B в момент T ;

– $g_A(T)$ и $g_B(T)$ – значения силы тяжести в точках A и B в момент T .

Запишем формулу (12) в следующем виде

$$\Delta W = W_B(T) - W_A(T) = g_m \Delta h - h_m \Delta g, \quad (15)$$

где $\Delta g = g_A(T) - g_B(T)$ – разность значений силы тяжести в точках B и A в момент T ;

– $g_m = \frac{1}{2}(g_A(T) + g_B(T))$ – среднее значение силы тяжести между точками B и A в момент T ;

– $\Delta h = h_B - h_A$ – превышение точки B над точкой A в момент T ;

– $h_m = \frac{1}{2}(h_B - h_A)$ – средний отсчет по рейкам B и A .

Учитывая выражения (1), (2), (11), (13) и (14) получим дифференциал приливного потенциала силы тяжести

$$dW_{\Pi} = -g_m d\delta h - h_m d\delta g. \quad (16)$$

Из формулы 16, получим поправку в нивелирное превышение за влияние приливной вариации гравитационного поля в виде

$$d\delta h = -\frac{dW_{\Pi}}{g_m} - \frac{d\delta g}{g_m} h_m. \quad (17)$$

Поскольку $\max |d\delta g| \leq 2,41 \times 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $g_m = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ и $\max |h_m| \leq 3 \times 10^3 \text{ мм}$, то

$$\left| \frac{d\delta g}{g_m} h_m \right| \leq 7,37 \times 10^{-4} \text{ мм}. \quad (18)$$

Таким образом, при современной точности выводов разности потенциала при равных расстояниях от нивелира до рек в формуле (17) можно ограничиться только первым членом. Переходя к конечным разностям, получим приливную поправку в нивелирное превышение между станциями A и B геометрического

нивелирования, в которой учитывается коэффициент упругости Земли $\sigma = 0,7$, в следующем виде

$$\delta h_{AB} = 0,7 \frac{\Delta W_n}{\gamma_m} = 0,7 \frac{W_n(A, T) - W_n(B, T)}{\gamma_m} = -\zeta_A - \zeta_B, \quad (19)$$

где $\gamma_m = \frac{1}{2}(\gamma_A + \gamma_B)$ – среднее значение нормальной силы тяжести между точками B и A .

Для вычисления приливной поправки dh_{AB} в превышение между станциями A и B по формуле (19) необходимо на каждой станции нивелирного хода вычислить с помощью разложения приливного потенциала по сферическим функциям до пятой степени приливную вариацию высоты уровенной поверхности ζ , по формуле (21). Для упрощения записи расчетных выражений предварительно вводятся следующие обозначения:

$$R'_a = \frac{r'}{a}, \quad C_d = \frac{c_B}{d_B}, \quad (20)$$

где d_B – мгновенное расстояние между Землей и возмущающим телом B ;

– r' – расстояние между центром Земли и положением станции на ее поверхности;

– a – большая полуось эллипсоида;

– c_B – среднее расстояние между Землей и возмущающим телом B .

$$\begin{aligned}
& \zeta = 0,7 \frac{W_{II}}{g} = 0,7 \frac{D_B(r')}{g} \times \\
& \left[(C_d)^3 \left(1 - 3 \sin^2 \varphi\right) \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \delta\right) + \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos H + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2H + \right. \\
& \quad \left. + (R'_a)(C_d)^4 \sin \pi_B \left(\begin{aligned} & \frac{1}{3} \sin \varphi (3 - 5 \sin^2 \varphi) \sin \delta (3 - 5 \sin^2 \delta) + \\ & \frac{1}{2} \cos \varphi (1 - 5 \sin^2 \varphi) \cos \delta (1 - 5 \sin^2 \delta) \cos H + \\ & 5 \cos^2 \varphi \sin \varphi \sin \delta \cos^2 \delta \cos 2H + \\ & \frac{5}{6} \cos^3 \varphi \cos^2 \delta \cos^2 \delta \cos 3H \end{aligned} \right) + \right. \\
& \quad \left. + (R'_a)^2 (C_d)^5 \sin^2 \pi_B \times \right. \\
& \quad \left. \left(\begin{aligned} & \frac{1}{48} (3 - 30 \sin^2 \varphi + 35 \sin^4 \varphi) (3 - 30 \sin^2 \delta + 35 \sin^4 \delta) + \\ & \frac{5}{24} \sin 2\varphi (3 - 7 \sin^2 \varphi) \sin 2\delta (3 - 7 \sin^2 \delta) \cos H + \\ & \frac{5}{12} \cos^2 \varphi (1 - 7 \sin^2 \varphi) \cos^2 \delta (1 - 7 \sin^2 \delta) \cos 2H + \\ & \frac{35}{6} \sin \varphi \cos^3 \varphi \sin \delta \cos^2 \delta \cos 3H + \\ & \frac{35}{48} \cos^4 \varphi \cos^4 \delta \cos 4H \end{aligned} \right) + \right. \\
& \quad \left. + (R'_a)^3 (C_d)^6 \sin^3 \pi_B \times \right. \\
& \quad \left. \left(\begin{aligned} & \frac{1}{48} \sin \varphi (15 - 70 \sin^2 \varphi + 63 \sin^4 \varphi) \sin \delta (15 - 70 \sin^2 \delta + 63 \sin^4 \delta) + \\ & \frac{5}{15} \cos \varphi (-1 + 14 \sin^2 \varphi - 21 \sin^4 \varphi) \cos \delta (-1 + 14 \sin^2 \delta - 21 \sin^4 \delta) \cos H + \\ & \frac{35}{4} \sin \varphi (-1 + 4 \sin^2 \varphi - 3 \sin^4 \varphi) \sin \delta (-1 + 4 \sin^2 \delta - 3 \sin^4 \delta) \cos 2H + \\ & \frac{35}{96} \cos^3 \varphi (1 - 9 \sin^2 \varphi) \cos^3 \delta (1 - 9 \sin^2 \delta) \cos 3H + \\ & \frac{105}{16} \sin \varphi (1 - 2 \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi) \sin \delta (1 - 2 \sin^2 \delta + \sin^4 \delta) \cos 4H + \\ & \frac{21}{32} \cos^5 \varphi \cos^5 \delta \cos 5H \end{aligned} \right) \right] \quad (21)
\end{aligned}$$

где $D_B(r')$ – масштабный коэффициент для тела B ;

– H – часовой угол;

– δ – склонение;

- π_B – параллакс небесного тела;
- φ – широта точки измерения.

Результаты

В таблице 1 представлены результаты вычисления приливной вариации высоты уровенной поверхности ζ , обусловленные воздействием приливообразующих сил Луны, Солнца и планет солнечной системы, полученные по формуле (20) для пункта, расположенного в лабораторном корпусе СГУГиТ. Расчеты выполнены за период с 23.01.2025 по 09.12.2025 с использованием программной библиотеки SOFA Software [5] в качестве источника астрономических координат Луны, Солнца и основных планет Солнечной системы.

Таблица 1 – Приливные вариации высоты уровенной поверхности ζ

	Минимальное значение, м	Максимальное значение, м	Диапазон, м	Среднее, м
Луна	–0,154	0,193	0,347	–0,041
Солнце	–0,059	0,065	0,12	–0,021
Меркурий	$-3,1 \times 10^{-07}$	$4,1 \times 10^{-07}$	$7,3 \times 10^{-07}$	$-5,7 \times 10^{-08}$
Венера	$-3,7 \times 10^{-07}$	$3,9 \times 10^{-07}$	$7,7 \times 10^{-07}$	$-1,6 \times 10^{-07}$
Марс	$-5,5 \times 10^{-09}$	$2,1 \times 10^{-09}$	$7,6 \times 10^{-09}$	$-1,8 \times 10^{-09}$
Юпитер	$-4,1 \times 10^{-07}$	$4,7 \times 10^{-07}$	$8,8 \times 10^{-07}$	$-9,3 \times 10^{-08}$
Сатурн	$-1,8 \times 10^{-08}$	$4,3 \times 10^{-09}$	$2,3 \times 10^{-08}$	$-9,5 \times 10^{-09}$
Уран	$-3,3 \times 10^{-10}$	$3,3 \times 10^{-10}$	$6,7 \times 10^{-10}$	$-1,1 \times 10^{-10}$
Нептун	$-1,1 \times 10^{-10}$	$6,7 \times 10^{-12}$	$1,1 \times 10^{-10}$	$-5,6 \times 10^{-11}$
Σ	–0,213	0,295	0,472	–0,063

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на вариации высоты уровенной поверхности оказывают приливные силы Луны и Солнца, Диапазон изменения лунной составляющей составил 0,347 м, солнечной – 0,12 м, Вклад планет Солнечной системы значительно меньше и находится в пределах от 10^{-10} до 10^{-7} м, что соответствует современным представлениям о величине планетарного приливного воздействия.

Суммарная вариация высоты уровенной поверхности, обусловленная приливным влиянием Луны, Солнца и планет с учетом составляющих приливного потенциала до пятой степени в исследуемый период достигала 0,472 м, Полученные значения согласуются с результатами ранее выполненных исследований [6] и подтверждают необходимость учета приливного влияния при выполнении высокоточного геометрического нивелирования и обработке результатов геодезических измерений.

Заключение

В результате проведенного исследования получена формула для вычисления приливной вариации высоты уровенной поверхности путем разложения приливного потенциала по сферическим функциям до пятой степени. Разработана

экономически эффективная схема алгоритма вычисления приливной поправки в результаты геометрического нивелирования, в котором на каждой станции нивелирного хода вычисляется приливная вариация высоты уровенной поверхности ζ , а затем вычисляется приращение высоты уровенной поверхности между станциями на момент выполнения измерений.

Приведены результаты вычисления приливной вариации высоты уровенной поверхности для пункта, расположенного в лабораторном корпусе СГУГиТ. Анализ полученных результатов показал их согласованность с данными, представленными в работах других авторов, что подтверждает корректность предложенного подхода и возможность его применения при обработке результатов высокоточного геометрического нивелирования.

Полученные результаты позволяют рекомендовать учет приливного влияния при выполнении высокоточных нивелирных измерений, создании и развитии государственных высотных сетей, а также при решении задач инженерной геодезии и геодинамики. Перспективным направлением дальнейших исследований является совершенствование алгоритмов вычисления приливных поправок с учетом региональных особенностей гравитационного поля Земли.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках СЧ НИР «ГЕОТЕХ-КВАНТ» с целью создания высокоточных моделей гравитационного поля Земли и его характеристик

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ардюков Д.Г., Калиш Е.Н., Носов Д.А. и др. Результаты абсолютных измерений ускорения силы тяжести на мысе Шульца // Гирскопия и навигация. – 2015. – № 3 (90). – С. 13–18.
2. Resolutions as proposed by the International Association of Geodesy and endorsed by the International Union of Geodesy and Geophysics : Canberra, 2–14 December 1979 // XVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics. — Canberra, 1979.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов (ГКИНП-03-010-03). — Москва : ЦНИИГАиК, 2004. — 168 с.
4. Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Теория высот в гравитационном поле Земли.- М.: Недра, 1971 – 144с.
5. SOFA Software [Электронный ресурс] / International Astronomical Union. — URL: <https://www.iausofa.org/> (дата обращения: 26.03.2026).
6. Кондрин А. Т. Методы гармонического анализа приливов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2008. — № 5. — С. 26–30.

© В. Ф. Канушин, Д. Н. Голдобин, Н. Н. Кобелева, 2026

В. А. Петручок¹ 

Исследование влияния серии землетрясений 2025 года на изменения координат дифференциальных геодезических станций на Камчатке

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: vladenbob@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается стабильность дифференциальных геодезических станций (ДГС) операторов сетей EFT CORS и PrinNet на территории полуострова Камчатка в условиях сейсмической активности. Обработка спутниковых измерений выполнялась методом точного точечного позиционирования (PPP). Временные ряды координат, использованные в исследовании, охватывают период, включающий землетрясение 30 июля 2025 года магнитудой 8,8 и последующие афтершоки 13 и 19 сентября с магнитудой 7,4 и 7,8 соответственно. Анализ данных ГНСС-наблюдений выявил изменение плановых координат до 0,4 м в момент основного толчка и суммарное смещение пунктов до 1,0 м за весь период наблюдений (7 месяцев). В работе сделаны выводы о том, что статические координаты пунктов на полуострове Камчатка утратили свою актуальность, что подтверждает необходимость использования динамических или полудинамических систем координат.

Ключевые слова: геодинамика, геодезический мониторинг, землетрясения, изменение координат, ГНСС, метод точного точечного позиционирования PPP, деформация земной коры

V. A. Petruchok¹ 

Investigation of the impact of a series of earthquakes in 2025 on changes in the coordinates of the DGS in Kamchatka

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: vladenbob@yandex.ru

Abstract. This article examines the stability of differential geodetic stations (DGS) of EFT CORS and PrinNet network operators on the Kamchatka Peninsula in conditions of seismic activity. The satellite measurements were processed using the precision point positioning (PPP) method. The time series of coordinates used in the study cover the period including the earthquake of July 30, 2025 with a magnitude of 8.8 and subsequent aftershocks on September 13 and 19 with a magnitude of 7.4 and 7.8, respectively. Analysis of the GNSS observation data revealed a change in the planned coordinates to 0.4 m at the time of the main shock and a total displacement of points to 1.0 m over the entire observation period (7 months). The paper concludes that the static coordinates of points on the Kamchatka Peninsula have lost their relevance, which confirms the need to use dynamic or semi-dynamic coordinate systems.

Keywords: geodynamics, geodetic monitoring, earthquakes, coordinate change, GNSS, PPP precision point positioning method, crustal deformation

Введение

Современное геодезическое обеспечение Российской Федерации в сейсмически активных регионах требует новых подходов для поддержания стабильности координатной основы. Полуостров Камчатка является одним из самых геодинамически активных регионов на планете, по причине активного взаимодействия Охотской, Тихоокеанской и Северо-Американской литосферных плит [1].

Землетрясение 30 июля 2025 года магнитудой 8,8, является самым мощным событием в камчатской сейсмозоне за последние 73 года, вызвавшим масштабные деформации земной коры [2, 3].

В данном исследовании проводится оценка косейсмических смещений дифференциальных геодезических станций (ДГС) и анализ влияния движений земной коры на изменения координат станций.

Материалы и методы исследования

Для исследования были использованы данные четырех ДГС: ELIZ, REMK, SKCH (оператора сети PrinNet [4]) и PKAM (сеть EFT CORS [5]) (рис. 1). Были получены RINEX-файлы суточных измерений на каждый седьмой день в период с апреля по октябрь 2025 года для выбранных станций, а для детального изучения косейсмического изменения координат были получены ежедневные файлы измерений с 23 июля по 6 августа 2025 года.

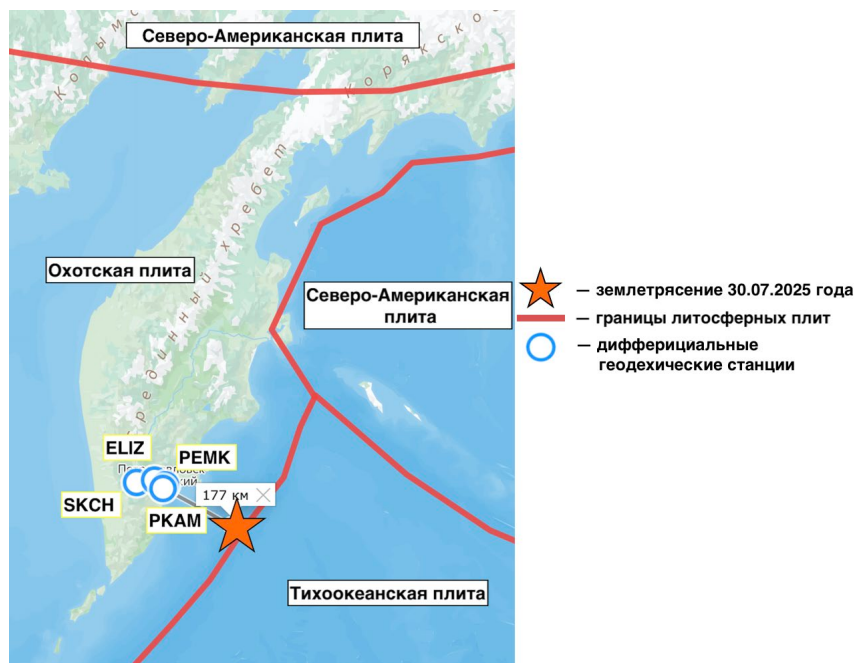


Рис. 1. Карта ДГС Камчатского региона, границ литосферных плит и эпицентра землетрясения 30.07.2025 года

Для определения координат использовался метод точного точечного позиционирования (Precise Point Positioning, PPP), реализованный в онлайн-сервисе CSRS-PPP [6], затем были построены временные ряды координат.

Для анализа горизонтальных и вертикальных смещений станций $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ были преобразованы в топоцентрическую систему $\Delta E, \Delta N, \Delta U$, для этого использовались следующие формулы

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cos L & \cos B \cos L \\ \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta U \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\mathbf{R}$ – матрица преобразования топоцентрических координат в экваториальные; $\mathbf{R}^T$ – транспонированная матрица поворота.

Анализ изменения координат станций в исследуемый период

Графики смещений станций по осям X, Y, Z имеют ступенчатый характер (рис. 2). На графиках прослеживается скачок координат в момент основного землетрясения 30 июля 2025 года и менее интенсивный скачок, соответствующий последующим афтершокам 13 и 19 сентября 2025 года. В момент основного удара скачок координат наблюдался по всем трем осям в среднем 0,4 м.

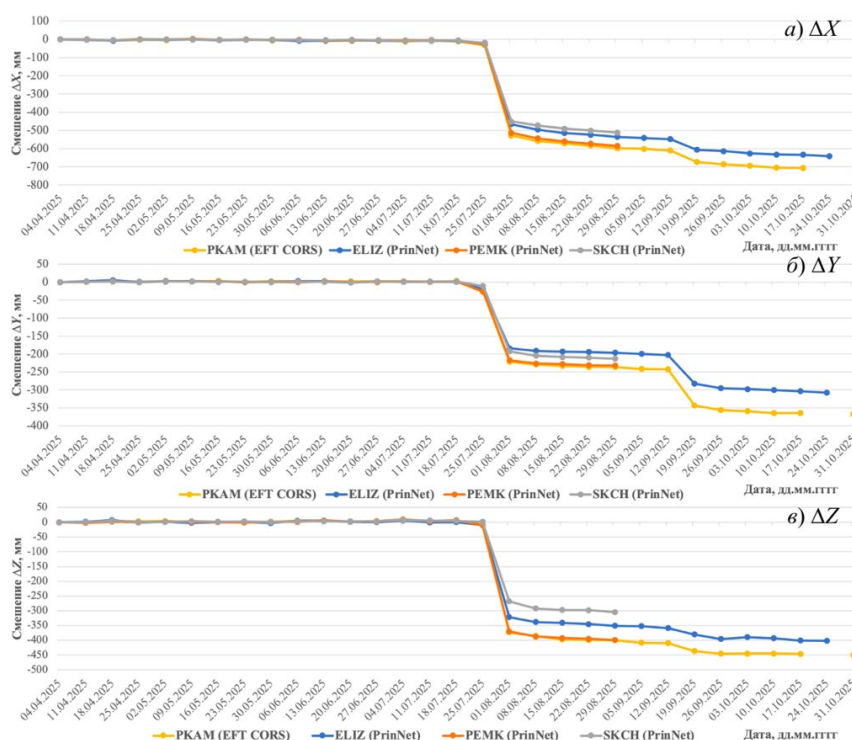


Рис. 2. Графики смещений координат пунктов ДГС на Камчатке с 4 апреля по 31 октября 2025: а) ΔX , б) ΔY , в) ΔZ

По суточным файлам измерений в период с 23 июля по 6 августа были получены изменения координат пунктов в разные периоды, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение координат в момент основного землетрясения 30.07.2025

Станция (Сеть)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ΔE , м	ΔN , м	ΔU , м
Изменение координат с 23 по 29.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,004	-0,004	0,001	0,005	-0,002	0,002
PKAM (EFT CORS)	-0,005	-0,002	-0,002	0,004	-0,004	0,001
Изменение координат с 29 по 30.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,421	-0,141	-0,194	0,286	-0,389	0,048
PKAM (EFT CORS)	-0,470	-0,175	-0,202	0,335	-0,420	0,063
Изменение координат с 30 по 31.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,006	-0,020	-0,116	0,021	-0,068	-0,094
PKAM (EFT CORS)	-0,010	-0,017	-0,160	0,020	-0,098	-0,126
Изменение координат с 31.07 по 06.08.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,036	-0,005	-0,014	0,018	-0,034	0,008
PKAM (EFT CORS)	-0,033	-0,008	-0,017	0,019	-0,033	0,003
Изменение координат общее с 23.07 по 06.08.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,468	-0,169	-0,324	0,328	-0,493	-0,035
PKAM (EFT CORS)	-0,518	-0,202	-0,381	0,377	-0,556	-0,059

По полученным результатам выявлены резкие скачки координат в момент землетрясения, в среднем составляющие 0,3 м по восточной и 0,4 м по северной компоненте. Выявлено поднятие пунктов в момент землетрясения около 0,05 м, но основные смещения по высоте пришлось на следующий день после землетрясения, опускания достигали 0,12 м.

Для более подробной оценки изменения координат семимесячный период с апреля по октябрь 2025 года был разделен на этапы согласно сейсмической активности, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение координат в период с 4 апреля по 31 октября 2025 года

Станция (Сеть)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ΔE , м	ΔN , м	ΔU , м
Изменение координат с 04.04 по 25.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,026	-0,020	-0,009	0,028	-0,019	0,003
PEMK (PrinNet)	-0,027	-0,026	-0,009	0,034	-0,018	0,002
SKCH (PrinNet)	-0,018	-0,010	0,002	0,017	-0,009	0,009
PKAM (EFT CORS)	-0,031	-0,027	-0,009	0,037	-0,021	0,004
Изменение координат по причине землетрясения с 25.07 по 01.08.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,441	-0,165	-0,313	0,316	-0,467	-0,041
PEMK (PrinNet)	-0,487	-0,191	-0,361	0,356	-0,524	-0,058
SKCH (PrinNet)	-0,433	-0,182	-0,269	0,333	-0,427	-0,016
PKAM (EFT CORS)	-0,497	-0,195	-0,363	0,363	-0,532	-0,055

Продолжение табл. 2

Станция (Сеть)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ΔE , м	ΔN , м	ΔU , м
Изменение координат с 01.08 по 12.09.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,082	-0,019	-0,037	0,047	-0,078	0,012
PEMK (PrinNet)	-0,072	-0,014	-0,029	0,039	-0,066	0,014
SKCH (PrinNet)	-0,061	-0,021	-0,037	0,042	-0,061	0,000
PKAM (EFT CORS)	-0,082	-0,021	-0,037	0,050	-0,077	0,012
Изменение координат по причине афтершоков с 12.09 по 19.09.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,057	-0,080	-0,022	0,096	-0,032	-0,003
PKAM (EFT CORS)	-0,063	-0,100	-0,027	0,116	-0,034	-0,008
Изменение координат с 19.09 по 31.10.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,035	-0,024	-0,022	0,036	-0,032	-0,003
PKAM (EFT CORS)	-0,046	-0,024	-0,013	0,039	-0,036	0,010
Смещения за весь период с 04.04 по 30.10.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,642	-0,307	-0,402	0,522	-0,628	-0,032
PEMK (PrinNet)	-0,586	-0,232	-0,399	0,430	-0,608	-0,042
SKCH (PrinNet)	-0,512	-0,213	-0,305	0,391	-0,497	-0,008
PKAM (EFT CORS)	-0,721	-0,367	-0,450	0,605	-0,700	-0,037

После афтершоков 13 и 19 сентября 2025 года, магнитуда которых доходила до 7,8, координаты в плане изменились до 0,1 м. Общая величина изменения плановых координат за весь период наблюдения составила около 0,9 м, в момент землетрясения 30 июля изменение плановых координат составило примерно 60 % данной величины, остальное смещение распределено между сентябрьскими афтершоками и периодами постсейсмической деформации земной коры.

Заключение

Результаты проведенного исследования на полуострове Камчатка свидетельствуют о том, что сейсмическая активность в наблюдаемый период привела к изменению координатной основы. Установлено, что суммарный вектор смещения пунктов за семь месяцев составил около 0,9 м, что существенно снижает точность координат станций в данном регионе.

Интенсивность постсейсмических смещений координат и последующих афтершоков подтверждает нестабильность земной коры в течение длительного времени после основного толчка. В создавшихся условиях рекомендуется переход на динамические или полудинамические системы координат, включающие модель движения земной коры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Константиновская, Е. А. Тектоника восточных окраин Азии: структурное развитие и геодинамическое моделирование / Е. А. Константиновская // Труды Геологического института. – 2003. – № 549. – С. 1-224. – EDN YLMSUX.
2. Закупин, А. С. Прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине в режиме реального времени. Результаты мониторинга в 2023–2025 гг. и их оценка в связи с мегаземлетрясе-

нием на Камчатке 30.07.2025, М 8.8 / А. С. Закупин // Геосистемы переходных зон. – 2025. – Т. 9, № 3. – С. 256–264. – DOI 10.30730/gtr.2025.9.3.256-264. – EDN EAAZGL.

3. Сильное землетрясение у побережья п-ова Камчатка НИИ "АЭРОКОСМОС". – [Электронный ресурс] // http://www.aerocosmos.info/news/detail.php?ELEMENT_ID=7204 (дата обращения: 10.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.

4. Федеральная RTK-сеть базовых станций PRINNET. – [Электронный ресурс] // https://prin.ru/seti_referencyh_stancij/ : [сайт]. – URL: <https://lk.prinnet.ru/login> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.

5. Федеральная сеть базовых станций. – [Электронный ресурс] // <https://eft-cors.ru/?ysclid=lp40ybon7f38282953> : [сайт]. – URL: <https://bp.eft-cors.ru/basestations> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.

6. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP). – [Электронный ресурс] // <https://www.canada.ca/en.html> : [сайт]. – URL: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

© В. А. Петручок, 2026

В. А. Петручок¹✉

Определение изменения скоростей движения земной коры на о. Сахалин после землетрясения 30.07.2025 по результатам ГНСС-наблюдений

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: vladenbob@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается характер изменения скорости движения земной коры на острове Сахалин после землетрясения 30 июля 2025 года магнитудой 8,8, эпицентр которого располагался вблизи полуострова Камчатка. Были проанализированы данные наблюдений 17 дифференциальных геодезических станций (ДГС) сетей EFT CORS и PrinNet за 7 месяцев. Весь период наблюдений разделен на две части: до землетрясения (4 месяца) и после него (3 месяца). В результате исследования выявлена резкая смена направления движения пунктов и значений их скоростей. До землетрясения земная кора острова поднималась со скоростью до 41,1 мм/год, после началось ее опускание со скоростью -67,3 мм/год, сохранявшееся в последующие 3 месяца наблюдений. Полученные результаты подтверждают изменения направления и величин скоростей смещения геодезических пунктов в сейсмоактивных регионах.

Ключевые слова: геодинамика, движение земной коры, дифференциальные геодезические станции, скорости смещений станций

V. A. Petruchok¹ ✉

Determination of the change in the velocities of the Earth's crust on Sakhalin Island after the earthquake of 30.07.2025 based on the results of GNSS observations

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: vladenbob@yandex.ru

Abstract. This article examines the nature of changes in the speed of movement of the earth's crust on Sakhalin Island after the earthquake of July 30, 2025 with a magnitude of 8.8, the epicenter of which was located near the Kamchatka Peninsula. The observation data of 17 differential geodetic stations (DGS) of the EFT CORS and PrinNet networks for 7 months were analyzed. The entire observation period is divided into two parts: before the earthquake (4 months) and after it (3 months). As a result of the study, a sharp change in the direction of movement of points and the values of their speeds was revealed. Before the earthquake, the island's crust was rising at a rate of up to 41.1 mm/year, after which it began to sink at a rate of -67.3 mm/year, which persisted for the next 3 months of observations. The results obtained confirm the changes in the direction and magnitude of the displacement rates of geodetic points in seismically active regions.

Keywords: geodynamics, motion of the Earth's crust, differential geodetic stations, station displacement velocities

Введение

Остров Сахалин находится на границе взаимодействия Амурской и Охотской литосферных плит, что является одной из причин активной геодинамики региона (рис. 1). В настоящее время для отслеживания движений земной коры региона эффективно использовать сети постоянно действующих базовых станций, они позволяют с субсантиметровой точностью фиксировать смещения земной коры в режиме реального времени.

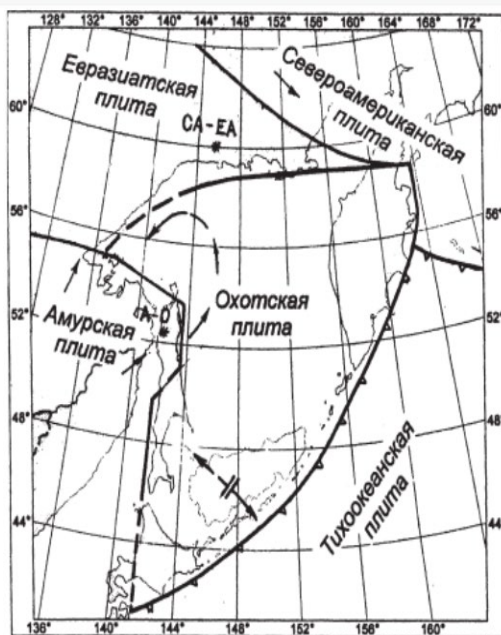


Рис. 1. Границы литосферных плит в районе о.Сахалин [1]

В настоящем исследовании произведен анализ изменения скоростей смещений земной коры на территории о.Сахалин с апреля по октябрь 2025 года. Произведена оценка изменения координат 17 пунктов ДГС сетей EFT CORS [2] и PrinNet [3]. Выявлено влияние сейсмического события 30 июля 2025 года на изменение вертикальных и горизонтальных составляющих скоростей.

Анализ влияния сейсмического события на результаты определения скоростей пунктов проводился путем сопоставления линейных трендов, полученных до землетрясения и после.

Данные и методы исследования

В данной статье рассматривается период 4 месяца до и 3 месяца после землетрясения 30 июля 2025 года магнитудой 8,8 у побережья полуострова Камчатка (рис. 2) [4], оценивается влияние сильного сейсмического события на земную поверхность о. Сахалин, расположенного на расстоянии около 1150 км от эпицентра.

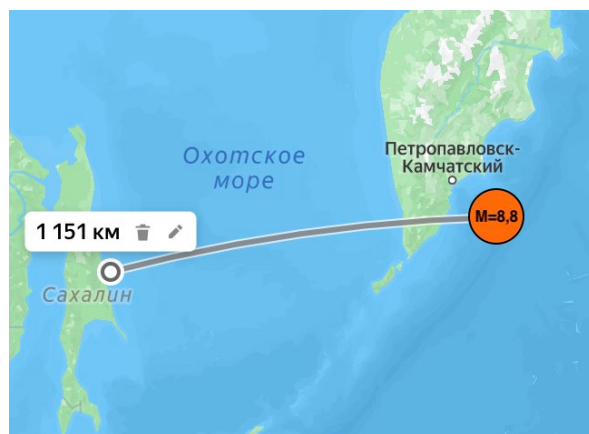


Рис. 2. Эпицентр землетрясения на Камчатке 30 июля 2025

Станции, которые использовались в исследовании, включены в состав крупных российских сетей EFT CORS и PrinNet, их расположение на территории о. Сахалин приведено на рисунке 3.

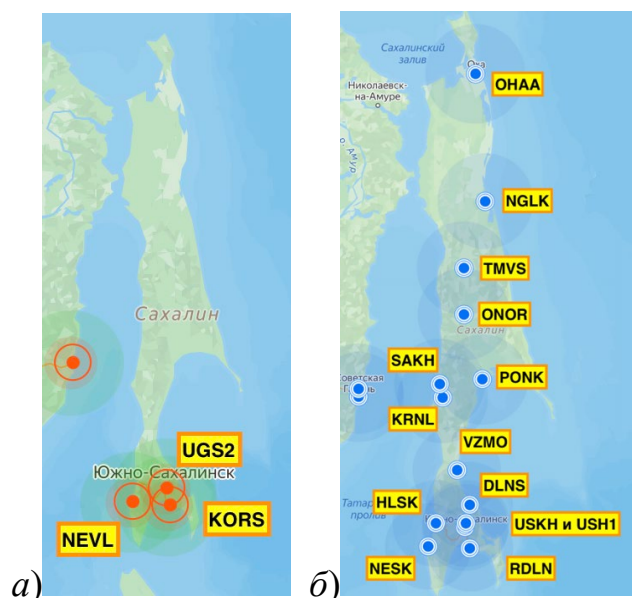


Рис. 3. Карта о. Сахалин а) расположение ДГС EFT-CORS;
б) расположение ДГС PrinNet

В исследовании проводился сбор суточных RINEX-файлов измерений на каждый седьмой день в период с 4 апреля по 31 октября 2025 года. Полученный массив измерений был разделен два набора данных:

- до землетрясения (с апреля по июль 2025 года, этот период характеризуется спокойным состоянием земной коры);
- после землетрясения (с августа по октябрь 2025 года).

Обработка данных проводилась в онлайн-сервисе CSRS-PPP [5].

Для каждого пункта по координатам (X, Y, Z) были построены линейные тренды. Скорость движения пункта определялась, как угол наклона аппроксимирующей прямой и переводилась в топоцентрические компоненты скоростей (V_E, V_N, V_U) по формулам

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cos L & \cos B \cos L \\ \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_E \\ V_N \\ V_U \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\mathbf{R}$ – матрица преобразования топоцентрических координат в экваториальные;

$\mathbf{R}^T$ – транспонированная матрица поворота;

V_X, V_Y, V_Z – компоненты вектора скорости движения точки, мм/год.

Такой подход позволяет наглядно оценить и сравнить движение земной коры до и после землетрясения.

Результаты исследования

В результате математической обработки были получены топоцентрические компоненты смещения двух периодов измерений (до и после землетрясения), результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Смещение ДГС для двух периодов наблюдений

Станция (Сеть)	Смещения станций до землетрясения (с 4 апреля по 25 июля 2025 года)			Смещение станций после землетрясения (с 1 августа по 31 октября 2025 года)		
	V_E , мм/год	V_N , мм/год	V_U , мм/год	V_E , мм/год	V_N , мм/год	V_U , мм/год
DLNS (PrinNet)	48,4	-26,8	32,5	-22,3	20,6	-24,5
HLSK (PrinNet)	15,1	-17,8	8,3	2,5	-5,3	0,6
KRNL (PrinNet)	-1,2	20,1	8,4	18,1	26,9	-57,0
NESK (PrinNet)	18,3	-20,3	19,2	7,1	-5,6	-67,3
NGLK (PrinNet)	27,3	-17,3	30,5	55,3	-14,6	-43,9
OHAA (PrinNet)	24,1	-22,4	31,6	55,0	-11,7	-56,4
ONOR (PrinNet)	10,3	-19,1	37,2	43,9	-10,3	-31,5
PONK (PrinNet)	14,4	-21,6	38,3	41,4	8,5	-46,9
RDLN (PrinNet)	13,7	-25,3	8,6	10,8	3,7	-44,3
SAKH (PrinNet)	27,4	-27,6	23,9	23,2	-3,0	-40,4
TMVS (PrinNet)	19,6	-11,2	34,4	27,0	-26,8	-9,4
USH1 (PrinNet)	22,6	-19,8	40,6	5,5	2,3	-56,0
USKH (PrinNet)	18,8	-15,8	23,1	9,8	2,3	-43,3
VZMO (PrinNet)	17,3	-20,6	34,2	20,6	4,3	-62,9
KORS (EFT CORS)	13,4	-14,8	24,7	-0,3	6,8	29,6
NEVL (EFT CORS)	4,4	6,5	-0,1	20,7	5,9	-54,4
UGS2 (EFT CORS)	24,9	-20,1	41,1	4,6	-1,2	-45,2

Для наглядного представления результатов были построены карты с векторами смещений ДГС для двух периодов наблюдений: до и после землетрясения (рис. 4).

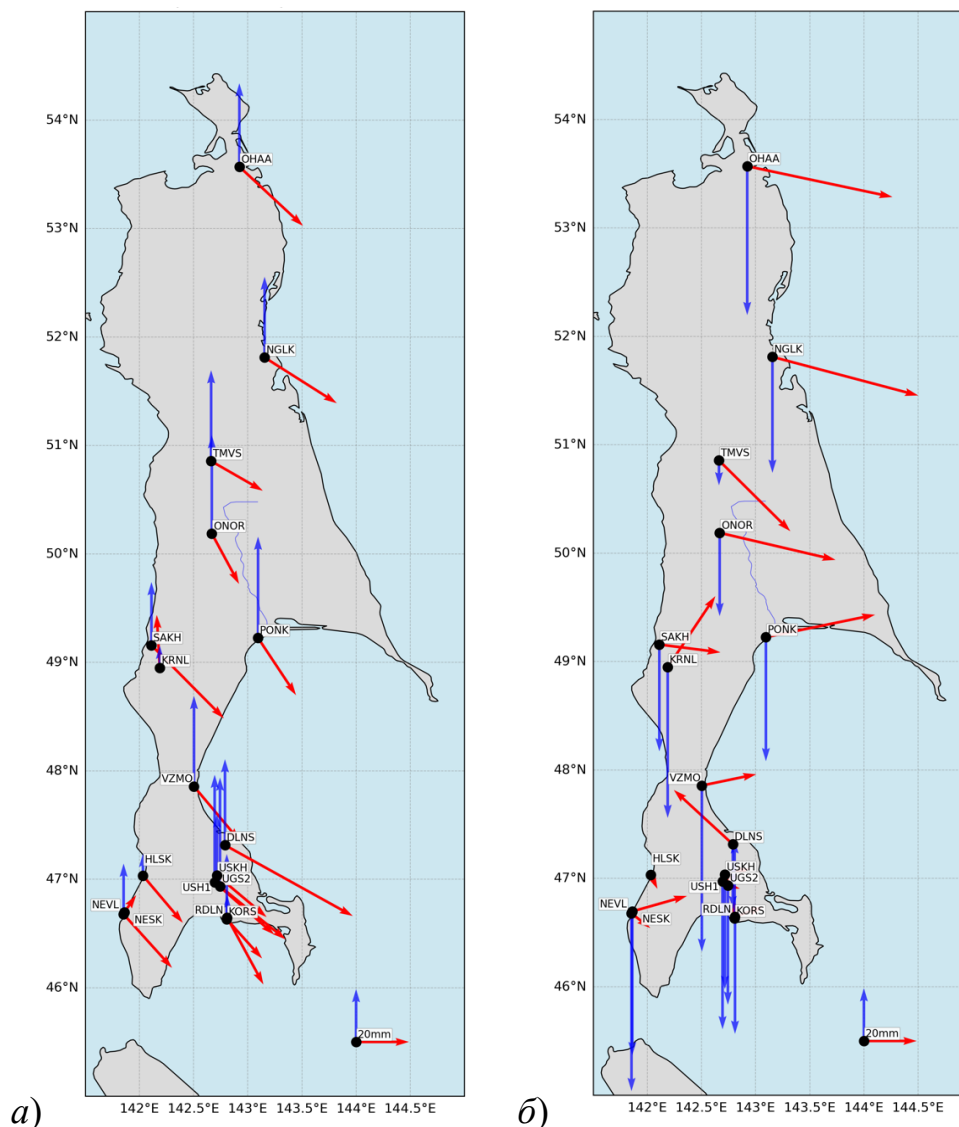


Рис. 4. Векторы смещений ДГС о.Сахалин для двух периодов: *а)* до землетрясения с апреля по июль; *б)* после землетрясения с августа по октябрь

В период с апреля по июль 2025 года смещения станций достаточно стабильны и имеют схожее направление (рис. 4*а*). Векторы горизонтальных компонент смещений преимущественно направлены на юго-восток и составляют около 30 мм/год. В то же время вертикальная составляющая указывает на поднятие земной поверхности от 8 до 41,1 мм/год (табл. 1).

В период после сейсмического события выявлено резкое изменение направления векторов смещения станций (рис. 4*б*). Зафиксирована смена направления вертикальных движений земной коры острова с поднятия на опускание. Максимальные значения вертикальных смещений зафиксированы на пунктах NESK (-

67,3 мм/год) и VZМО (-62,9 мм/год). Пункты, расположенные в северной и центральной частях острова в период после землетрясения испытывают горизонтальные смещения преимущественно восточной направленности, скорости смещений составляют от 18,1 до 55,3 мм/год. При этом на юге острова наблюдается замедление горизонтальных движений земной коры до значений около 5 мм/год. У пунктов, расположенных в этой части, после землетрясения изменилось направление горизонтальных движений. Векторы смещений в южной части острова до землетрясения имели согласованный характер, а после стали хаотичными.

Заключение

В результате проведенного исследования зафиксирована резкая смена характера движения земной коры на о. Сахалин с апреля по октябрь 2025 года. В течение семи месяцев характер деформаций региона изменился со стабильного поднятия (с апреля по июль) до интенсивного оседания (с августа по октябрь). Вертикальные смещения изменились в среднем на 60 мм/год в короткий промежуток времени.

В горизонтальной составляющей смещений выявлена неоднородность деформаций, выраженная в разнонаправленности векторов в южной, центральной и северной частях острова, что указывает на сложную блочную структуру острова. Если в северной части острова горизонтальные смещения пунктов достигают до 55,3 мм/год, то в южной части смещения снижаются до уровня 5 мм/год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Злобин, Т. К. Охотская литосферная плита и модель эволюции системы "окраинное море - островная дуга - глубоководный желоб" / Т. К. Злобин // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2006. – № 1(125). – С. 26–32. – EDN HZDLXF.
2. Федеральная сеть базовых станций. – [Электронный ресурс] // <https://eft-cors.ru/?ysclid=lp40ybon7f38282953> : [сайт]. – URL: <https://bp.eft-cors.ru/basestations> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.
3. Федеральная RTK-сеть базовых станций PRINNET. – [Электронный ресурс] // https://prin.ru/seti_referencyh_stancij/ : [сайт]. – URL: <https://lk.prinnet.ru/login> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.
4. Закупин, А. С. Прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине в режиме реального времени. Результаты мониторинга в 2023–2025 гг. и их оценка в связи с мегаземлетрясением на Камчатке 30.07.2025, М 8.8 / А. С. Закупин // Геосистемы переходных зон. – 2025. – Т. 9, № 3. – С. 256–264. – DOI 10.30730/gtrz.2025.9.3.256-264. – EDN EAAZGL.
5. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP). – [Электронный ресурс] // <https://www.canada.ca/en.html> : [сайт]. – URL: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

© В. А. Петручок, 2026

Г. В. Сутурин¹✉

Автоматизированный выбор метода интерполяции пространственных данных на основе перекрестной проверки

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: grigroijsuturin@gmail.com

Аннотация. Разработан алгоритм автоматического выбора метода пространственной интерполяции для построения цифровых моделей поверхности по неравномерным измерениям на основе пятикратной перекрестной проверки. Программа автоматически выбирает последовательность интерполяционных алгоритмов и методов сглаживания по значениям средних погрешностей. Перекрестная проверка не является обязательным этапом построения модели поверхности, а используется как инструмент независимого контроля точности. Испытания на синтетической модели чаши водохранилища со сложным извилистым руслом показали преимущество кубического сплайна. При минимальной погрешности общего объема (0,04 %) локальные ошибки высотных отметок в русловой части достигают 1,21 м из-за компенсации разнознаковых отклонений. Для гауссовой модели вариограммы зафиксирована численная неустойчивость вычислений. Разработанный алгоритм может применяться для различных типов пространственных данных и обработки произвольных пространственных выборок.

Ключевые слова: пространственная интерполяция, перекрестная проверка, кригинг, цифровая модель рельефа, вариограмма, синтетическая модель, водохранилище, среднеквадратическая ошибка

G. V. Suturin¹✉

Automated selection of spatial data interpolation method based on cross-validation

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: grigroijsuturin@gmail.com

Abstract. An algorithm for the automated selection of a spatial interpolation method has been developed for constructing digital surface models from non-uniform measurements based on five-fold cross-validation. The software automatically selects interpolation algorithms and smoothing methods based on mean error values. Cross-validation serves as a tool for independent accuracy control. Tests on a synthetic reservoir model with a complex, winding channel demonstrated the superiority of the cubic spline. Despite a minimal overall volume calculation error (0,04 %), local elevation errors in the channel reach 1,21 m due to the cancellation of multi-directional deviations. Numerical instability was observed for the Gaussian variogram model. The algorithm is applicable to various types of spatial data and arbitrary datasets.

Keywords: spatial interpolation, cross-validation, kriging, digital elevation model, variogram, synthetic model, reservoir, root mean square error

Введение

Переход от нерегулярных пространственных измерений (точечных геодезических пикетов и глубин) к регулярной цифровой модели рельефа фундаментален для геодезии [1-3], гидрографии, горного дела, почвоведения [4] и геофизики [5, 6]. Современное программное обеспечение предлагает широкий спектр детерминированных и геостатистических алгоритмов, классифицируемых по условиям, режимам и виду интерполятора [7]. Однако на практике выбор метода часто субъективен и опирается на настройки по умолчанию, что может искажать расчетные характеристики поверхностей на 3–7 % и более [4]. При этом простое уменьшение шага расчетной сетки не компенсирует методологические ошибки – определяющим фактором остаются качество и плотность исходных данных [8]. В связи с этим автоматизация построения регулярных сеток крайне актуальна [1].

Цель работы – разработка алгоритма автоматического выбора оптимального метода интерполяции на основе статистических критериев. В отличие от традиционных подходов, где параметры вариограммы адаптируются внутри блоков валидации, здесь каждая модификация кригинга рассматривается как независимый интерполятор, что исключает смещение оценок при подгонке модели.

Синтетическая модель рельефа

Для контролируемого эксперимента разработана аналитическая модель чаши водохранилища (500×500 м), позволяющая вычислять истинные ошибки интерполяции в любой точке. Она аналитически воспроизводит речную долину с продольным уклоном, параболическим профилем, меандрирующим руслом, холмами и зоной заиления. Эллиптическая геометрия модели задает выраженную пространственную анизотропию. Максимальная глубина составляет 49,6 м при отметке нормального подпорного уровня 80,6 м.

Из модели извлечена неравномерная выборка из 600 точек: 50 % распределены по спиральным галсам эхолота, 50 % – случайно. Высотный вектор искажен случайным белым шумом со среднеквадратическим отклонением 0,03 м.

Методы интерполяции

Реализованы восемь методов, охватывающих основные классы интерполяционных алгоритмов: детерминированные – линейный, ближайшего соседа, кубический сплайн; геостатистические – обычный кригинг со сферической, экспоненциальной, гауссовой и линейной моделями вариограммы. Методы интерполяции V класса по классификации [7], к которым относится кригинг, используют вариограмму в качестве меры пространственной изменчивости. Выбор модели вариограммы является критически важным этапом геостатистического моделирования [5].

Программная реализация детерминированных алгоритмов выполнена на языке Python с использованием математических модулей библиотеки SciPy [9]. Логика построения вычислительных блоков ядра опирается на принципы создания независимых расчетных модулей с открытым исходным кодом [10].

При реализации геостатистического моделирования в качестве базовой использовалась сферическая модель полувариации $\gamma(h)$, описываемая уравнением:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right), & \text{при } h \leq a, \\ C_0 + C, & \text{при } h > a \end{cases}, \quad (1)$$

где C_0 – эффект самородков, C – структурная составляющая, a – радиус влияния, h – расстояние между точками. Параметры модели оценивались непосредственно по экспериментальным данным без привлечения априорной информации.

Перед интерполяцией выполняется оценка пространственной анизотропии по ковариационной матрице координат точек: вычисляются главные направления вариабельности и коэффициент вытянутости, которые передаются в модель кригинга. Учет анизотропии особенно важен для территорий с выраженной пространственной неоднородностью и мозаичной блочной структурой [11].

Процедура перекрестной проверки и верификации

Для сравнения методов применяется 5-кратная перекрестная проверка со случайным перемешиванием. Данные были разделены на обучающую (80 %) и проверочную (20 %) выборки. В качестве метрик точности интерполяции использовались среднеквадратическая ошибка (СКО), вычисляемая по формуле:

$$\text{СКО} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{\text{инт}}^{(i)} - Z_{\text{ист}}^{(i)})^2}, \quad (2)$$

и средняя абсолютная ошибка (MAE):

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_{\text{инт}}^{(i)} - Z_{\text{ист}}^{(i)}|. \quad (3)$$

Поскольку универсального метода интерполяции для любых типов поверхностей не существует [7], каждая модификация оценивается как самостоятельный метод без подгонки параметров внутри блоков проверки. Такой подход согласуется с практикой применения перекрестной проверки для выбора лучшего ГИС-интерполятора среди детерминированных альтернатив [4], а также для верификации геостатистических моделей [5].

Для демонстрации практического применения алгоритма выполнен расчет объемов водохранилища. Полный ($V_{\text{полн}}$) и мертвый ($V_{\text{мертв}}$) объемы определялись относительно горизонтальных плоскостей нормального подпорного уровня (НПУ = 80,6 м) и уровня мертвого объема (УМО = 65,6 м) по формуле:

$$V = \sum_{i=1}^n (H - Z_i) \cdot \Delta s, \quad (4)$$

где H – отметка граничной плоскости (НПУ или УМО соответственно), Z_i – расчетная отметка дна в i -м узле регулярной сетки, Δs – площадь элементарной ячейки, а n – количество ячеек, попавших в контур затопления.

Полезный объем определяется как разность полного и мертвого объемов.

Для независимого контроля качества используются пять контрольных точек, соответствующих характерным элементам рельефа: глубоководная зона, донный водовыпуск, буй мониторинга, два береговых створа. Эти точки не участвуют в обучении моделей.

Обсуждение результатов и ограничения метода

Результаты перекрестной проверки приведены в таблице 1. Кубический сплайн показал наилучшие метрики среди всех методов. Из моделей кригинга лучшей оказалась сферическая вариограмма. Гауссова модель продемонстрировала численную неустойчивость – ее ошибки на несколько порядков превысили ошибки остальных методов. Аналогичный эффект отмечается в работе [5], где сферическая модель была признана наиболее устойчивой для интерполяции гравиметрических аномалий.

Таблица 1 – Результаты перекрестной проверки методов интерполяции

Метод	СКО, м	САО, м
Кубический сплайн	0,38	0,19
Сферический кригинг	0,51	0,30
Экспоненциальный кригинг	0,56	0,31
Линейная интерполяция	0,74	0,45
Метод ближайшего соседа	3,22	2,07
Линейный кригинг	3,29	2,49
Гауссов кригинг	*	*

Примечание: гауссова модель продемонстрировала численную неустойчивость (расходимость матрицы весов), СКО превысило $2,9 \cdot 10^3$ м, САО – $2,3 \cdot 10^3$ м.

По выбранному методу построена регулярная сетка из 120×120 узлов с шагом 4,20 м. Перенос данных с нерегулярного массива на регулярную сетку – важнейший этап их подготовки к последующему анализу [6]. Согласно расчетам, относительная ошибка определения суммарного объема чаши водохранилища не

превысила 0,04 %, а баланс полезной и мертвой емкостей сведен с точностью до десятых долей кубического метра.

Таблица 2 – Сравнение расчетных и истинных объемов водохранилища

Параметр	Расчет, тыс. м ³	Истина, тыс. м ³	Ошибка, %
Полный объем	1 943,4	1 943,4	0,001
Полезный объем	808,7	809,0	0,038
Мертвый объем	1 134,7	1 134,4	0,028

Результаты верификации в контрольных точках представлены в таблице 3. Локальные ошибки оказались существенно выше метрик перекрестной проверки: средняя ошибка $\pm 0,73$ м, максимальная $\pm 1,21$ м.

Таблица 3 – Ошибки интерполяции в контрольных точках

Створ	Истинная отметка, м	Расчетная отметка, м	Ошибка, м	Глубина, м
Глубоководный	41,58	42,65	1,07	42,6
Донный водовыпуск	32,38	31,96	0,42	46,5
Буй мониторинга	31,00	30,78	0,22	49,6
Береговой створ №1	89,45	90,18	0,73	18,8
Береговой створ №2	97,93	99,15	1,21	22,1

Сопоставление показателей перекрестной проверки и контрольных створов выявило расхождение погрешностей в 3-4 раза. Средняя составила 0,19 м против 0,73 м, а максимальная – 0,38 м против 1,21 м. Это связано со случайным разбиением геоданных, при котором обучающая и проверочная выборки оказываются близкими, что занижает оценку ошибок. Похожая проблема исследована в работе [4], где рекомендовано учитывать дополнительную топографическую информацию. Кроме того, независимые створы умышленно закладывались на перегибах рельефа с максимальными градиентами глубин.

Контраст между относительной ошибкой объема ($\sim 0,04$ %) и локальными погрешностями (до 1,21 м) объясняется тем, что разнознаковые отклонения ком-

пенсироваться при интегрировании. Такое сглаживание невязок при интегрировании известно в задачах расчета объемов [1, 3]. При этом выбор неверной модели вариограммы может привести к расходимости вычислений. Так, сильный рост погрешностей гауссова кригинга указал на численную неустойчивость весовых матриц. Данная модель требует бесконечно дифференцируемых полей, тогда как реальный ломаный рельеф дна с бровками русла этим свойством не обладает [7]. Этот результат совпадает с выводами работы [5] в пользу сферической модели.

Испытания выявили несколько ограничений алгоритма. Помимо смещенности случайной проверки из-за близости точек, сказывается отсутствие жестких граничных условий. Игнорирование береговой линии и бровок ведет к искусственному сглаживанию изломов дна, поэтому ошибки концентрируются в зонах резких уклонов [4]. Дополнительную погрешность вносит предположение о стационарной анизотропии: единый эллипс поиска не учитывает извилистость русла в пространстве. Для повышения точности нужен переход к локально-анизотропным моделям. Это подтверждается преимуществом байесовского кригинга в работе [5]. Наконец, перенос данных на регулярную сетку требует подбора параметров сглаживания [6], иначе на разреженной периферии возникает неконтролируемая экстраполяция. Перечисленные ограничения будут учтены при дальнейшей доработке вычислительного модуля.

Заключение

В рамках работы выполнено тестирование восьми методов интерполяции. В разработанном алгоритме каждый вариант кригинга оценивался отдельно, без подгонки вариограммы внутри проверочных блоков. При расчете на синтетической модели чаши водохранилища лучшие результаты показал кубический сплайн с СКО 0,38 м. Для сравнения, сферический кригинг выдал СКО 0,51 м. Гауссова модель привела к численной неустойчивости весовых матриц, что совпадает с результатами прошлых исследований [5, 7].

При анализе данных обнаружено расхождение между интегральной оценкой объема и локальными ошибками рельефа. Относительная погрешность общего объема чаши составила всего 0,04 %. Однако в контрольных створах локальные отклонения отметок дна доходят до 1,21 м. Полученные результаты показывают, что одних интегральных метрик недостаточно для оценки качества модели. Так происходит из-за того, что положительные и отрицательные невязки компенсируют друг друга при суммировании по площади. Обычная перекрестная проверка со случайным разбиением также дает искаженную картину. Из-за близкого расположения точек она занижает реальные ошибки моделирования в 3-4 раза по сравнению с независимой верификацией на перегибах рельефа.

Разработанный модуль можно использовать для разных типов пространственных данных. Он подходит для обработки изыскательских материалов в геодезии, маркшейдерии, гидрографии или горном деле. В дальнейшем планируется доработать алгоритм: перейти на пространственную блочную перекрестную проверку, добавить учет тренда для универсального кригинга [4, 5] и автоматизиро-

вать расчет вариограмм. Также нужно внедрить сглаживание [6] и добавить построение карт погрешностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорогова И. Е., Сутурин Г. В. Разработка программного обеспечения для билинейной интерполяции на основе цифровой модели движений земной коры // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 1. – С. 158–164. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-158-164.
2. Дорогова И. Е., Демидов К. А. Разработка программной модели движений блоков земной коры для территории Российской Федерации // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: сборник материалов VII Национальной научно-практической конференции. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. – Ч. 3. – С. 192–198. – DOI 10.33764/2687-041X-2024-3-192-198.
3. Дорогова И. Е., Духовников К. С. Разработка геодинамического программного модуля для оценивания деформаций земной коры по результатам геодезических измерений // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 6. – С. 15–27. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-15-27.
4. Мыслыва Т. Н., Куцаева О. А., Подлесный А. А. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 146–152.
5. Kenesbayeva A., Kuldeev E. I., Shalenov E. O., Nurpeissova T. B. Application of the kriging method for gravity data interpolation // Горный журнал Казахстана. – 2025. – № 6. – С. 61–66.
6. Нейман Ю. М., Сугаипова Л. С. О создании регулярной сетки по результатам спутниковой градиентометрии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 2. – С. 8–13.
7. Абакушина М. В. Анализ методов интерполяции нерегулярно заданных высот квази-геоида // 70-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК: сборник тезисов. – М.: МИИГАиК, 2015. – С. 76–81.
8. Свизов Е. М., Ветров А. Л. Численное моделирование сильных летних осадков при различных вариантах шага регулярной сетки // Географический вестник. – 2021. – № 4 (59). – С. 73–83. – DOI 10.17072/2079-7877-2021-4-73-83.
9. Библиотека SciPy для Python // SciPy official site [сайт]. – 2026 – URL: scipy.org (дата обращения: 04.05.2026). – Режим доступа: общ. доступ. – Текст: электронный.
10. Дорогова И. Е., Духовников К. С. Программное обеспечение, сервисы и открытый код для решения задач геодинамики // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 1. – С. 138–145. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-138-145.
11. Махмудов М. Д., Фазилова Д. Ш. Построение регулярного поля скоростей Ташкентского региона на основе интерполяции данных ГНСС пунктов // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф. – М.: Географический факультет МГУ, 2023. – Т. 29. – Ч. 1. – С. 535–545. – DOI 10.35595/2414-9179-2023-1-29-535-545.

© Г. В. Сутурин, 2026

А. И. Игонин¹✉

Создание каталога современных картографических продуктов и оценка пользовательских потребностей: от требований к сервисам

¹ППК «Роскадастр», г. Москва, Российская Федерация
e-mail: IgoninAI@kadastr.ru

Аннотация. В условиях цифровизации экономики и государственного управления возрастает роль пространственных данных. В статье рассматриваются результаты разработки Концепции создания геоинформационных продуктов и услуг на основе Единой электронной картографической основы (ЕЭКО). Представлены итоги масштабного анкетирования потребителей картографической продукции в Российской Федерации, выявлены основные недостатки существующих ресурсов и приоритетные направления развития. Проанализирован международный опыт формирования каталогов картографической продукции (США, Великобритания, Франция, Германия) и определены ключевые тренды перехода от статичных карт к цифровым моделям территорий. Сформулированы цели и задачи создания Каталога картографической продукции на 2026 год, включая спецификации продуктов, требования к данным, паспорт продукта и описание сервисов доступа. Результаты работы направлены на формирование экосистемы универсальных наборов пространственных данных и геоинформационных сервисов для органов власти, бизнеса и граждан.

Ключевые слова: Единая электронная картографическая основа (ЕЭКО), каталог картографической продукции, пространственные данные, геоинформационные сервисы, цифровая картография, потребности пользователей, международный опыт

A. I. Igonin¹✉

Creation of a catalog of modern cartographic products and assessment of user needs: from requirements to services

¹Roskadastr Public Law Company, Moscow, Russian Federation
e-mail: IgoninAI@kadastr.ru

Abstract. In the context of digitalization of the economy and public administration, the role of spatial data is increasing. The article discusses the results of the development of the Concept for the creation of geoinformation products and services based on the Unified Electronic Cartographic Framework (UECF). The results of a large-scale survey of consumers of cartographic products in the Russian Federation are presented, the main shortcomings of existing resources and priority directions of development are identified. The international experience in forming catalogs of cartographic products (USA, Great Britain, France, Germany) is analyzed, and key trends in the transition from static maps to digital models of territories are determined. The goals and objectives of creating the Catalog of Cartographic Products for 2026 are formulated, including product specifications, data requirements, product passport and description of access services. The results of the work are aimed at forming an ecosystem of universal spatial data sets and geoinformation services for government authorities, business and citizens.

Keywords: Unified Electronic Cartographic Framework (UECF), catalog of cartographic products, spatial data, geoinformation services, digital cartography, user needs, international experience

Введение

В условиях цифровизации экономики и государственного управления существенно возрастает роль пространственных данных и геоинформационных технологий. Современные управленческие, инфраструктурные, экологические и социально-экономические задачи требуют использования актуальной, достоверной и масштабируемой картографической информации. В этой связи особое значение приобретает развитие Единой электронной картографической основы (ЕЭКО) как базового государственного геоинформационного ресурса [1].

Концепция создания геоинформационных продуктов и услуг, в том числе на основе данных ЕЭКО (далее – Концепция), разработанная ППК «Роскадастр», направлена на формирование системного подхода к созданию и развитию цифровой картографической продукции, геоинформационных сервисов и прикладных решений. Концепция определяет цели, задачи, приоритетные направления и механизмы трансформации ЕЭКО из статичного картографического ресурса в динамичную цифровую платформу национального значения.

Методы и материалы

В рамках разработки Концепции был проведён масштабный социологический и отраслевой анализ спроса на цифровые картографические продукты и услуги. Методологической основой исследования выступили результаты анкетирования существующих и потенциальных потребителей, проведённое ППК «Роскадастр» в соответствии с Федеральным законом от 30.12.2015 № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных» [2].

Анкетирование охватило представителей различных регионов Российской Федерации. В исследовании приняли участие органы государственной власти, подведомственные учреждения, коммерческие организации и научно-образовательные организации. Карта распределения респондентов по регионам позволила обеспечить репрезентативность выборки и учесть территориальную специфику потребностей.

Для анализа международного опыта формирования каталогов картографической продукции были изучены практики ведущих национальных картографо-геодезических служб: Геологической службы США (USGS), Британской национальной геодезической службы (Ordnance Survey), Национального института географии и лесной информации Франции (IGN), Федерального агентства картографии и геодезии Германии (BKG) в рамках инфраструктуры пространственных данных GDI-DE. Анализ проводился по следующим критериям: стандарты метаданных (ISO 19115, DCAT) [3], форматы данных, сервисы доступа (WMS, WMTS, WFS, API), подходы к интеграции пространственных данных.

Результаты

Исследование показало, что основными потребителями геоинформационной продукции являются органы государственной власти и подведомственные

учреждения. При этом уровень обеспеченности специализированными ГИС-подразделениями и профильными кадрами остаётся низким. Выявлено, что значительная часть используемой картографической продукции характеризуется устаревшими данными, ограниченным покрытием территорий и недостаточным функционалом.

Пользователи отмечают высокую потребность в актуальных цифровых картах, ортофотопланах, моделях рельефа и 3D-моделях местности. Среди востребованных геоинформационных операций респонденты выделили: геокодирование и адресный поиск, построение буферных зон, маршрутизацию, пространственно-временной анализ (история изменений территории), а также мониторинг изменений.

Анализ международного опыта показал, что современные решения вышли за рамки простых перечней карт (рис. 1). Эффективный каталог представляет собой информационную систему, объединяющую четыре базовых элемента: каталог метаданных (ISO 19115), геопортал для визуального поиска, сервисы доступа по стандартам OGC (WMS/WMTS/WFS, API) и регламент ведения и обновления [4, 5].



Рис. 1. Международный опыт: общая модель и подходы стран

Выявлены различия в подходах стран:

- США (USGS) делают акцент на разделение стандартов продукта и картографических спецификаций [6];
- Великобритания (Ordnance Survey) задаёт жёсткие количественные допуски по качеству изображений (процент облачности, затенения, дефектов) [7];
- Франция (IGN) фокусируется на юридической значимости данных, семантике объектов и порогах отбора в зависимости от масштаба [8];
- Германия (BKG/GDI-DE) предлагает децентрализованную модель с единым каталогом Geodatenkatalog.de и интеграцией в стандарт INSPIRE [9].

Обсуждение

Ключевой проблемой, выявленной в ходе исследования, является несоответствие существующих государственных картографических ресурсов требованиям цифровой экономики. Это обуславливает необходимость перехода к новым форматам предоставления данных и сервисов. Центральным положением разработанной Концепции является смена парадигмы развития ЕЭКО – от создания отдельных картографических материалов к формированию универсальных наборов пространственных данных (НПД). Предлагается рассматривать ЕЭКО не только как картографическую основу, но как экосистему цифровых продуктов и сервисов, ориентированных на решение конкретных прикладных задач [11-14].

Концепция предусматривает развитие широкого набора геоинформационных сервисов на базе ЕЭКО. Сервисы геокодирования обеспечивают быстрый поиск объектов по названию или адресу, включая поддержку данных государственного каталога географических названий (ГКГН) и федеральную информационную адресную систему (ФИАС). Сервисы буферных зон используются для решения задач градостроительного проектирования, инженерных изысканий, экологической экспертизы и инвестиционного анализа. Маршрутизационные сервисы ориентированы на использование в экстренных службах, логистике и управлении транспортными потоками. Сервис «Машина времени» позволяет анализировать динамику изменений территории на основе карт и космических снимков за разные временные периоды.

Зарубежные каталоги учитывают не только готовые топографические карты, но и наборы пространственных данных, ортофотопланы, цифровые модели рельефа, облака точек LiDAR, 3D-модели зданий и инфраструктуры. Ключевой тренд на ближайшие годы – переход от привычных статичных 2D-карт к цифровым моделям территорий: векторным тайлам, динамически обновляемым слоям, цифровым двойникам и сервисам автоматического подключения данных.

Заключение

Опираясь на международный опыт и результаты проведенных исследований, на 2026 год планируется создание Каталога (альбома) картографической продукции, в том числе в рамках развития ЕЭКО 2.0. Данный каталог будет включать:

1. спецификации продуктов – детальное описание каждого вида картографической продукции, её состава, масштабов, точности и целевого назначения;
2. общие требования к созданию – единые правила по системам координат, форматам данных (GeoTIFF, GPKG, GeoJSON, 3D Tiles, LAS/LAZ), метаданным, качеству и периодичности обновления;
3. три основных раздела – текущая продукция (цифровые карты, ортофотопланы, базовые слои), перспективная продукция до 2030 года (LiDAR, 3D-модели, цифровые двойники, API) и производная тематическая продукция под прикладные задачи;
4. паспорт продукта – структурированные метаданные по стандартам ISO 19115 и DCAT;
5. описание сервисов доступа – как визуализации и скачивания, так и подключения через современные API и геосервисы (OGC WMS/WMTS/WFS).

Таким образом, Каталог станет не просто учётным документом, а рабочим инструментом для органов государственной власти, бизнеса и граждан, обеспечивающим переход от разрозненных картографических материалов к экосистеме универсальных наборов пространственных данных и геоинформационных сервисов, ориентированных на решение конкретных прикладных задач.

Реализация Концепции осуществляется в рамках действующего законодательства Российской Федерации, включая Федеральный закон № 431-ФЗ, стратегические документы пространственного развития и программы цифровой экономики. Отмечается необходимость дальнейшего совершенствования нормативно-технической базы, стандартизации процессов создания цифровой картографической продукции и регламентации выходных сведений.

Благодарности

Исследование выполняется в рамках НИР «Геокарта-2030», в соответствии с Федеральным проектом «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС» государственной программы Российской Федерации «Космическая деятельность России».

Автор выражает благодарность коллективу ППК «Роскадастр» за содействие в проведении исследования и за предоставленные материалы, а также всем респондентам, принявшим участие в анкетировании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ от 7 июня 2022 г. N 1040 «О федеральной государственной географической информационной системе «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных» (с изменениями и дополнениями).
2. Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – М.: Собрание законодательства РФ, 2016.
3. ISO 19115:2003. Geographic information – Metadata. – Geneva: ISO, 2003.
4. INSPIRE Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council. – Brussels: Official Journal of the European Union, 2007.
5. Ordnance Survey. OS MasterMap Topography Layer Technical Specification. – Southampton: Ordnance Survey, 2023.
6. USGS. The National Map – Standards and Specifications. – Reston: U.S. Geological Survey, 2023.
7. Open Geospatial Consortium. OGC API – Features – Part 1: Core. – Wayland: OGC, 2019.
8. IGN. Référentiel à Grande Échelle – Spécifications techniques. – Paris: Institut National de l'Information Géographique et Forestière, 2022.
9. BKG. Geodatenkatalog Deutschland – Nutzerhandbuch. – Frankfurt: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2023.
10. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: монография. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.
11. Лисицкий Д. В. Основные направления развития цифровой картографии и геоинформатики // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25. – № 2. – С. 112–128.
12. Цветков В. Я. Пространственные данные и геоинформационные сервисы // Геодезия и картография. – 2021. – № 3. – С. 45–53.
13. Журкин И. Г. Геоинформационные системы и технологии: учебник. – М.: КУРС, 2019. – 368 с.
14. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М.: Академический проект, 2018. – 320 с.

© А. И. Игонин, 2026

А. К. Канасов¹✉

Геоморфометрический анализ склонов лавиноопасных участков Восточно-Казахстанской области с помощью цифровых моделей

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: azamat040594@mail.ru

Аннотация. В статье исследуются особенности выполнения геоморфометрического анализа склонов лавиноопасных участков Восточно-Казахстанской области с использованием цифровых моделей рельефа. Рассмотрены методические аспекты формирования и обработки цифровых данных о земной поверхности, а также определения морфометрических характеристик склонов, оказывающих влияние на формирование лавинной опасности. В ходе исследования были созданы два типа геоморфологических карт: карты высот и морфометрические карты крутизны склонов. Основой для построения тематических карт послужили цифровые модели рельефа, сформированные по данным SRTM и лидарной съемки. Проведен комплексный анализ цифровых моделей рельефа, направленный на выявление склонов, их экспозиций и других параметров, имеющих ключевое значение при определении потенциальных зон схода снежных лавин. Установлено, что большинство лавиносборов приурочено к склонам с крутизной от 25° до 45°, однако также выявлены участки с уклонами в пределах 15–25°. Полученные результаты позволяют более точно определить границы и пространственное распространение лавиноопасных зон, повысить достоверность прогнозирования опасных природных процессов и усовершенствовать планирование профилактических мероприятий на исследуемой территории.

Ключевые слова: снежная лавина, цифровая модель, дистанционное зондирование

А. К. Kapasov¹✉

Geomorphometric analysis of slopes of avalanche-prone areas of East Kazakhstan region using digital terrain models

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: azamat040594@mail.ru

Abstract. The article examines the features of geomorphometric analysis of slopes in avalanche-prone areas of the East Kazakhstan region using digital elevation models. Methodological approaches to the creation and processing of digital surface data, as well as the identification of morphometric slope characteristics influencing avalanche hazard formation, are considered. During the study, two types of geomorphological maps were developed: elevation maps and morphometric slope steepness maps. The thematic maps were created on the basis of digital elevation models generated from SRTM data and LiDAR survey data. A comprehensive analysis of the digital elevation models was carried out to identify slopes, slope aspects, and other parameters that play a key role in determining potential avalanche release zones. The results showed that most avalanche catchment areas are located on slopes with inclinations ranging from 25° to 45°, although areas with slope angles between 15° and 25° were also identified. The obtained results make it possible to more accurately define the boundaries and spatial extent of avalanche-prone zones, improve the reliability of hazardous natural process forecasting, and optimize the planning of preventive measures within the study area.

Keywords: snow avalanche, digital model, remote sensing

Введение

В последние годы использование цифровых моделей рельефа и геоинформационных технологий для анализа лавинной опасности территорий стало важной составляющей исследований в области геоморфологии, природных опасностей и предупреждения чрезвычайных ситуаций. Восточно-Казахстанская область (ВКО) является территорией со сложными горными ландшафтами и высокой частотой схода снежных лавин. В настоящее время на территории ВКО выделено 497 лавиноопасных участков (рис. 1) [1].

Авторы работы [2] отмечают, что точность и пространственное разрешение цифровых моделей играют ключевую роль при оценке лавинной опасности. Для моделирования лавинных процессов наиболее эффективно используются цифровые модели высокого пространственного разрешения, полученные на основе аэрофотосъёмки или данных дистанционного зондирования Земли [3].

Современные достижения дистанционного зондирования открывают широкие возможности для создания высококачественных цифровых моделей рельефа. Лидарная съёмка (LiDAR), спутниковая радиолокационная съёмка и методы стереофотограмметрии позволяют детально отображать микрорельеф горных склонов [4]. Как отмечается в работах [4, 5], для более точного прогнозирования лавинных процессов необходимо интегрировать различные типы и качество данных полевых наблюдений с материалами дистанционного зондирования.

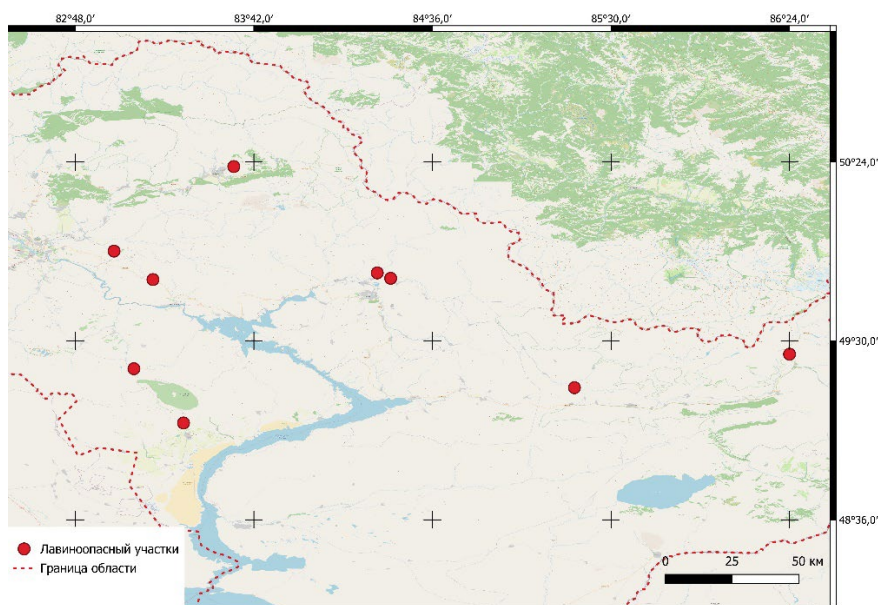


Рис. 1. Расположение лавиноопасных участков Восточного Казахстана

На основе цифровых моделей выполняется геоморфометрический анализ, позволяющий рассчитывать количественные показатели склонов и выявлять территории, наиболее подверженные лавинной опасности. К важнейшим геоморфометрическим характеристикам относятся крутизна склонов, экспозиция, кривизна поверхности и топографический индекс влажности [2]. В ряде исследова-

ний подтверждается наличие устойчивой взаимосвязи между этими характеристиками и частотой схода снежных лавин [6, 7, 8].

Методы и материалы

Для оценки рисков природных опасностей, разработки стратегии исследования лавиноопасных участков с учётом особенностей рельефа и планирования инфраструктуры был проведён геоморфологический анализ местности на основе геоморфологических карт. Геоморфологические карты представляют собой специализированные тематические карты, отображающие формы и особенности рельефа земной поверхности [9, 10].

Тематические карты были созданы на основе цифровой модели рельефа. В качестве основы для построения цифровых моделей были выбраны данные SRTM. SRTM представляет собой международный проект, направленный на создание высокоточной цифровой модели рельефа Земли с использованием радиолокационных данных дистанционного зондирования. В рамках данного проекта были собраны данные, позволившие создать глобальные цифровые модели рельефа для большей части земной поверхности (около 80 %) [11, 12].

На основе высокоточных цифровых моделей, созданных современными методами (аэрофотосъёмка, LiDAR, наземное лазерное сканирование), был выполнен геоморфологический анализ.

Съёмка проводилась с использованием беспилотной авиационной системы DJI Matrice 300 RTK и лидара Emesent Hovermap ST (рис. 2). Выполнение съёмки и создание цифровых 3D-моделей выбранных лавиносборов на территории Восточно-Казахстанской области осуществлялось в следующей последовательности (рис. 3).



Рис. 2. Беспилотный летательный аппарат DJI Matrice 300 RTK с лидаром Hovermap



Рис. 3. Последовательность выполнения исследований с использованием БПЛА и LiDAR

В качестве объектов исследования были выбраны лавиноопасные территории Восточно-Казахстанской области. Полевые работы проводились в районах горы Зубовская и реки Проходная.

Результаты и обсуждения

Технология LiDAR позволяет получать высокоточные трёхмерные данные о территории и объектах, а созданные на их основе цифровые модели широко применяются в картографии, строительстве, проектировании инженерных сооружений, геологии, землеустройстве и городской инфраструктуре. Построение цифровых моделей по материалам лидарной съёмки включает комплекс специализированных технологических и аналитических процессов, востребованных в различных сферах деятельности и обеспечивающих получение точных и интерактивных трёхмерных представлений территорий и объектов [13].

Использование беспилотных авиационных систем с лидарным оборудованием в горных районах имеет ряд эксплуатационных ограничений. Проведение съёмочных работ требует благоприятных метеорологических условий: отсутствия интенсивных осадков, тумана и сильного ветра (обычно более 8–10 м/с), поскольку данные факторы могут снижать качество лазерного сканирования и устойчивость полета БАС. В зимний период дополнительными ограничениями являются низкие температуры и быстро изменяющиеся погодные условия высокогорных территорий.

Первичная обработка данных, полученных с лидара, выполняется в программном обеспечении Auga. Данная программа предназначена для формирования облака точек на основе лидарных данных. В программной среде возможно выполнение базовых операций с исходными данными, включая обрезку и прореживание точек, изменение системы координат и другие операции. Кроме того, программа позволяет визуализировать исходные данные в различных плоскостях (рис. 4).

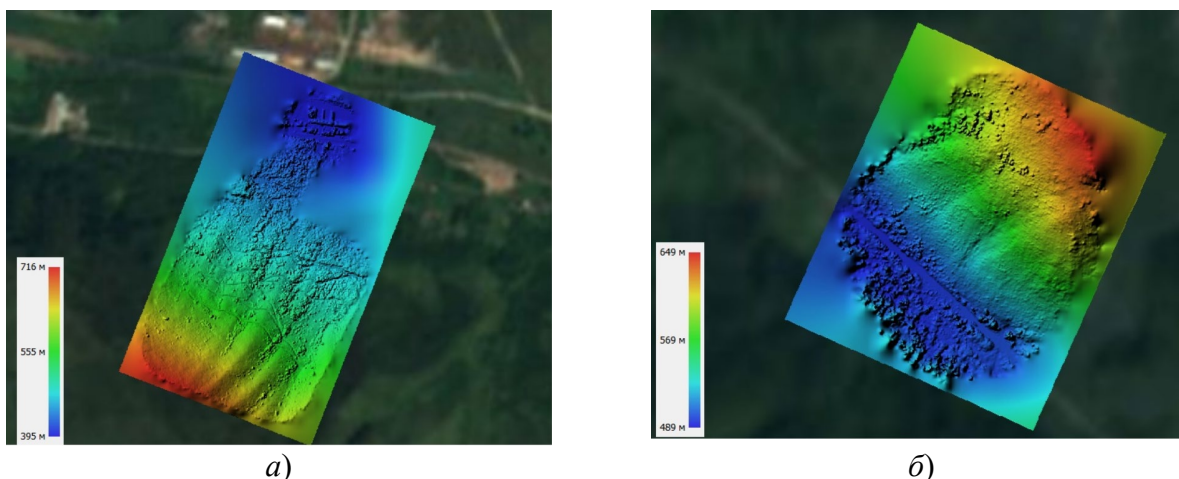


Рис. 4. Данные обработки из лидара: а) гора «Зубовская» б) река Проходная

Таким образом, лидарная съёмка является быстрым, точным и высококачественным методом сбора пространственных данных, позволяющим существенно повысить детализацию, оперативность получения, надёжность и точность информации при решении различных задач [14].

Карты высот были созданы в программной среде QGIS версии 3.36 на основе данных SRTM. Загруженные растровые данные были преобразованы в одноканальное псевдоцветное изображение с линейным градиентом Topography. Цифровые данные (высотные отметки) были разделены на равные диапазоны в соответствии с высотой местности.

В результате анализа морфометрических данных была дана характеристика лавиноопасных участков по высотным отметкам местности [15].

Лавиносборы № 1–5 находятся на высотах 480–560 м, при этом абсолютные отметки лавиносборов увеличиваются в юго-восточном направлении. Наибольший лавиносбор (№ 10) расположен на высоте 800 м (рис. 5).

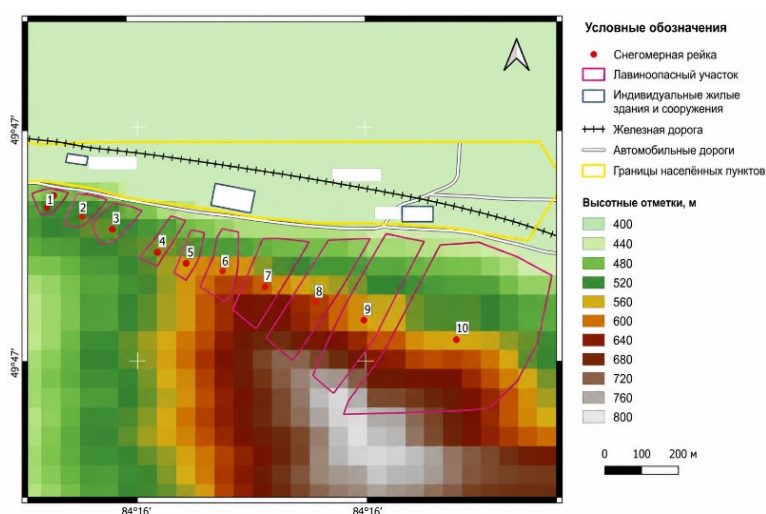


Рис. 5. Карта высот участка горы «Зубовск» (на основании данных SRTM)

На участке реки Проходная, в районе села Горная Ульбинка (рис. 6), лавиносборы преимущественно расположены на высотах 460–580 м (до № 22). В юго-восточном направлении, в межгорных пространствах, высотные отметки лавиносборов (№ 23–26) достигают 850–880 м.

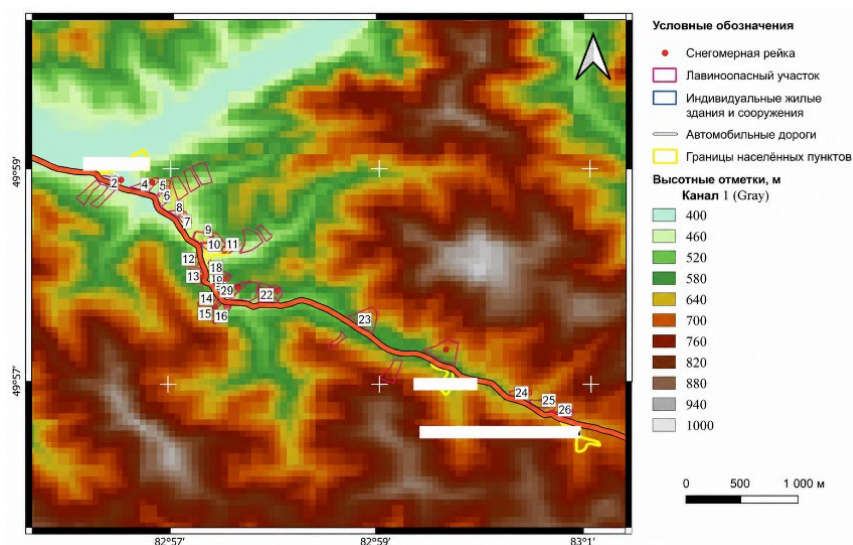


Рис. 6. Карта высот участка реки Проходная (на основании данных SRTM)

Для построения карты крутизны склонов использовались данные SRTM. В качестве инструмента применялся плагин морфометрического анализа QGIS. После выполнения морфометрических расчётов растровые данные были преобразованы в одноканальное псевдоцветное изображение. Использовался градиент «Turbo» с одинаковыми интервалами значений по градусам [16, 17]. В результате были построены морфометрические карты по исследуемым участкам (рис. 7).

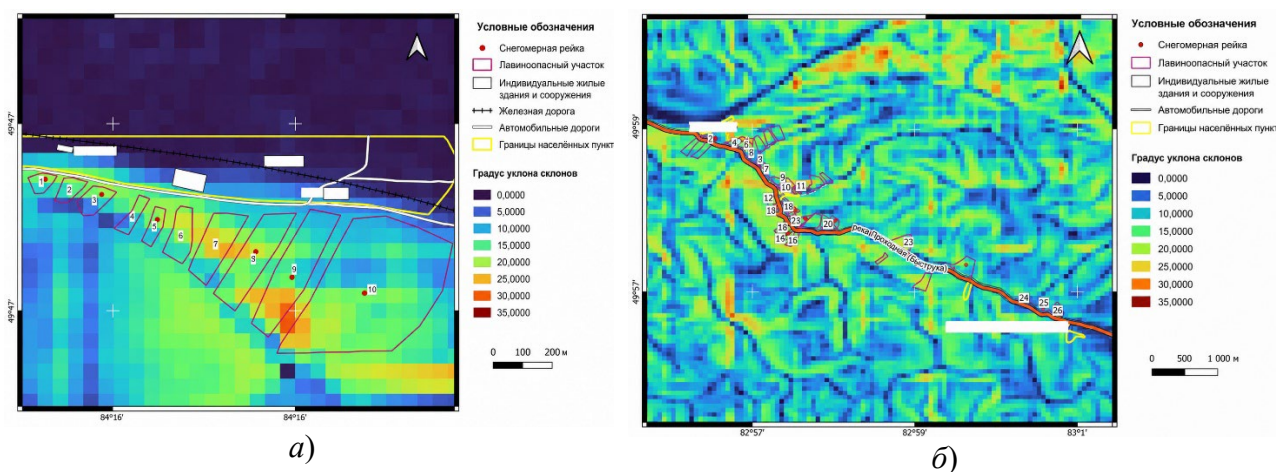


Рис. 7. Морфометрическая карта: а) гора «Зубовская» б) река Проходная

На основе анализа результатов лидарных съемок и карт высот выявлены участки с углами наклона, наиболее склонными к выпадению лавин (табл. 1).

Таблица 1 – Максимальные и минимальные значения уклона склонов лавиноопасных участков

Название участка	Минимальное значение уклонов, °	Максимальное значение уклонов, °
Гора «Зубовск»	10	30
Река Проходная	15	30

По сравнению с моделью SRTM, обладающей пространственным разрешением 30 м и средней вертикальной погрешностью порядка $\pm 10\text{--}16$ м, цифровая модель рельефа, построенная по данным лидарной съемки с БАС, обеспечивает разрешение до 0,1–0,3 м и вертикальную точность порядка $\pm 0,05\text{--}0,15$ м. Это позволяет значительно более детально выделять микрорельеф склонов и оценивать их морфометрические характеристики, имеющие значение при анализе лавинной опасности (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение пространственного разрешения и точности цифровых моделей рельефа

Источник ЦМР	Пространственное разрешение	Вертикальная точность
SRTM DEM	30 м	$\pm 10\text{--}16$ м
Лидарная съемка с БАС	0,1–0,3 м	$\pm 0,05\text{--}0,15$ м

Заключение

Использование данных SRTM целесообразно для регионального анализа и предварительного этапа исследований, общего изучения территории и выявления основных особенностей рельефа.

Высокоточные цифровые модели являются оптимальными для детального анализа и мониторинга локальных и конкретных процессов, проведения инженерных, экологических и научных исследований на небольших территориях, а также в случаях, где требуется высокая точность и детальность данных.

Оба метода обладают своими преимуществами и могут успешно дополнять друг друга благодаря возможности перехода от общего масштабного анализа (SRTM) к детальному изучению отдельных участков рельефа (высокоточные цифровые модели). Выбор конкретного подхода или их сочетания полностью зависит от поставленных территориальных задач и масштаба геоморфологических исследований.

Следует отметить, что детальный геоморфометрический анализ выполнен на примере наиболее лавиноопасных участков Восточно-Казахстанской области – бассейнов реки Проходная и горы Зубовская. Выбор данных территорий обусловлен наличием многолетних наблюдений за лавинной активностью и возможностью проведения высокоточной лидарной съемки. Полученные результаты могут

служить методической основой для последующего масштабирования исследований на другие лавиноопасные районы Восточно-Казахстанской области.

Полученные данные в дальнейшем могут быть использованы для мониторинга лавиноопасных участков Восточно-Казахстанской области и разработки геоинформационных программ прогнозирования снежных лавин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севастьянова С. А. Региональное планирование развития туризма и гостиничного хозяйства: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2007. – 256 с.
1. Rakhymberdina, M., Levin, E., Daumova, G., Bekishev Y., Assylkhanova, Z., Kapasov, A. Combined Remote Sensing and GIS Methods for Detecting Avalanches in Eastern Kazakhstan // *ES Energy and Environment*. – 2024. – Vol. 26. - P. 1350. DOI 10.30919/eseel350.
2. Aydin A., Eker R. GIS-based snow avalanche hazard mapping: bayburt-aşağı dere catchment case // *Journal of Environmental Biology*. – 2017. – Vol. 38(5). - P. 937-943. DOI 10.22438/jeb/38/5(si)/gm-10.
3. Wastl M., Stötter J., Kleindienst H., Avalanche risk assessment for mountain roads: a case study from Iceland// *Natural Hazards*. – 2011. – Vol. 56(2). DOI: 10.1007/s11069-010-9703-64.
4. Bühler Y., Bebi P., Christen M., Margreth S., Stoffel L., Stoffel A., Marty C., Schmucki G., Caviezel A., Kühne R., Wohlwend S., Bartelt P. Automated avalanche hazard indication mapping on a statewide scale // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. – 2022. – Vol. 22 (6) - P. 1825-1843. DOI 10.5194/nhess-22-1825-2022.
5. Kurt T. Avalanche Hazards with Mitigation in Turkey and Qualitative Risk Assessment for Snow Avalanches in Ayder (Rize, NE Turkey) Using Combination of GIS, Remote Sensing Techniques and Field Studies. In *Applications of Space Techniques on the Natural Hazards in the MENA Region* // Springer International Publishing: New York, NY, USA. – 2022. - P. 533–567. DOI 10.1007/978-3-030-88874-9_23.
6. Aydın A., Eker R., Odabaşı Y.B. Generating avalanche hazard indication map and determining snow avalanche protection forests in çaykara-Trabzon (NE-Turkey) // *Forestist*. – 2022. – Vol. 72 (1). - P. 62-72. DOI 10.5152/forestist.2021.20060.
7. Eckerstorfer M., Christiansen H.H. Meteorology, Topography and Snowpack Conditions Causing Two Extreme Mid-Winter Slush and Wet Slab Avalanche Periods in High Arctic Maritime Svalbard // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 2012. – Vol. 23. - P. 15–25. DOI:10.1002/ppp.734.
8. Denissova N., Nurakynov S., Petrova O., Chepashev D., Daumova G., Yelisseyeva A. Remote sensing techniques for assessing snow avalanche formation factors and building hazard monitoring systems // *Atmosphere*. – 2024. - Vol. 15(11). – P. 1343. DOI 10.3390/atmos15111343.
9. Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С. Особенности датирования селей, лавин и камнепадов в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) по травмам деревьев // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология* – 2017. – № 4. – С. 35-47.
10. Кюль Е.В. Оценка изменения ландшафтов лавинной деятельностью (по ландшафтными признакам частоты схода лавин) // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. – 2014. – № 3. – С. 53-59.
11. Yang L., Meng X., Zhang X. SRTM DEM and its applications advanced // *International Journal of Remote Sensing* – 2011. – Vol. 32 (14). - P. 3875-3896. DOI:10.1080/01431161003786016.
12. Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E. A global assessment of the SRTM performance // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2006. – Vol. 72. - P. 249-260. DOI 10.14358/PERS.72.3.249.

13. Eitel J.U.H., Hö, B., Vierling L.A., Abellán A., Asner G.P., Deems J.S., Glennie C.L., Joerg P.C., Lewinter A.L., Magney T.S., Mandlbürger G., Morton D.C., Müller J., Vierling K.T. Beyond 3-D: The new spectrum of lidar applications for earth and ecological sciences // Remote Sensing of Environment. – 2016. - Vol. 186. - P. 372–392.
14. Chong Z.J., Qin B., Bandyopadhyay T., Ang M., Frazzoli E., Rus D. Synthetic 2D LIDAR for precise vehicle localization in 3D urban environment // In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Karlsruhe, Germany. - 2013. - P. 1554–1559. DOI 10.1109/ICRA.2013.6630777.
15. Maggioni M., Gruber U. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency // Cold Regions Science and Technology. – 2003. – Vol. 37 (3). - P. 407-419. DOI 10.1016/S0165-232X(03)00080-6.
16. Крючков А.Н., Абламейко С.В., Апарин Г.П., Соболев Л.Н. Методы оперативного анализа состояния местности на основе моделей цифровых карт и аэро-космоснимков // Штучний інтелект. - 2010. - № 3. - С. 329-340.
17. Singh D.K., Mishra V.D., Gusain H.S. Simulation and analysis of a snow avalanche accident in Lower Western Himalaya // India, Journal of the Indian Society of Remote Sensing. – 2020. – Vol. 48 (11). - P. 1555-1565. DOI: 10.1007/s12524-020-01178-5.

© A. K. Kanacov 2026

А. О. Лебзак^{1✉}, А. В. Жаров¹, С. М. Свиридов¹

Разработка интеллектуальной геоинформационной системы «AIGIS»

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: a.o.lebzak@mail.ru

Аннотация. В статье описывается разработка интеллектуальной геоинформационной системы «AIGIS», предназначенной для пользователей, не имеющих опыта работы с ГИС-продуктами и знаний в сфере картографии и геоинформатики. Обоснована значимость автоматизации процессов картографирования и пространственного анализа на основе технологий искусственного интеллекта. Раскрыты общая клиент-серверная архитектура веб-ГИС, принципы взаимодействия пользователя с ИИ-ассистентом, а также подход к преобразованию запросов на естественном языке в последовательность операций над пространственными данными. Охарактеризованы ключевые модули системы. Приведены результаты апробации, которые доказывают работоспособность предложенного подхода, при котором искусственный интеллект выступает в виде компонента программной системы, составляющего формализованный алгоритм операций в ГИС-среде. «AIGIS» делает современные инструменты тематического картографирования доступнее для неподготовленных пользователей, способствует сокращению времени работы и уменьшению затрат при создании тематических карт.

Ключевые слова: интеллектуальная веб-ГИС, автоматизация картографирования, искусственный интеллект, разработка ПО

A. O. Lebzak^{1✉}, A. V. Zharov¹, S. M. Sviridov¹

Development of the intelligent geographic information system «AIGIS»

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: a.o.lebzak@mail.ru

Abstract. This article describes the development of the intelligent geographic information system "AIGIS," designed for users with no experience with GIS products or knowledge of cartography and geoinformatics. It substantiates the importance of automating mapping and spatial analysis processes using artificial intelligence technologies. It describes the general client-server architecture of a web GIS, the principles of user interaction with an AI assistant, and an approach to converting natural language queries into a sequence of operations on spatial data. The key modules of the system are characterized. Test results are presented, demonstrating the viability of the proposed approach, in which artificial intelligence acts as a component of the software system, creating a formalized algorithm for operations in the GIS environment. "AIGIS" makes modern thematic mapping tools more accessible to untrained users, reducing the time and cost of creating thematic maps.

Keywords: intelligent web GIS, mapping automation, artificial intelligence, software development

Введение

В последние годы веб-картография и геосервисы стали массовым инструментом для решения прикладных задач – от навигации и поиска объектов до ана-

лиза территорий и подготовки тематических карт [4]. Однако полноценные ГИС-программы по-прежнему требуют от пользователя профессиональной подготовки, например, необходимо понимать структуру пространственных данных, атрибутов и запросов, владеть знаниями о системах координат, правилах картографического оформления и логике выполнения оверлейных операций. Для неподготовленного пользователя такой высокий порог входа является существенной преградой. Даже имея доступ к данным, он не может быстро превратить запрос «что происходит на территории?» в корректную карту и понятные выводы. Поэтому актуальность разработки программных решений, которые переводят сложные ГИС-операции в простой «пользовательский язык» [1], автоматизируя трудозатратные этапы картографирования и анализа при сохранении качества и воспроизводимости результата, не вызывает сомнений.

Целью работы является разработка интеллектуальной геоинформационной системы AIGIS, ориентированной на пользователей без опыта работы в ГИС-среде, обеспечивающей автоматизированное создание слоев, заполнение атрибутивной информации, выполнение оверлейных операций и тематическое оформление карт на основе запросов на естественном языке [3].

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- определены требования к интеллектуальной геоинформационной системе;
- выполнено проектирование архитектуры веб-ГИС и модели взаимодействия с ИИ-ассистентом;
- реализован механизм преобразования текстового запроса в формализованный алгоритм операций;
- разработана модульная схема подключения открытых источников и обработки геоданных;
- реализована автоматическая классификация и стилизация слоев при помощи алгоритмов оформления;
- созданы базы данных на основе открытых и достоверных источников;
- выполнена апробация на наборе тестовых запросов и оценка работоспособности предложенного подхода.

Методы и материалы

В ходе исследования применялись методы сопоставления, анализа и синтеза.

Вторая половина 2020-х годов характеризуется беспрецедентным ростом числа проектов, связанных с технологиями искусственного интеллекта, которые затрагивают практически все сферы жизни, науки и производства. При этом задачи, которые решаются при помощи искусственного интеллекта (ИИ), становятся все более сложными, а сама технология напротив – более доступной.

Рынок ИИ в России за последний год вырос более чем на 20% [1]. Причиной такого роста является переход от пилотных проектов к промышленной эксплуатации ИИ, а также импортозамещение и стремление бизнеса к повышению эффективности при помощи этой технологии.

На сегодняшний день искусственный интеллект производит революцию в обработке геопространственных данных, особенно в задачах дешифрирования снимков и автоматизации геодезических изысканий. Однако генеративный ИИ может применяться и при создании карт.

Кроме того, в нашей стране существует потребность в разработке отечественных геоинформационных систем, которая объясняется не столько экономической целесообразностью, но и необходимостью создания суверенной цифровой инфраструктуры. Российские компании и государственные структуры активно переходят на отечественные ГИС, стремясь сохранить контроль над данными и обеспечить их безопасность. При этом, наиболее удобным и доступным ГИС-инструментом, не требующим установки на устройство пользователя специальных программ, является веб-ГИС.

AIGIS реализуется как веб-ГИС по схеме «клиент–сервер» [2]. Клиентская часть предоставляет карту-основу, инструменты управления слоями и интерфейсы для работы с атрибутами (таблица, фильтрация, сортировка и настройка визуализации). Серверная часть отвечает за интеграцию внешних источников, хранение результатов и координирование ИИ-компонента.

Ключевая особенность продукта – наличие логического промежуточного слоя между естественным языком и программным кодом. Запрос пользователя не выполняется напрямую, а сначала преобразуется в определенный формат, что позволяет повысить воспроизводимость – одна и та же задача описывается одинаковой структурой, вследствие чего упрощается контроль качества и отладка.

Механизм формирования алгоритма строится на связке «обработка естественного языка (NLP) – формализация – валидация» [3].

На первом этапе система извлекает из текста намерение пользователя (например, «сформировать тематическую карту», «найти объекты», «сравнить территории»), предметную область (демография, транспорт, природные объекты и т.д.) и ограничения (временной период, территориальный охват, критерии отбора).

На втором этапе эти намерения переводятся в машинно-исполняемую форму – «какие слои нужны», «какие поля должны появиться в атрибутах», «какие источники подходят», «какие преобразования требуются».

На третьем этапе план проверяется на корректность и безопасность: допустимые типы операций, корректность полей, совместимость геометрий, наличие обязательных метаданных (источник данных, единицы измерения, дата, способ получения, примененные преобразования и т.п.). Только после этого создается слой, выполняются геопространственные операции, рассчитываются атрибуты и выполняется оформление карты.

Результаты

Система построена модульно [2], что позволяет расширять функционал без внесения изменений в ее ядро.

В состав ключевых модулей входят:

- модуль интеграции открытых источников (подключение и загрузка данных);
- модуль обработки геоданных (преобразования форматов, выявление топологии, подготовка к визуализации);
- модуль атрибутов (извлечение, нормализация, контроль единиц и типов);
- модуль автоматической классификации и тематического оформления (выбор поля-показателя, построение классов/градиентов, формирование легенды);
- модуль управления данными и метаданными.

Последний модуль важен для программной инженерии системы, так как он фиксирует структуру слоя, описание полей, параметры визуализации, источники происхождения и историю проекта, что напрямую влияет на результат и доверие к полученным данным.

Важным элементом архитектуры «AIGIS» является модуль интеллектуального анализа пользовательских таблиц, предназначенный для связывания загружаемых пользователем Excel-файлов с пространственными объектами базы данных.

Его работа строится на сочетании алгоритмической обработки и ИИ-интерпретации, при которой программный модуль локально анализирует структуру файла, определяет листы, диапазоны данных, строку заголовков, типы столбцов, числовые показатели, временные признаки и возможные колонки с географическими объектами, а также предварительно сопоставляет уникальные названия объектов с внутренним справочником пространственных сущностей. ИИ-ассистент в данном процессе выполняет смысловую интерпретацию результатов анализа. Он определяет, какая часть таблицы соответствует запросу пользователя, какая колонка содержит объекты картографирования, какие показатели следует перенести в атрибутивную таблицу и какой способ тематического отображения целесообразно применить. После этого алгоритмическая часть проверяет корректность выбранного решения, оценивает долю найденных объектов, выявляет неоднозначные совпадения и при необходимости передает их пользователю для подтверждения.

Такой подход позволяет преобразовывать пользовательские таблицы в полноценные картографические слои, сохраняя контроль качества, воспроизводимость обработки и возможность дальнейшей настройки результата в ГИС-среде.

Отдельно стоит отметить систему работы с объектами на карте и модель хранения данных о них. В AIGIS результат работы не ограничивается статическим отображением объектов на карте, благодаря чему полностью сохраняется специфика ГИС и учитывается особенность работы с ИИ-ассистентом – сохраняются геоданные, поля атрибутов, стили и их настройка, а также метаданные. Такой подход позволяет детально отслеживать и при необходимости корректировать процесс создания слоев.

Практическая апробация выполнена на наборе тестовых запросов (рисунок 1, 2), охватывающих широкий спектр тематик. Результаты апробации показывают, что использование определенного формата запросов повышает устойчи-

вость и предсказуемость системы (уменьшается число неоднозначных интерпретаций запроса, упрощается проверка корректности).

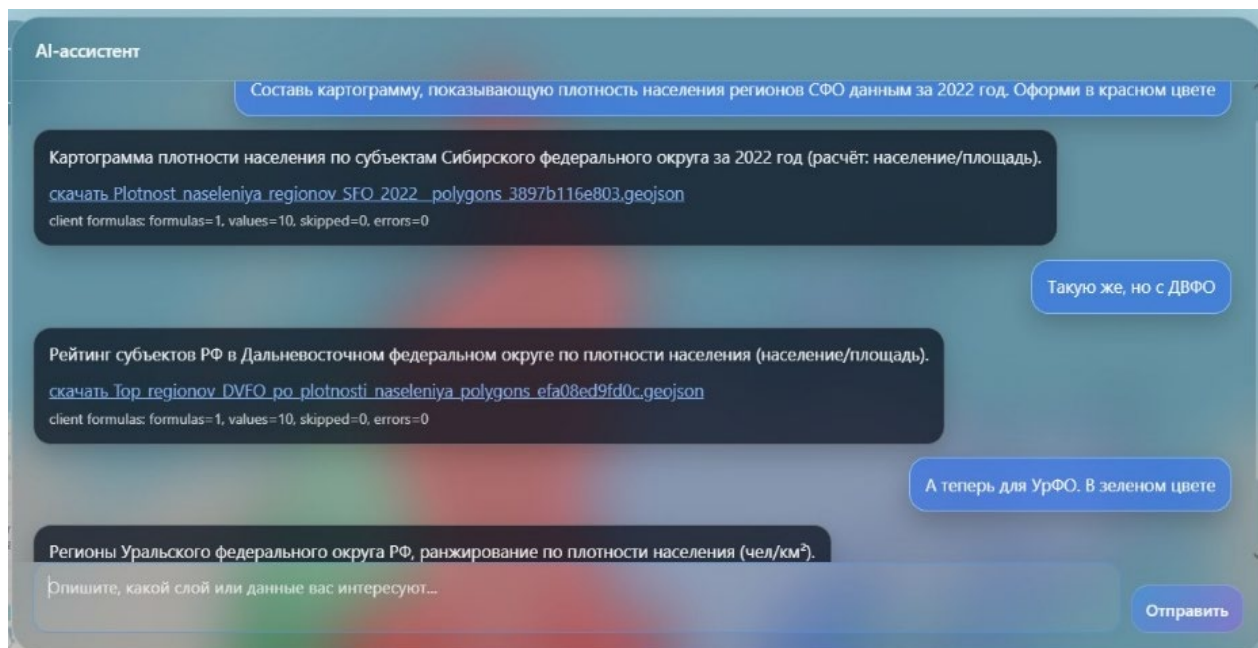


Рис. 1. Интерфейс ввода запросов пользователя в AIGIS

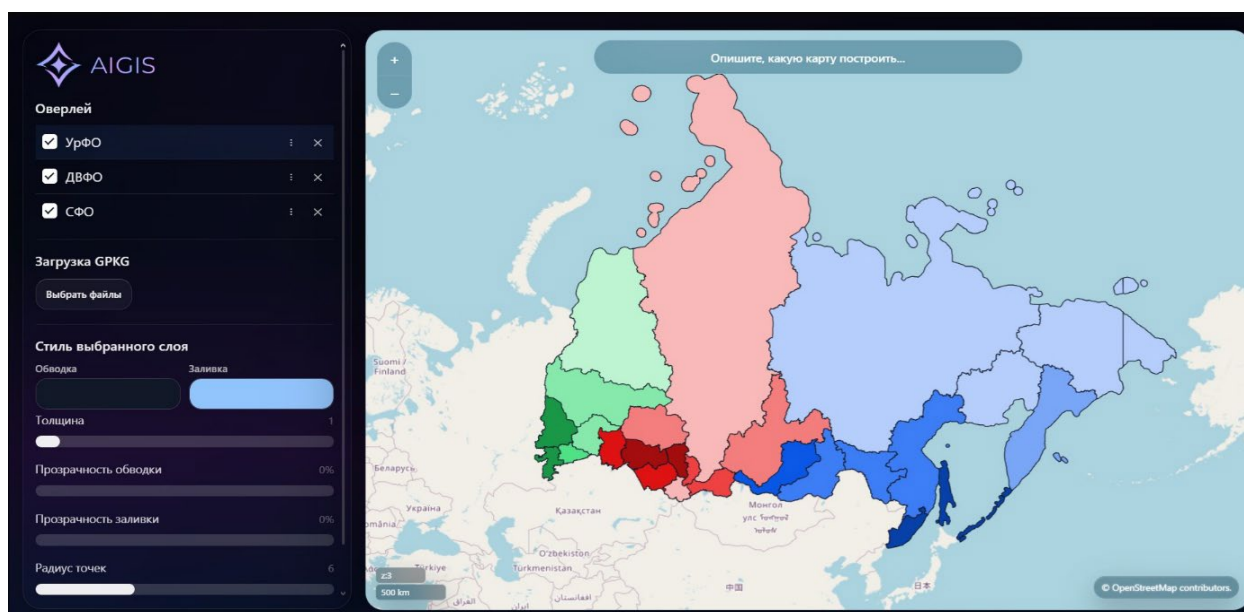


Рис. 2. Карта, сформированная на основе запросов пользователя в AIGIS

Заключение

Разработка AIGIS демонстрирует практическую реализацию подхода, при котором искусственный интеллект выступает в виде компонента программной системы, составляющего формализованный алгоритм операций в ГИС-среде. Это позволяет использовать современные методы составления карт пользователями без ГИС-подготовки, ускоряет и удешевляет создание тематических карт.

Стабильность результата обеспечивается за счет хранения метаданных о проектах и фиксации всех этапов обработки.

Перспективы дальнейшего развития связаны с расширением набора подключаемых источников и собственных баз данных, совершенствованием системы контроля качества формируемых карт, а также разработкой разнообразных инструментов пространственного анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глотов А. А. Интеллектуализация геоинформационных систем: подходы и направления // Геоматика. – 2015. – №4. – С. 18–24.
2. Ехлаков Ю. П. Базовые принципы разработки веб-ориентированных информационных систем управления инфраструктурой социально-экономических и технических процессов / Ю. П. Ехлаков, О. И. Жуковский, П. В. Сенченко, Ю.Б. Гриценко, М.М. Милихин // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 63–67.
3. Посевкин Р. В., Бессмертный И. А. Естественнo-языковой пользовательский интерфейс диалоговой системы // Программные продукты и системы. – 2016. №3, Т. 29. – С. 5–9. DOI: 10.15827/0236-235X.115.005-009.
4. ArcGIS Enterprise (документация). Про веб-ГИС (понятие, преимущества, компоненты) [Электронный ресурс]. URL: <https://enterprise.arcgis.com/ru/server/10.3/create-web-apps/windows/about-web-gis.htm> (дата обращения: 16.02.2026).

© А. О. Лебзак, А. В. Жаров, С. М. Свиридов, 2026

А. В. Андриященко^{1✉}, Д. А. Гура^{1, 2}

Применение нейросетевых моделей для повышения качества топографических данных, получаемых по материалам аэрофотосъемки

¹ Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Российская Федерация

² Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Российская Федерация
e-mail: antonandr72@gmail.com

Аннотация. Рассматривается методика автоматизации камеральной обработки данных аэрофотосъемки с применением нейросетевых архитектур. Обоснована актуальность внедрения ИИ для устранения разрыва между скоростью сбора данных БАС и их векторизацией. Описан процесс интеграции моделей в ГИС QGIS и приведены результаты теоретического анализа эффективности, показывающие четырехкратное снижение трудозатрат. В качестве экспериментальной проверки обучена модель YOLOv8 для детекции мест скопления твердых бытовых отходов по данным с БВС; исходный датасет из 2000 снимков был аугментирован до 6000 изображений, класс распознавания - «ТБО». По контрольной выборке получены количественные метрики: средний IoU - 0,72, Precision - 0,86, Recall - 0,81.

Ключевые слова: картография, аэрофотосъемка, нейронные сети, QGIS, семантическая сегментация, автоматизация, производительность труда

A. V. Andryushchenko^{1✉}, D. A. Gura^{1,2}

Application of Neural Network Models to Improve the Quality of Topographic Data Obtained from Aerial Photography

¹ Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

² Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation
e-mail: antonandr72@gmail.com

Abstract. The paper considers the method of automating the cameral processing of aerial photography data using neural network architectures. The relevance of implementing AI to bridge the gap between the speed of collecting data and its vectorization is substantiated. The process of integrating models into the QGIS GIS is described, and the results of a theoretical analysis of efficiency are presented, showing a fourfold reduction in labor costs. As an experimental test, a YOLOv8 model was trained to detect solid household waste accumulation sites from UAV data; the initial dataset of 2,000 images was augmented to 6,000 images, with one recognition class: solid household waste. The test metrics were mean IoU of 0.72, Precision of 0.86, and Recall of 0.81.

Keywords: cartography, aerial photography, neural networks, QGIS, semantic segmentation, automation, and labor productivity

Введение

Применение беспилотных авиационных систем позволяет оперативно получать массивы данных сверхвысокого разрешения, однако традиционные методы

камеральной обработки за темпами полевых работ не поспевают. Ручная векторизация объектов по-прежнему остается ключевым ограничением всего технологического процесса, поскольку требует значительных временных ресурсов даже при высокой квалификации специалистов и отлаженной организации труда. Анализ российского рынка программного обеспечения показывает, что большинство ГИС-пакетов предлагают лишь базовые инструменты полуавтоматической векторизации, которые плохо справляются с плотной городской застройкой или сложным рельефом, а значит, внедрение принципиально иных подходов на базе искусственного интеллекта становится актуальной задачей. [1]

Цель данного исследования – разработка методики автоматической оцифровки данных аэрофотосъемки. Научная новизна работы состоит в создании алгоритмической цепочки, позволяющей бесшовно интегрировать современные нейросетевые модели в производственный цикл картографических работ. [2]

Методы и материалы

Методика исследования базируется на использовании готовых нейросетевых архитектур, таких как Segment Anything (SAM), Vision Transformers и Mask R-CNN, а также архитектуры YOLOv8. Модель YOLOv8 оптимально подходит для картографических задач, потому что способна не только детектировать объекты с помощью ограничивающих рамок, но и выдавать высокоточные полигональные маски. [3]

Технологический процесс состоит из четырех последовательных этапов, каждый из которых выполняет определенную функцию в общей производственной цепочке:

1. Формирование и разметка эталонного датасета объектов топопланов на основе ортофотопланов;
2. Настройка и обучение моделей для решения задач семантической сегментации (обнаружение и предварительный контур объектов);
3. Разработка программных модулей для интеграции нейросети с геоинформационной системой QGIS;
4. Организация экспертного контроля, где специалист выполняет финальную валидацию сгенерированных векторов.

Точность распознавания оценивалась с помощью метрик IoU (Intersection over Union), Precision и Recall, которые дают количественную оценку качества автоматизированной отрисовки границ зданий, дорог и растительности. [4]

Экспериментальная проверка гипотезы была выполнена как задача детекции мест скопления твердых бытовых отходов (далее – ТБО) по снимкам, полученным с беспилотного воздушного судна. Все размеченные объекты относились к классу «ТБО». Такая постановка позволила оценить, способна ли нейросетевая модель выделять на местности характерные антропогенные объекты по данным аэрофотосъемки.

Таблица 1 – Характеристика обучающей выборки и параметров обучения

Параметр	Значение
Источник данных	снимки с БВС, содержащие участки местности с визуально различными скоплениями твердых бытовых отходов
Исходный объем датасета	2000 снимков
Объем после аугментации	6000 снимков
Класс распознавания	один класс - «ТБО»
Разделение выборки	70% - обучение, 15% - валидация, 15% - контрольная выборка
Используемая модель	YOLOv8 для детекции объектов на изображениях БВС
Количество эпох	100
Аугментация	повороты, зеркальное отражение, изменение яркости и контраста, масштабирование, случайное кадрирование

Результаты

Теоретический анализ предложенного подхода показал существенное улучшение производственных показателей, и сравнение ручного метода с автоматизированным подтвердило это несколькими важными результатами. Временные затраты на создание одного топографического плана сократились с 12 до 3 человеко-часов. Участие оператора в процессе векторизации снизилось до 25%, причем его роль трансформировалась из исполнителя в эксперта-контролера, ответственного за проверку и корректировку результатов. Риск пропуска объектов уменьшился со среднего уровня до низкого, поскольку автоматизация исключила фактор человеческой усталости, особенно критичный при дешифрировании плотной застройки. Разработанные модули интеграции с QGIS позволили создать конвейер обработки данных, в котором результаты работы нейросети поступают в ГИС-среду уже в виде готовых слоев. [5]

Для подтверждения применимости подхода выполнена экспериментальная проверка модели YOLOv8 на контрольной части датасета. При детекции единственного класса «ТБО» средний IoU составил 0,72, Precision - 0,86, Recall - 0,81. Полученные значения подтверждают гипотезу о том, что по данным с БВС нейросеть способна распознавать характерные объекты на местности, даже если объект имеет нерегулярную форму и неоднородную текстуру.

Основные ошибки модели были связаны с частичным перекрытием отходов растительностью, тенями от близлежащих объектов и внешним сходством отдельных фрагментов с классом «ТБО».

Обсуждение

Результаты исследования подтвердили гипотезу: внедрение нейронных сетей сокращает сроки и себестоимость работ в три-пять раз. Предложенная методика отличается от полной автоматизации тем, что человек сохраняет контрольную функцию, а это обеспечивает соответствие планов нормативным требованиям. С практической точки зрения работа ценна повышением объективности данных и снижением субъективных ошибок при распознавании ситуации. [6]

Практическая значимость работы проявляется в нескольких направлениях. Передача рутинных операций нейросети позволяет сократить себестоимость и временные затраты камеральной обработки в 3–5 раз, при этом существенно возрастает объективность получаемых данных: влияние человеческого фактора ослабевает, субъективные ошибки оператора при распознавании сводятся к минимуму. Высокая скорость дешифрирования создает условия для непрерывного мониторинга территорий в динамике. [7]

Экономическая сторона внедрения разработанного решения в производственный сектор картографических и геодезических работ открывает перспективы, которые сложно переоценить с точки зрения оптимизации затрат. Когда временные издержки на векторизацию сокращаются вчетверо, себестоимость инженерных изысканий падает пропорционально, а рентабельность проектов возрастает. Перенос методики на новые географические регионы с иными архитектурными традициями или нетипичными ландшафтами потребует локального дообучения моделей. Эта особенность ставит на повестку дня создание гибких баз эталонных пространственных данных, которые могли бы постоянно пополняться и адаптироваться под специфику конкретных территорий. [8]

Заключение

Автоматизация оцифровки повышает производительность труда картографа, причем применение нейросетей не вытесняет специалиста, а переводит его деятельность на иной технологический уровень – процесс подготовки топографических планов становится быстрее и технологичнее. Комплексный подход, изложенный в работе, устраняет разрыв между скоростью сбора данных беспилотными авиационными системами и последующей векторизацией, что ведет к сокращению временных затрат. Экспериментальная апробация на задаче детекции мест скопления ТБО уточнила этот вывод. При среднем IoU 0,72 и Precision 0,86 модель YOLOv8 обеспечивает приемлемое качество предварительного распознавания объектов на снимках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К вопросу о применении нейросетевого алгоритма для мониторинга состояния городской среды / Р. А. Дьяченко, Д. А. Гура, Д. А. Беспятчук [и др.] // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 8. – С. 42-50. – DOI 10.25791/esip.8.2023.1392. – EDN KCECPT.
2. Береговой, Д. В. Методика автоматизированного создания топографического плана на основе съёмки с беспилотного летательного аппарата / Д. В. Береговой, М. Г. Мустафин // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79, № 9. – С. 30-36/

3. Разработка алгоритма семантической сегментации аэрофотоснимков реального времени / Ю. Б. Блохинов, В. А. Горбачев, Ю. О. Ракутин, А. Д. Никитин // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 1. – С. 141-148.
4. Семантическая сегментация данных дистанционного зондирования Земли при помощи нейросетевых алгоритмов / А. А. Друки, В. Г. Спицын, Ю. А. Болотова, А. А. Башлыков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 1. – С. 59-68.
5. Семантическая сегментация спутниковых снимков аэропортов с помощью свёрточных нейронных сетей / В. А. Горбачев, И. А. Криворотов, А. О. Маркелов, Е. В. Котлярова // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 4. – С. 636-645.
6. Тематическое дешифрирование аэроснимков лесных территорий на основе концептуального моделирования / К. В. Шошина, Р. А. Алешко, В. В. Березовский [и др.] // Онтология проектирования. – 2023. – Т. 13, № 3(49). – С. 437-454.
7. Дьяченко, Р. А. К вопросу об увеличении производительности машинного обучения на этапе выборки данных при решении задач классификации / Р. А. Дьяченко, П. А. Косолапов, Д. А. Гура // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – № 4. – С. 146-155. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2022/4/146-155. – EDN MOHGV.
8. Алгоритмы семантической сегментации разновременных многоспектральных изображений с использованием глубокого обучения / Ю. Ю. Громов, Ю. Г. Веселов, И. Н. Ищук, В. В. Родионов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2025. – № 2. – С. 1-16. – DOI 10.25791/pribor.2.2025.1555. – EDN QTDQLB.

© А. В. Андрющенко, Д. А. Гура, 2026

А. И. Павлова¹✉

Оценка агроклиматических ресурсов Новосибирской области

¹ Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: a.pavlova@corp.nstu.ru

Аннотация. Глобальное изменение климатических условий приводит к повышению температуры воздуха и уменьшению количества осадков в важные периоды вегетации сельскохозяйственных культур. К настоящему времени разработаны растровые модели климатических параметров для моделирования климата на глобальном и национальных уровнях с разрешением 1° и 0.5°. Для оценки агроклиматических условий регионального уровня необходимо создание растровых моделей более высокого разрешения на основе анализа суточных данных метеорологических станций. В работе выполнена оценка агроклиматических ресурсов Новосибирской области с использованием суточных метеорологических данных за период с 1980 по 2025 гг. Набор данных включал среднюю, минимальную, максимальную температуры воздуха, сумму осадков за сутки, относительную влажность воздуха, скорость ветра и другие показатели. В результате работы вычислены среднемесячные значения метеорологических параметров в отдельные месяцы, в среднем за год и десятилетия (1980-1990 гг., 1990-2000, 2000-2010 гг., 2010-2020 гг.). Это позволило оценить условия обеспеченности тепло-и влагообеспеченности для территории Новосибирской области по сезонам года и многолетним периодам, вычислить отклонение от нормы и гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК).

Ключевые слова: агроклиматические ресурсы, метеорологические наблюдения, увлажненность, гидротермический коэффициент

A. I. Pavlova¹✉

Definition of the Characteristics of the Unmanned Aviation System when Carrying out Search and Rescue Operations in Wetted Areas

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation,
e-mail: a.pavlova@corp.nstu.ru

Abstract. Global climate change leads to aridization, increased air temperatures, and decreased precipitation during important periods of crop growth. Raster models of climate parameters have been developed to describe climate at the global level and national levels at 1° and 0.5° development levels. To assess regional agroclimatic conditions, it is necessary to create higher-resolution raster models based on the analysis of daily meteorological data. This paper assesses the agroclimatic resources of the Novosibirsk region using daily meteorological data for the period from 1980 to 2024. The dataset includes average and minimum air temperature, daily change rates, relative humidity, wind speed, and other indicators. As a result of this work, average monthly values of meteorological parameters were calculated in months, on an annual average, and as a change (1980-1990, 1990-2000, 2000-2010, 2010-2020). This required an assessment of the state of heat and moisture supply in the Novosibirsk region by season and over long-term periods, calculating deviations from the norm, and the Selyaninov hydrothermal coefficient (SHC).

Keywords: agroclimatic resources, meteorological observations, humidity, hydrothermal coefficient

Введение

В Западной Сибири наблюдается постепенное увеличение среднегодовой температуры воздуха на $0,5-0,7^{\circ}\text{C}/10$ лет [1-2]. Это приводит к уменьшению количества осадков и частому возникновению засух. На территории Западной Сибири часто возникают опасные метеорологические явления. Равнинный характер рельефа и заболоченность земель способствуют проникновению воздушных масс с севера и с юга, создают условия для формирования опасных метеорологических явлений. Засухи относятся к наиболее негативным природным явлениям, наносящим огромный экономический ущерб сельскому хозяйству. Оценка степени увлажнения территории и прогнозирование засухи имеет важное практическое значение для обеспечения продовольственной безопасности [3]. К настоящему времени разработаны растровые модели (разрешение 1° и 0.5°) метеорологических параметров и климатических индексов, используемых для моделирования климата на глобальном и национальных уровнях. Для оценки агроклиматических условий на региональном уровне существует необходимость создания растровых моделей более высокого разрешения с использованием суточных метеорологических данных.

Цель исследований - оценка агроклиматических ресурсов Новосибирской области с использованием суточных метеорологических данных за период с 1990 по 2025 гг.

В ходе работы решены следующие задачи: предварительная обработка метеорологических данных, вычисление средних значений разного временного разрешения (декада, месяц, сезоны года, год, период вегетации, многолетние периоды).

Материалы и методы исследований

В работе использованы суточные метеорологические данные с 1980 по 2025 гг. для станций Новосибирской области (30 метеостанций). В базе данных климата систематизирована информация о метеорологических станциях, включающая: название, международный индекс, административный район, адрес, географические координаты (широту и долготу), абсолютную высоту над уровнем моря.

Метеорологические данные содержали информацию о температуре воздуха на высоте 2 м от поверхности (средняя, минимальная, максимальная температура, градусы Цельсия, $^{\circ}\text{C}$), осадках (мм/сутки), относительной влажности воздуха (проценты, %), скорости ветра на высоте 10 м (м/с) и другие показатели.

В исследованиях выполнена оценка агроклиматических ресурсов тепло- и влагообеспеченности территории, увлажненности вегетационного периода сельскохозяйственных культур для отдельных лет и многолетних периодов (1980-1990 гг., 1990-2000, 2000-2010 гг., 2010-2020 гг.). Для оценки увлажненности вегетационного периода использован гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова.

Результаты

В результате исследований выполнена оценка тепло- и влагообеспеченности территории Новосибирской области на основе суточных метеорологических данных с 1980 по 2025 гг. В качестве примера в работе приведены результаты вычислений для метеостанции Карасук. Метеостанция Карасук (индекс 29814, 53°44'04" с.ш., 78°00' 49" в.д.) расположена на высоте 113 м над уровнем моря в северной части Кулундинской степи. Результаты оценки тепло- и влагообеспеченности, увлажненности вегетационного периода культур (май-август) приведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты оценки тепло- и влагообеспеченности Новосибирской области (метеостанции Карасук)

Период	Средняя температура воздуха, °С				Температура средняя за год, °С	T>10°С	Осадки за год, мм	Осадки май-август, мм	ГТК
	зима	весна	лето	осень					
1980-1990 гг.	-15,8	2,3	19,9	1,9	2,1	2100	339,0	135	0,64
1990-2000 гг.	-15,6	2,0	20,1	1,7	2,3	2173	342,9	164	0,75
2000-2010 гг.	-17,0	4,0	19,8	3,0	2,5	2182	354,0	165	0,76
2010-2020 гг.	-17,7	3,7	19,9	2,1	2,0	2106	351,4	156	0,64

Примечание. T>10°С – сумма активных температур воздуха за период вегетации с мая по август, °С; ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова.

Средняя многолетняя температура воздуха за год составляет 2,2°С, изменение средней годовой температуры в отдельные периоды неравномерное. За период с 1980 по 1990 гг. температура увеличилась на 0,1 С°/10 лет, с 1990 по 2000 гг. - на 0,2 С°/10 лет, с 1990 по 2000 гг. - на 0,5 С°/10 лет. Однако с 2010 по 2020 гг. средняя годовая температура воздуха уменьшилась на 0,2 С°/10 лет.

Средняя многолетняя сумма активных температур воздуха за период вегетации с мая по август составила 2140 °С. Среднее многолетнее значение осадков за год составило 346,8 мм. Наблюдается постепенное незначительное увеличение количества осадков с 339,0 мм до 351,4 мм. За период с 2010 по 2020 гг. годовое количество осадков увеличилось по сравнению с многолетним значением на 4,6 мм.

Большая часть осадков выпадает за вегетационный период (примерно 44,9%). Обеспеченность осадками за рассматриваемые многолетние периоды низкая. Наименьшее количество осадков наблюдается в период с 1980 по 1990 гг. (135 мм). Наибольшее количество осадков приходится на периоды с 1990 по 2000 гг. и с 2000 по 2010 гг (164 и 165 мм соответственно). За период с 2010 по

2020 гг. сумма осадков за период вегетации имеет значение близкое к среднему многолетнему значению (155 мм) и составила 156 мм.

Проведенный анализ метеорологических данных за 1980-2020 гг. показал, что периоды с 1980 по 1990 гг., с 2010 по 2020 гг. характеризуются как очень засушливые ($ГТК=0,64$). Периоды с 1990 по 2000 гг., с 2000 по 2010 гг. засушливые с $ГТК$ равным 0,75 и 0,76 соответственно. Высокая температура воздуха и незначительная обеспеченность осадками влияет на частоту появления и степень тяжести атмосферной засухи.

Заключение

В результате исследований были вычислены показатели тепло- и влагообеспеченности разного временного масштаба, позволившие выполнить анализ изменения показателей за многолетние периоды с 1990 по 2020 гг. Изменение температуры воздуха в отдельные десятилетие периоды неравномерное. Значения сумм активных температур воздуха и осадков за период вегетации культур неравномерное. Результаты исследований в дальнейшем будут использованы для картографирования агроклиматических ресурсов территории Новосибирской области и прогнозирования негативных метеорологических явлений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анопченко Л.Ю., Якутин М.В. Аридизация климата юга Западной Сибири и засоление почв // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – Т. 2. – № 3. – С. 207– 211.
2. Ипполитов И.И. Современные природно-климатические изменения в Сибири: ход среднегодовых приземных температур и давления / И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов, А.И. Комаров, А.И. Кусков // География и природные ресурсы. – 2004. – № 3. – С. 90 – 96.
3. Pavlova A.I. Application of big data technologies to access the natural moisture of the territory // Siberian Life and Agriculture. 2023. – Т.15.– №3. – С.139 –154.

© А. И. Павлова, 2026

*В. П. Ступин*¹✉

Применение индексных изображений при дистанционном картографическом мониторинге нарушенности лесов Приангарья

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация
e-mail: stupinigu@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены факторы нарушенности лесов Приангарья и возможности выявления нарушений средствами SAGA GIS с использованием индексных изображений, полученных по снимкам Landsat 8, 9 и Sentinel 2. Приведены характеристики исходных материалов и возможности программного обеспечения их обработки. Показано, что снимки среднего разрешения оптимальны для создания индексных изображений. Проанализированы 13 индексов в интересах выявления, классификации, оценки, определения динамики и картографирования нарушений таежных лесов. Установлено, что вегетационные индексы позволяют выявлять участки, лишённые растительности и зоны с низкой степенью вегетации, анализировать и картографировать состояние растительного покрова на нарушенных землях, гарях, вырубках, карьерах, отвалах. Приведены количественные характеристики индексов разных типов таежных ландшафтов. Оценены возможности, достоинства и недостатки использования индексных изображений в интересах дистанционного картографического мониторинга состояния растительного покрова. Выяснено, что включение индексных изображений в состав исходной информации для кластеризации значительно повышает качество классификации без обучения. Отмечено, что индексы не отражают абсолютные количественные показатели и сильно зависят от условий съёмки. Однако, относительные показатели можно пересчитать в абсолютные и корректно интерпретировать на основе полевых натурных данных с привлечением экспертов.

Ключевые слова: Индексные изображения; индикация нарушенности лесов, возможности индексных изображений

*V. P. Stupin*¹✉

Comprehensive analysis of index images in monitoring the taiga forests of the Angara region

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation
e-mail: stupinigu@mail.ru

Abstract. The factors of disturbance of the forests of the Angara region and the possibility of detecting violations using SAGA GIS using index images obtained from Landsat 8, 9 and Sentinel 2 images are considered. The characteristics of the source materials and the capabilities of the software for their processing are given. It is shown that medium-resolution images are optimal for creating index images. 13 indexes were analyzed in order to identify, classify, evaluate, determine the dynamics and map violations of taiga forests. It has been established that vegetation indexes make it possible to identify areas devoid of vegetation and areas with a low degree of vegetation, analyze and map the state of vegetation cover on disturbed lands, fires, cuttings, quarries, and landfills. Quantitative characteristics of indices of different types of taiga landscapes are given. The possibilities, advantages and disadvantages of using index images in the interests of remote cartographic monitoring of vegetation cover are evaluated. It was found that the inclusion of index images in the source information for clustering significantly improves the quality of classification

without training. It is noted that the indexes do not reflect absolute quantitative indicators and strongly depend on the shooting conditions. However, relative indicators can be converted to absolute ones and correctly interpreted based on field data with the involvement of experts.

Keywords: Index images; indication of forest disturbance, index image capabilities

Введение

Тажная территория Среднего Приангарья характеризуется высокой антропогенной нагрузкой на растительный покров. В таежной зоне осуществляется интенсивная лесозаготовка, нередко лесные пожары, ведется активная горнопромышленная и иная производственная деятельность [1]. Основными внешними проявлениями нарушения таежных ландшафтов на исследуемой территории являются свежие, зарастающие и старые гари, вырубки на разной стадии восстановления, размываемые берега водохранилищ, горные карьеры и отвалы, автомобильные и железные дороги, объекты строительства.

Серьезность проблемы требует организации мониторинга на региональном уровне, а обширность территорий и высокая динамика изменений вызывает необходимость его реализации на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [2-8]. Этот подход в полной мере применим и к территории Среднего Приангарья [9-14]. Одним из эффективных инструментов такого мониторинга, является использование индексных изображений [15-17].

Методы и материалы

Индексные изображения, получаемые в результате обработки мультиспектральных снимков, позволяют извлечь неявную информацию о изобразившихся на снимках объектах. Эти изображения используются для идентификации различных видов растительности, выявления изменений растительного покрова по разновременным снимкам и т. д.

Для анализа нарушений лесного покрова исследуемой территории нами был создан ряд индексных изображений, в частности вегетационные индексы (ВИ), предназначенные для анализа именно растительности. Они создаются по данным, полученными в двух наиболее стабильных для растений зонах электромагнитного спектра – красной (R) и ближней инфракрасной (NIR). На первую из них (0,6-0,7 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а на вторую (0,7-1,0 мкм) – максимум отражения. Рассмотрим эти ВИ подробнее.

DVI – разностный ВИ, который подходит для задач, в которых необходимо подчеркнуть спектральное различие между растительностью и почвой. Индекс может принимать любые значения. Формула для расчёта:

$$DVI = NIR - R \quad (1)$$

NDVI – нормализованный разностный ВИ. Отражает количественную меру активной биомассы. Принимает значения от –1 до 1. Наиболее популярен среди исследователей [18]. Рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (2)$$

EVI – усовершенствованный ВИ, учитывающий влияние атмосферы, используя данные канала B2 (Blue). Диапазон от -1 до +1. Формула расчета:

$$EVI = \frac{2.5(NIR-R)}{NIR+6R-7.5B} \quad (3)$$

RVI – простой относительный ВИ. Изменяется от 0 до бесконечности. Применяется для нивелирования эффекта альбедо. Рассчитывается по формуле:

$$RVI = \frac{R}{NIR} \quad (4)$$

NRVI – нормализованный относительный ВИ. Рассчитывается по формуле:

$$NRVI = \frac{RVI-1}{RVI+1} \quad (5)$$

SAVI – почвенный ВИ, который учитывает влияние почвы. Диапазон значений от -1 до +1. Рассчитывается по формуле:

$$SAVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} (1 + L), \text{ где } L = [0; 1] \quad (6)$$

Также были применены индексы, которые напрямую не связаны с растительностью, но помогают оценить различные условия ее произрастания.

BSI – индекс голой земли, помогает отличить голую почву от растительности и воды. Рассчитывается по формуле:

$$BSI = \frac{(NIR-G)+R}{(NIR+G)+R} (-1) \quad (7)$$

NDWI – нормализованный разностный водный индекс, используется для определения влажности поверхности Земли. Изменяется от -1 до 1. Формула:

$$NDWI = \frac{G-NIR}{G+NIR} \quad (8)$$

NDMI – нормализованный индекс влажности. Характеризует относительное содержание влаги в почве и растениях. Изменяется от -1 до 1. Формула:

$$NDMI = \frac{NIR-SWIR1}{NIR+SWIR1} \quad (9)$$

MNDWI – модифицированный стандартизованный индекс различий воды. Используется для обнаружения водных объектов. Формула расчёта:

$$MNDWI = \frac{G-SWIR}{G+SWIR} \quad (10)$$

Также существуют индексы, предназначенные для идентификации выгоревших лесных территорий (гарей) разного возраста.

NBR (Normalized Burn Ratio) – нормализованный индекс гарей, основанный на соотношении ближнего инфракрасного (NIR) и среднего инфракрасного (SWIR) каналов. NIR-диапазон подчеркивает изменения в яркости гарей, а SWIR – изменения во влажности подстилающей поверхности. Формула:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (11)$$

NBR2 – модифицированный NBR, подчеркивает чувствительность растительности к воде, полезен в оценке восстановления лесов после пожара:

$$NBR2 = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad (12)$$

dNBR (Differenced Normalized Burn Ratio) – разностный нормализованный индекс гарей. Выявляет изменения растительности после пожаров. Формула:

$$dNBR = NBR_p - NBR_a, \quad (13)$$

где: NBR_p и NBR_a, соответственно, индексы гарей до и после пожара.

В качестве источника данных для расчета индексов послужили сцены Landsat-8,9 и Sentinel-2, загруженные с сайта NASA earthexplorer.usgs.gov [19]. Эти снимки поставляются с уже выполненной радиометрической коррекцией и готовы для целевой обработки.

Обработка данных выполнялась, с использованием SAGA GIS. Карты индексов DVI, RVI, NRVI, TVI, CIVI и SAVI созданы с использованием модуля Vegetation Indices (Slope based), EVI – модуля Enhanced Vegetation Indices, индексы NBR, NBR2, dNBR и BSI – с использованием растрового калькулятора. Индексы NDVI, MNDWI и NDMI были получены в готовом виде с использованием интерактивной веб-платформы Esri/Sentinel-2/Landsat Explorer.

Перед целевой обработкой снимков была выполнена топографическая коррекция освещенности в модуле Topographic Correction с использованием ЦМР SRTM. Также была произведена классификация без обучения методами k-means и ISODATA на основе пороговых значений индексов со включением различных ВИ в качестве компонентов неконтролируемой классификации.

Результаты и обсуждение

В целях получения границ эталонов для расчёта значений искомым индексов была выполнена процедура контролируемой классификации методом минимального расстояния. На ключевые участки были получены индексные изображения и выполнен их анализ на предмет возможности их применения в интересах дистанционного мониторинга и картографирования лесов (рис. 1).

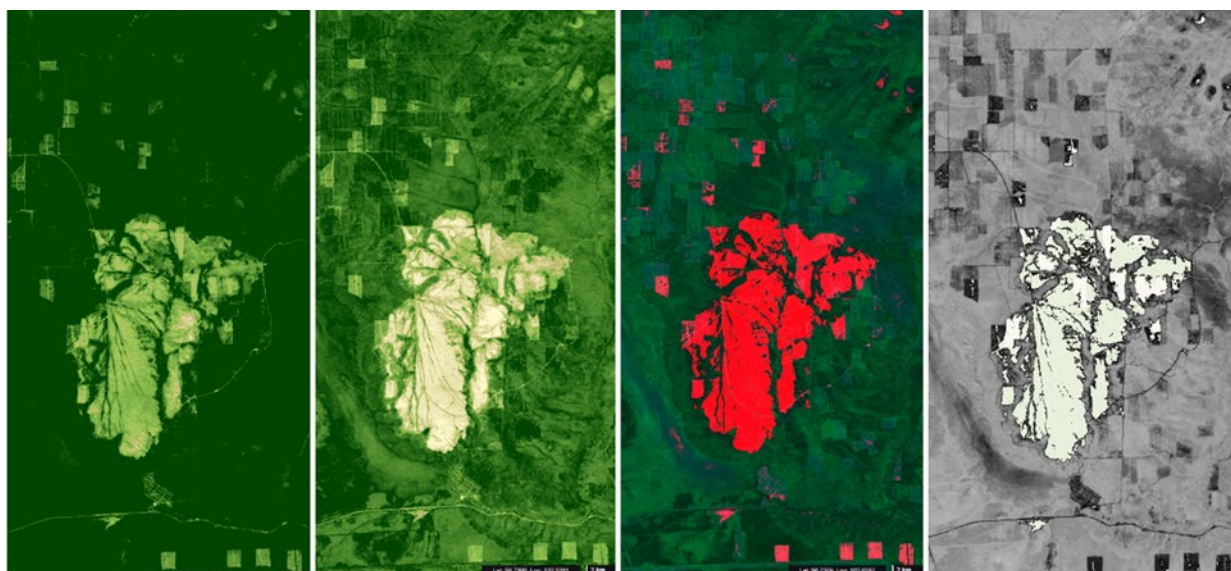


Рис. 1. ВИ ключевого участка Мамырь: а) NDVI, б) EVI, в) BSI, г) NBR. В центре гарь от пожара 26-28 июня 2018 г. (Landsat-8, 09.08.2018)

Значения полученных индексов для различных видов ландшафтов ключевого участка в районе поселка Мамырь отражены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения индексов ключевого участка Мамырь

	Свежая гарь	Старая гарь	Свежая вырубка	Старая вырубка	Смешанный лес	Хвойный лес	Кустарник	Застройка, дороги	Открытая вода
NDMI	-0,60	0,01	0,10	0,67	0,56	0,63	0,28	0,07	0,34
DVI	0,03	0,21	0,25	0,45	0,65	0,27	0,30	0,10	-0,03
NDVI	0,03	0,31	0,17	0,48	0,50	0,34	0,27	0,13	-0,05
MNDWI	-1,70	-0,61	-0,40	-0,19	-0,16	-0,10	-0,43	-0,25	0,57
NDWI	-0,03	-0,24	-0,22	-0,38	-0,36	-0,41	-0,24	0,11	0,04
EVI	0,01	0,04	0,07	0,20	0,18	0,27	0,11	0,04	0,00
RVI	1,07	1,24	1,42	2,75	2,81	1,78	1,83	1,23	0,91
NRVI	0,02	0,27	0,17	0,46	0,48	0,29	0,28	0,11	0,00
TVI	0,73	0,80	0,82	0,94	1,00	0,89	0,87	0,78	0,66
SAVI	0,02	0,17	0,22	0,57	0,56	0,30	0,31	0,11	-0,02
BSI	0,06	0,06	0,07	-0,14	-0,12	-0,19	-0,00	0,02	-0,01
NBR	-0,15	0,16	0,07	0,29	0,29	0,42	0,14	0,06	-0,01
NBR2	-0,04	0,03	0,12	0,12	0,13	0,17	0,13	0,04	-0,00

На территорию Мамырской гари дополнительно был определен разностный нормализованный индекс гарей dNBR.

Разрешение снимков Landsat-8 (30 м/пикс) обеспечивает хорошую естественную оптическую генерализацию индексных изображений при условии исключения из обработки «смешанных» пикселей.

Slope-based ВИ (NDVI, SAVI, EVI), которые рассчитываются на основе наклона линии «почва-растительность» в пространстве спектральных признаков для R и NIR каналов, наиболее просты в использовании и дают числовые результаты, которые легко интерпретировать. В то же время, все slope-based индексы не способны свести к минимуму фоновые эффекты почвы.

Индекс DVI требует масштабирования, что неудобно при анализе снимков разных территорий или времени съемки. Лучше использовать индекс NDVI, поскольку он в наилучшей степени способен минимизировать топографические эффекты в процессе идентификации растительности. Увеличение значений NDVI характерно для зарастающих гарей и вырубок. По мере восстановления лесов, NDVI приближается к своим значениям до пожара. Значения NDVI устойчивы для разных объектов одной и той же территории одного и того же момента съемки. Однако, эта устойчивость нарушается по мере увеличения площади исследуемой территории и изменения времени съемки. Кроме того, NDVI хорошо выявляет наличие или отсутствия леса, но плохо отличает вырубки от гарей, что требует привлечения данных о форме и текстуре объектов.

Индекс NBR хорошо отделяет гари от здорового леса и оптимален для обнаружения следов пожаров. По мере зарастания гарей NBR увеличивается.

Для разностного индекса гарей dNBR характерна отрицательная динамика, что также свидетельствует о постепенном зарастании гарей. Скорость восстановления зависит от породного состава леса и типа пожара.

Индекс SAVI позволяет минимизировать шумовое влияние почвы. Он более точен для оценки зелёной растительной массы при высокой влажности почвы.

Индекс EVI существенно снижает фоновый шум, атмосферный шум, отфильтровывая рассеянное коротковолновое излучение.

Значения индекса RVI больше 1 идентифицируют зеленую растительность и возрастают с увеличением зеленой фитомассы и сомкнутости растительности.

Высокие значения NDMI указывают на высокое содержание влаги в растительности, низкие – на низкое, что помогает отличить вырубку от гари.

Положительные значения NDWI указывают на наличие открытой воды. Недостатком индекса является то, что он дает положительные значения для зданий, дорожных покрытий, и голых грунтов, принимая их за воду. Этого недостатка лишен индекс MNDWI.

Индексные карты весьма эффективны при классификации без обучения методами k-means или ISODATA, которые автоматически разделяют изображение на заданное количество классов на основе значений пикселей исходных каналов. Кластеризация работает точнее при объединении в один стек каналов NIR, SWIR-1, SWIR-2 и карт NDVI, NBR, NDMI, взятых как отдельный слой, что позволяет увереннее выделять дешифровочные признаки классов растительности, уменьшает шумы, ускоряет расчеты и повышает их точность.

Все индексы сильно зависят от шумовых эффектов почвы, атмосферы, рельефа, пространственного разрешения, сезона, наличия водоемов и сооружений. Поэтому сложно сравнивать индексные изображения разновременных снимков, а также снимков разных географических зон.

Подбор снимков ограничен коротким периодом вегетации, повторяемостью съемки, облачностью (65-70%). ВИ, полученные по данным разных спутников, не совсем идентичны, вследствие различий значений центральных волновых чисел и ширины полос пропускания одноименных каналов.

Несмотря на большое количество индексов (только вегетационных около двухсот) [20], нет ни одного универсального для идентификации разных типов растительного покрова в разных географических условиях, что требует полевой верификации и экспертного сопровождения для конкретных территорий.

Заключение

Снимки среднего разрешения оптимальны для создания индексных изображений, так как вследствие естественной оптической генерализации не требуют сложных алгоритмов расчета, что позволяет легко получать индексные карты практически во всех программах обработки растровых данных.

Индексные карты позволяют эффективно выявляют участки, лишённые растительности, а также зоны с низкой степенью вегетации, что критично для анализа и картографирования состояния приангарской тайги на нарушенных землях: гарях, вырубках, карьерах и отвалах; отслеживать динамику растительности на нарушенных землях. Это позволяет назначать мероприятия по рекультивации нарушенных участков и планировать организацию хозяйственной деятельности таежных территорий Приангарья.

Включение индексных изображений во входные пакеты для компьютерной классификации космических снимков значительно повышает ее качество. В то же время, вегетационные индексы не дают абсолютных количественных показателей, но относительные оценки можно пересчитать в абсолютные на основе полевых стационарных и маршрутных данных с привлечением экспертов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пластинин Л.А. Ступин В.П. Картографо-космический мониторинг зоны воздействия водохранилищ ангарского каскада / Иркутск: Изд-во ИрНТУ. – 2018 г. – 180 с.
2. Хамедов В. А. Применение радарных данных Sentinel-1 для оценки состояния растительного покрова // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. – Красноярск: СФУ, 2022. – С. 155-158.
3. Алтынцев М. А., Гордиенко А. С., Гук А. А. Вейвлет-анализ для выявления вырубок в лесных массивах по аэрофотоснимкам // ГЕО-Сибирь-2010. – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 4, ч. 1. – С. 3–8.
4. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. – Москва: ИКИ РАН, 2016. – 208 с.
5. Ващук Л.Н., Пластинин Л.А., Ступин В.П. и др. Картографирование лесов Сибири с использованием новых материалов спутниковых радарных съемок // География на рубеже веков. Иркутск, 2001. – С. 221-222.
6. Аксенов, Д. Е. Космические снимки для задач лесного хозяйства // Земля из космоса. – 2009. – № 1. – С. 10-15.
7. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. Deering D.W, 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317. 99.
8. Tucker C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of the Environment 8:127-150.

9. Пластинин, Л. А., Ступин В. П., Олзоев Б. Н. Картографо-космический мониторинг природных и антропогенных процессов и явлений Байкальского региона // Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 1, № 2. – С. 178-184.
10. Клевцов, Е. В., Коптев А. В. Космический мониторинг таежных геосистем Байкальского региона // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 11(58). – С. 63-67.
11. Пластинин Л. А., Ступин В. П., Хамедов В. А. Методология и методическое обоснование картографо-космического мониторинга растительного покрова Сибири // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. – Красноярск: СФУ, 2023. – С.261-265.
12. Пластинин Л.А., Ступин В.П., Хамедов В.А. Космический мониторинг трансформации лесного покрова зоны влияния каскада Ангарских водохранилищ Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. – Красноярск: СФУ, 2024. – С. 261-267.
- 13 Ступин В.П. ГИС-анализ спектрозональных снимков в целях картографо-космического мониторинга вырубок и гарей таежных лесов Приангарья // ГЕО-Сибирь. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Т. 1.
14. Пластинин Л.А., Ступин В.П., Хамедов В.А. Методология и методическое обоснование картографо-космического мониторинга растительного покрова Сибири // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. – Красноярск, изд-во СФУ, 2023 – С. 261-265.
15. Гордиенко А.С. Применение индексных изображений при выявлении изменений по разновременным космическим снимкам // ГЕО-Сибирь. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 67-70.
16. Soverel N. O., Perrakis D.D.B., Coops N.C., 2010, Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada: Remote Sensing of Environment, v. 114, no. 9, p. 1896-1909.
17. Sellers P.J., 1985. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. International Journal of Remote Sensing 6:1335-1372.
18. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. URL: <http://gislab/info/ga/ndvi.html>, свободный. – Яз. рус. – Дата обращения: 10.01.2017 г.
- 19 Официальный сайт Геологической Службы Соединённых Штатов – USGS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.usgs.gov> свободный. – Загл. с экрана.
- 20 Index Data Base [Электронный ресурс]. URL: <https://www.indexdatabase.de>, свободный - Яз. англ. – Дата обращения 28.03.2026 г.

© В. П. Ступин 2026

Д. Н. Волежжанин^{1,2✉}, Я. Г. Пошивайло¹

Геоинформационное обеспечение изыскательской деятельности на базе Единой цифровой платформы «Национальная система пространственных данных»

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

²Территориальный отдел в г. Новосибирске Сибирского филиала ФАУ «Главгосэкспертиза России», г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: d.volegzhanin@gge.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам использования методов геоаналитики и выбора единой цифровой платформы для разработки объективного механизма расчета сметной стоимости инженерных изысканий, обеспечивающего получение справедливой цены контракта по единым правилам. Инженерные изыскания являются неотъемлемой частью градостроительной деятельности, их сметная стоимость должна быть максимально приближена к рыночным реалиям. Порядок определения сметной стоимости инженерных изысканий подразумевает систему оценки исследуемой территории по категориям выполнения работ, что напрямую влияет на выбор соответствующего показателя затрат на выполнение работ. Категории выполнения работ определяются на основе комбинации критериев природных, техногенных и технологических условий участка изысканий. Значения критериев устанавливаются по результатам ручной когнитивной обработки неклассифицированных картографических материалов, являются субъективными и нерелевантными. В статье рассматривается возможность, и делается вывод о необходимости и достаточности, использования Единой цифровой платформы «Национальная система пространственных данных» как источника объективных геопро пространственных данных для решения прикладных задач инженерных изысканий на основе методов геоаналитики.

Ключевые слова: инженерные изыскания, сметная стоимость, геоинформационное обеспечение, категория выполнения работ, национальная система пространственных данных, методы геоаналитики

D. N. Volegzhanin^{1,2✉}, Ya. G. Poshivaylo¹

Geoinformation provision for engineering surveys based on the Unified Digital Platform "National Spatial Data System"

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

²Territorial department in Novosibirsk of the Siberian Branch of the FAA "Glavgosexpertiza of Russia", Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: d.volegzhanin@gge.ru

Abstract. This article is devoted to the use of geospatial analytics methods and the selection of a unified digital platform for developing an objective mechanism to calculate the estimated cost of engineering surveys, ensuring a fair contract price under uniform rules. Engineering surveys are an integral part of urban planning, and their estimated cost should be as close as possible to market realities. The procedure for determining the estimated cost of engineering surveys implies a system for assessing the surveyed area based on work complexity categories, which directly influences

the selection of the corresponding cost indicator for performing the work. Work complexity categories are determined based on a combination of criteria related to the natural, man-made, and technological conditions of the survey site. The values of these criteria are established based on the manual cognitive processing of unclassified cartographic materials, which makes them subjective and irrelevant. This article examines the feasibility, and concludes on the necessity and sufficiency, of using the Unified Digital Platform "National Spatial Data System" as a source of objective geospatial data for solving applied engineering survey tasks based on geospatial analysis methods.

Keywords: engineering surveys, estimated cost, geoinformation provision, work complexity category, national spatial data system, geospatial analytics methods

Проблемы определения сметной стоимости изыскательских работ

Инженерные изыскания являются неотъемлемой частью градостроительной деятельности. Они выполняются для изучения природных условий и факторов техногенного воздействия с целью подготовки исходных данных по обоснованию материалов, необходимых для территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования [1].

Анализ текущего состояния инженерных изысканий в Российской Федерации показал, что ситуация с определением сметной стоимости изыскательских работ не удовлетворяет изыскательское сообщество по следующим причинам [2]:

1. Существующие методики определения стоимости изыскательских работ:
 - не отражают в полной мере фактические затраты на проведение изыскательских работ;
 - не отражают в полной мере актуальные изменения в законодательстве и технических нормах;
 - не учитывают современные технологии выполнения изыскательских работ.
2. Существующие нормативы, отражающие трудоемкость выполнения изыскательских работ, не соответствуют современному уровню техники и технологий.
3. Существующая практика определения сметной стоимости изыскательских работ в текущем уровне цен с использованием инфляционных индексов изменения стоимости не позволяет определить стоимость работ, выполняемых в рамках государственных контрактов, максимально приближенно к рыночным реалиям.
4. Начальная максимальная цена контракта (НМЦК) на выполнение изыскательских работ, публикуемая при объявлении конкурса, и та цена, которая объявляется после его завершения, не может рассматриваться в качестве ориентира для планирования изысканий.
5. Цена контракта на выполнение изыскательских работ определяется в процентах от всей сметной стоимости проекта, включающей в себя инженерные изыскания, проектирование и строительство, что девальвирует роль сметных нормативов на инженерные изыскания.

Порядок определения НМЦК при осуществлении закупок подрядных работ по инженерным изысканиям установлен приказом Минстроя России от 23.12.2019 №841/пр [3]. Таким образом, НМЦК определяется с применением методов, предусмотренных частью 1 статьи 22 Федерального закона № 44-ФЗ [4], в том числе с составлением расчетов (смет) на основании сметных нормативов, включенных в федеральный реестр сметных нормативов, формируемый Минстроем России.

В свою очередь, как устаревший Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства [5], так и новые Нормативные затраты на работы по инженерно-геодезическим изысканиям [6], подразумевают систему оценки территории производства изысканий по категориям (сложности) выполнения работ, что напрямую влияет на выбор соответствующего показателя затрат (цены) на выполнение работ.

Категории (сложности) выполнения работ определяются на основе комбинации критериев природно-техногенных условий конкретного участка местности, где будут проводиться изыскания. Значения критериев устанавливаются по результатам ручной когнитивной обработки неклассифицированных картографических материалов и являются субъективными и нерелевантными.

Иначе говоря, отсутствует объективный механизм расчета сметной стоимости инженерных изысканий, позволяющий обеспечить получение справедливой цены контракта по единым для всех участников рынка правилам.

Применение методов геоаналитики для определения категорий (сложности) выполнения изыскательских работ

Решением проблемы получения объективных релевантных значений критериев, определяющих категорию (сложности) выполнения работ, является использование геоинформационных технологий, в частности, методов геоаналитики.

В начале XXI века в области наук о Земле проявились новые тенденции развития, появился ряд новых понятий, взаимосвязанных между собой [7]: геоинформация и геоинформационное пространство [8]. Каждый объект геоинформационного пространства характеризуется пространственными свойствами: местоположением (координатами), формой и размерами – геоинформацией. Поэтому в предметной области геоинформатики возникает задача определения новых форм и уровней представления информации об окружающем нас пространстве [7].

Использование методов геоаналитики для решения прикладных задач в области инженерных изысканий, в свою очередь, подразумевает формирование единого электронного геопространства, позволяющего избежать субъективного подхода при определении числовых значений различных критериев.

В этой парадигме в рамках рассматриваемого междисциплинарного научного направления, занимающегося обоснованием и реализацией электронного геопространства, из пяти самостоятельных (частично пересекаемых) сфер дея-

тельности и соответствующих им исследований практический интерес представляют первые четыре [7]:

- создание геоинформационного пространства, отражающего пространственные свойства окружающего физического мира;
- формирование геоинформационной техносферы, включающей системы ГИС-обработки;
- формирование организационно-правовой и экономической основы получения и использования геоинформации и различных геоинформационных продуктов;
- создание инфраструктуры пространственных данных для разных территориальных образований (уровней) на основе принятых соглашений и норм.

Пятая сфера деятельности – создание Цифровой Земли [7, 9] для разных территориальных уровней в настоящее время не рассматривается, так как ее реализация возможна лишь в среднесрочной перспективе.

Национальная система пространственных данных как источник данных для геоаналитики

В качестве общего геоинформационного пространства в Российской Федерации используется Федеральная государственная информационная система «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных» (ЕЦП НСПД).

ЕЦП НСПД – это единая цифровая платформа, объединяющая пространственные данные о природных, техногенных других элементах окружающей среды. Эта платформа создана в рамках государственной программы «Национальная система пространственных данных», утвержденной постановлением Правительства РФ от 01.12.2021 №2148 [10], и введена в эксплуатацию постановлением Правительства РФ от 07.06.2022 №1040 [11].

Концепция ЕЦП НСПД практически полностью соответствует концепции электронного геопространства в части выделения сфер деятельности, в том числе по созданию Цифровой Земли в виде Единого информационного ресурса о земле и недвижимости.

Целью ЕЦП НСПД является создание единого цифрового пространства для работы с геопространственными данными, а также оптимизация процессов территориального планирования, проектирования и строительства, устранение проблемы ведомственной разобщенности информационных ресурсов, содержащих данные о земле и недвижимости.

Главным инструментом ЕЦП НСПД является интерактивная карта, которая может и должна стать источником объективных геопространственных данных для решения различных народнохозяйственных задач, при условии обеспечения ее наполнения актуальной геоинформацией под каждый тип решаемой задачи.

Заключение

Для успешного решения прикладных задач архитектурно-строительного проектирования на основе методов геоаналитики, в том числе задач инженерных

изысканий, необходимо и достаточно использовать единое цифровое геоинформационное пространство, каковым является ЕЦП НСПД – источник объективных геопространственных данных. Развитие ЕЦП НСПД станет основным драйвером развития отечественной геоинформатики на ближайшие десятилетия.

Основной чертой ЕЦП НСПД является ее открытость. По словам руководителя Росреестра, на платформе содержится порядка четырех тысяч информационных слоев данных, имеющих юридически значимый характер [12]. ЕЦП НСПД является реализацией концепции Единой открытой среды для разработки и использования геопространственных данных. Доступ к данным осуществляется с использованием как встроенных сервисов, так и полноценного API по работе с данными (для уполномоченных органов или для заключивших соглашение).

Платформа является достаточно новой, находящейся в состоянии постоянного развития. Оперативное наполнение такой огромной цифровой экосистемы актуальными данными, развитие системы сервисов на основе этих данных требует привлечения сторонних участников. Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ) обладает всеми необходимыми компетенциями и кадровой базой для участия в совершенствовании ЕЦП НСПД. Например, силами СГУГиТ возможно расширить функционал существующего сервиса «Помощник изыскателя», наделив его возможностью расчета справедливой цены контракта на инженерные изыскания по единым для всех участников рынка правилам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 23.03.2026). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 19.04.2026).

2. Анализ текущего состояния инженерных изысканий в Российской Федерации. Первая редакция проекта дорожной карты развития инженерных изысканий в Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года / Национальное объединение изыскателей и проектировщиков (НОПРИЗ), Комитет по инженерным изысканиям; исполн. ООО «Институт развития строительного комплекса "ЭВКЛИД"». – Москва, 2025. – 234 с.

3. Об утверждении Порядка определения начальной (максимальной) цены контракта, цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), начальной цены единицы товара, работы, услуги при осуществлении закупок в сфере градостроительной деятельности (за исключением территориального планирования) и Методики составления сметы контракта, предметом которого являются строительство, реконструкция объектов капитального строительства: приказ Минстроя России от 23.12.2019 № 841/пр (ред. от 15.09.2025). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_344610/ (дата обращения: 19.04.2026).

4. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд: Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ (ред. от 23.03.2026). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/ (дата обращения: 19.04.2026)

5. Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства. Инженерно-геодезические изыскания / Госстрой России. – М.: ПНИИИС, 2004. – 134 с.

6. Об установлении нормативных затрат на работы по инженерно-геодезическим изысканиям и о признании утратившим силу приказа Минстроя России от 30 марта 2022 г.

- № 221/пр: приказ Минстроя России от 02.12.2024 № 812/пр. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_492244/ (дата обращения: 19.04.2026).
7. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Электронное геопространство – сущность и концептуальные основы // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 41–44.
8. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: монография. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 259 с.
9. Gore A. The Digital Earth: Understanding our planet in 21st Century. Http://www.digitalearth.gov/VP_19980131.html.
10. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных»: постановление Правительства РФ от 01.12.2021 № 2148 (ред. от 11.02.2025). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_403070/ (дата обращения: 19.04.2026).
11. О федеральной государственной географической информационной системе «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных»: постановление Правительства РФ от 07.06.2022 № 1040 (ред. от 30.05.2025). – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202206100048> (дата обращения: 19.04.2026).
12. В Росреестре рассказали о работе национальной системы пространственных данных: интервью с О. Скуфинским / Новости на Вести.ru // Вести.ru. – 2025. – 30 окт. – URL: <https://www.vesti.ru/article/4757645> (дата обращения: 19.04.2026).

© Д. Н. Волегжанин, Я. Г. Пошивайло, 2026

Д. А. Гура^{1,2}, Р. А. Дьяченко^{1,3}, Т. А. Тихонов¹✉

Сравнительный анализ методов CANUPO, 3DMASC и глубокого обучения для семантической сегментации облаков точек городской территории с учетом типа застройки

¹Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Российская Федерация

²Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Российская Федерация

³Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)
Москва, Российская Федерация
e-mail: timka2015@yandex.ru

Аннотация. В работе представлены результаты сравнительного анализа методов CANUPO, 3DMASC и глубокого обучения на примере архитектуры PointTransformer при решении задачи семантической сегментации объектов в облаке точек городской территории. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности использования данных воздушного лазерного сканирования для кадастрового учета, мониторинга застройки, формирования трехмерных моделей объектов недвижимости и поддержки управленческих решений. В качестве исходных данных использован аутентичный набор данных г. Краснодара, включающий гаражную, малоэтажную, промышленную и многоэтажную застройки. Оценка качества обучения выполнена по восьми семантическим классам с использованием показателя mIoU как основной метрики. Установлено, что модель, обученная на архитектуре PointTransformer, обеспечивает наилучшее качество сегментации объектов во всех рассмотренных морфотипах застройки.

Ключевые слова: семантическая сегментация; облака точек; воздушное лазерное сканирование; городская территория; морфотипы застройки; CANUPO; 3DMASC; PointTransformer; Краснодар; трехмерный кадастр

D. A. Gura^{1,2}, R. A. Dyachenko^{1,3}, T. A. Tikhonov¹✉

Comparative analysis of CANUPO, 3DMASC and PointTransformer methods for semantic segmentation of urban point clouds considering building morphology

¹Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

²Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

³Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University) Moscow, Russia
e-mail: timka2015@yandex.ru

Abstract. This paper presents the results of a comparative analysis of CANUPO, 3DMASC, and deep learning methods using the PointTransformer architecture as an example for solving the problem of semantic segmentation of objects in an urban point cloud. The relevance of the study stems from the need to improve the efficiency of using airborne laser scanning data for cadastral registration, development monitoring, generating 3D models of real estate, and supporting management decisions. An authentic dataset for the city of Krasnodar, including garages, low-rise, industrial, and high-rise buildings, was used as the initial data. Training quality was assessed for eight semantic classes using the mIoU indicator as the primary metric. It was found that the model trained on the PointTransformer

architecture provides the best quality of object segmentation across all the development morphotypes considered.

Keywords: semantic segmentation; point clouds; airborne laser scanning; urban area; building morphotypes; CANUPO; 3DMASC; PointTransformer; Krasnodar; three-dimensional cadastre

Введение

Воздушное лазерное сканирование формирует высокодетальные облака точек, которые могут использоваться не только для построения цифровых моделей местности, но и для решения прикладных задач кадастрового учета, контроля землепользования, мониторинга изменений застройки и выявления фактических параметров объектов капитального строительства. При этом ценность таких данных определяется не только плотностью и точностью съемки, но и возможностью автоматического выделения семантически значимых объектов городской среды [1].

Семантическая сегментация облаков точек обеспечивает переход от неструктурированного набора координат к интерпретируемому описанию сцены, где каждой точке сопоставляется класс объекта. В крупных бенчмарках, включая Semantic3D [2], для оценки методов сегментации используются восемь классов, что делает задачу достаточно универсальной для анализа городской среды.

Несмотря на развитие алгоритмов обработки трехмерных данных, качество сегментации существенно зависит от морфологии городской застройки. Гаражная, малоэтажная, промышленная и многоэтажная застройка различаются по плотности объектов, высотности, регулярности форм, наличию малых элементов и степени перекрытия классов. Поэтому метод, демонстрирующий приемлемое качество на одной сцене, может оказаться менее устойчивым на другой. Это делает необходимым не только сравнение методов в целом, но и анализ их работы применительно к разным типам городской структуры.

Цель исследования заключается в сравнительном анализе методов CANUPO, 3DMASC и глубокого обучения на основе PointTransformer при семантической сегментации облаков точек городской территории с учетом морфотипов застройки. Для достижения цели выполнено зонирование территории г. Краснодара по основным типам застройки, сформированы обучающие выборки для каждого морфотипа, проведено обучение и апробация методов, а также выполнено сопоставление результатов по метрике mIoU.

Методы и материалы

Исходными данными послужило облако точек городской территории г. Краснодара, полученное по результатам воздушного лазерного сканирования и представленное в виде набора фрагментов с разными типами застройки. Для эксперимента были выделены четыре морфотипа: гаражная, низкоэтажная, промышленная и многоэтажная застройка (рис. 1). Такой выбор позволяет проверить методы в сценах, которые различаются по размеру объектов, плотности размещения зданий, геометрии крыш и наличию растительности.

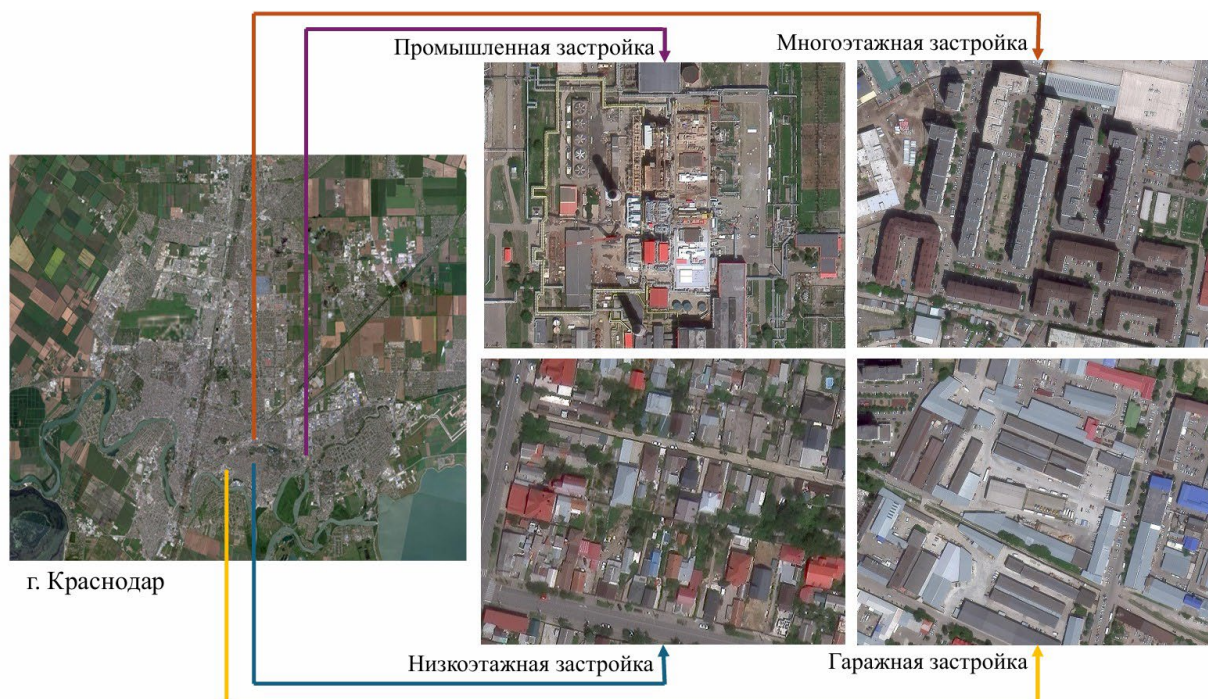


Рис. 1. Зонирование г. Краснодара на разные типы застройки

Набор данных является аутентичным для исследования, что принципиально отличает его от универсальных открытых наборов данных. В отличие от синтетических или заимствованных сцен, реальные данные г. Краснодара отражают особенности локальной городской морфологии, характер застройки и неоднородность объектов. Это повышает практическую значимость эксперимента для задач кадастра и мониторинга городской среды.

Метод CANUPO использовался как классический интерпретируемый подход, основанный на многомасштабном анализе локальной геометрии облака точек [3,4]. Обучение выполнялось отдельно для каждого типа городской застройки. В работе использовались только геометрические признаки, то есть координаты точек XYZ без учета цветовой информации RGB. В ходе экспериментов был выполнен подбор наборов масштабов, а также параметра достоверности классификации, который определяет минимальный уровень уверенности модели при присвоении класса точке. Рассматривались значения 0,00; 0,70; 0,80 и 0,90. Наилучшие результаты были получены при значении 0,00, поскольку при увеличении порога значительная часть точек начинала относиться к неопределенному классу. Для уменьшения влияния дисбаланса классов использовалась балансировка обучающей выборки с ограничением не более 12000 точек на класс. В качестве классификатора применялась попарная линейная дискриминантная классификация

Метод 3DMASC рассматривался как более продвинутый метод, сочетающий многомасштабный анализ геометрии облака точек и методы машинного обучения [5,6]. Для каждой точки вычислялся набор геометрических признаков на нескольких пространственных масштабах, после чего выполнялась классифи-

кация точек по семантическим классам. В работе использовались только геометрические координаты XYZ без применения цветовой информации RGB. Анализ выполнялся в режиме многомасштабного поиска соседних точек с масштабами 2, 4, 8, 16 и 32 м. Максимальное число соседних точек ограничивалось значением 192. Для каждой точки рассчитывалось 76 геометрических признаков, характеризующих форму, плотность, шероховатость и пространственную структуру локального окружения. Классификация выполнялась методом случайного леса (Random Forest), включающим 100 деревьев решений, с ограничением глубины деревьев 25, автоматической балансировкой классов и выбором случайного подмножества признаков при построении каждого дерева.

В качестве архитектуры глубокого обучения использовалась PointTransformer [7]. Применение данной архитектуры позволяет учитывать не только локальную геометрию точек, но и пространственные взаимосвязи между различными участками сцены, что особенно важно при различении объектов со сходной формой и сложной городской структурой. В отличие от CANUPO и 3DMASC, метод глубокого обучения способен автоматически формировать и адаптировать признаки под особенности конкретного набора данных, что повышает гибкость модели при решении задачи

Результаты

Для оценки эффективности исследуемых методов был проведен сравнительный эксперимент на облаках точек различных типов городской застройки. Качество сегментации оценивалось с использованием метрики mIoU, широко применяемой в задачах семантической сегментации. В таблице 1 представлены результаты для методов CANUPO, 3DMASC и PointTransformer по каждому морфотипу городской территории, а также усредненные значения по всем обучающим наборам данных.

Таблица 1 – Сравнение методов сегментации по метрике mIoU, %

Тип застройки	CANUPO	3DMASC	PointTransformer
Гаражная	8,93	21,69	47,87
Низкоэтажная	15,87	30,45	42,82
Промышленная	22,81	51,03	55,50
Многоэтажная	13,89	36,43	49,02
Среднее	15,38	34,90	48,80

Обсуждение

Сравнение методов показало, что качество семантической сегментации зависит как от выбранного алгоритма, так и от типа городской застройки. Наиболее высокие значения mIoU во всех четырех морфотипах получил PointTransformer. Метод 3DMASC стабильно превосходил CANUPO и показал себя как сильный классический подход, однако в среднем уступил нейросетевой модели. CANUPO оказался наиболее ограниченным по точности, что связано с использованием

преимущественно геометрических многомасштабных признаков и менее гибкой схемой классификации

Среднее значение mIoU для PointTransformer составило 48,80%, что выше результата 3DMASC на 13,90 п.п. и выше результата CANUPO на 33,43 п.п. Такое преимущество подтверждает целесообразность применения нейросетевых методов для задач семантической сегментации городских облаков точек, особенно в условиях неоднородной структуры сцены и несбалансированного распределения объектов по классам.

Наиболее выраженное преимущество PointTransformer над 3DMASC отмечено для гаражной застройки: 47,87% против 21,69%, прирост составляет 26,18 п.п. Вероятной причиной является сложность данного морфотипа, где присутствуют компактные объекты, повторяющиеся формы, плотное размещение построек и слабая выраженность отдельных классов. В таких условиях локальных геометрических признаков оказывается недостаточно, тогда как нейросетевая модель лучше использует контекст и взаимное расположение элементов сцены. Минимальный разрыв между PointTransformer и 3DMASC получен для промышленной застройки: 55,50% против 51,03%, разница составляет 4,47%.

Заключение

Проведенное исследование показало, что качество семантической сегментации облаков точек зависит как от типа городской застройки, так и от выбранного метода обработки данных. Метод 3DMASC показал приемлемые результаты, однако его точность оказалась ниже по сравнению с методом глубокого обучения.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № ЛАБ-24.1/2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов Р. Д. Автоматизированное создание 3D-кадастровых моделей на основе данных воздушного и наземного лазерного сканирования / Р. Д. Морозов, А. А. Царенко // Вавиловские чтения - 2025 : сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 138-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова, Саратов, 24-28 ноября 2025 года. Саратов : Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, 2025. С. 426-430.
2. Hackel, T. Semantic3D.net: A new large-scale point cloud classification benchmark / T. Hackel, N. Savinov, L. Ladicky, J. D. Wegner, K. Schindler, M. Pollefeys // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2017. Vol. IV-1/W1. P. 91-98. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-1-W1-91-2017.
3. Гура Д. А. Применение алгоритма CANUPO для классификации точек лазерного отражения / Д. А. Гура, Р. А. Дьяченко, Т. А. Тихонов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2025. Т. 4. С. 210-216. DOI: 10.33764/2618-981X-2025-4-210-216.
4. Soilan, M. PointNet for the automatic classification of aerial point clouds / M. Soilan, R. Lindenbergh, B. Riveiro, A. Sanchez-Rodriguez // ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2019. № 2(5). P. 445.
5. Brodu, N. 3D terrestrial LiDAR data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion: applications in geomorphology / N. Brodu, D. Lague // ISPRS Journal

of Photogrammetry and Remote Sensing. 2012. Vol. 68. P. 121-134. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.01.006.

6. Letard, M. 3DMASC: Accessible, explainable 3D point clouds classification. Application to bi-spectral topo-bathymetric LiDAR data / M. Letard, D. Lague, A. Le Guennec, S. Lefevre, B. Feldmann, P. Leroy, D. Girardeau-Montaut, T. Corpetti // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2024. Vol. 207. P. 175-197. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2023.11.022.

7. Гура Д.А. Настройка обучения моделей при классификации и сегментации облаков точек / Д. А. Гура, Р. А. Дьяченко, Е. С. Бойко, Д. А. Левченко // Искусственный интеллект и принятие решений. 2024. № 1. С. 92-102. DOI: 10.14357/20718594240108.

© Д. А. Гура, Р. А. Дьяченко, Т. А. Тихонов, 2026

Е. А. Бровко^{1,2}, А. Н. Одинокоев³

Методологические аспекты проектирования геоинформационного сервиса (на примере задачи организации командных спортивных мероприятий)

¹ППК «Роскадастр», г. Москва, Российская Федерация

²Московский университет геодезии и картографии (МИИГАиК),
г. Москва, Российская Федерация

³Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),
г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: oan.msk@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены методологические аспекты проектирования геоинформационного сервиса, который может рассматриваться как составная компонента геопортала национальной системы пространственных данных (НСПД). Актуальность исследования обусловлена отсутствием комплексных геоинформационных решений, объединяющих пространственное планирование, социальную координацию и инструменты анализа и управления в сфере устойчивого роста массовых спортивных мероприятий различного уровня в Российской Федерации. На основе результатов анализа рынка, целевой аудитории и пятнадцати (15) конкурентных платформ (под которыми понимаются как зарубежные — Strava, Meetup, OpenStreetMap, так и российские — 2GIS, Яндекс.Карты, RTTF.ru) сформулированы требования к геоинформационному сервису. Разработанная микросервисная архитектура сервиса с выделенным GIS-модулем на базе PostgreSQL/PostGIS, призвана обеспечить масштабируемость и независимость от внешних картографических API (API - Application Programming Interface, интерфейс программирования приложений, набор правил и инструментов для взаимодействия программных компонентов). Предложенные методологические аспекты адаптивной картографической визуализации основаны на анализе запросов и исследования поведения пользователей специализированного геоинформационного сервиса. В процессе проведенного исследования впервые разработана семиотическая система условных знаков, позволяющая кодировать до восьми параметров спортивного события в одном составном маркере. Экспертная оценка прототипа геоинформационного сервиса с участием порядка 30 респондентов подтвердила: снижение когнитивной нагрузки (субъективной оценки усилий, необходимых для поиска и оценки информации на карте) на 45 % по сравнению с использованием стандартных картографических интерфейсов (Яндекс.Карты, 2GIS) в идентичных задачах поиска спортивных мероприятий; время распознавания ключевых параметров события по составному маркеру составило 0,8 секунды (на 33 % быстрее аналогов); точность распознавания достигла 94 % (на 24 % выше аналогов).

Ключевые слова: адаптивная визуализация, веб-ГИС, геоинформационный сервис, картографирование спортивных мероприятий, методологические аспекты проектирования, семиотическая система, PostGIS, UX-проектирование

Methodological aspects of designing a geoinformation service (using the example of the task of organizing team sports events)

¹PKK «Roskadastr», Moscow, Russian Federation

² Moscow University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

³ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: oan.msk@gmail.com

Abstract. The article presents methodological aspects of designing a specialized geoinformation service that can be an integral component of the geoportal of the national spatial data system (NSDS). The relevance of the study is due to the steady growth of mass sports in the Russian Federation and the lack of comprehensive geoinformation solutions combining spatial planning, social coordination, and analysis and management tools for team sports events of various levels. Based on an analysis of the market, target audience, and 15 competing platforms (both foreign — Strava, Meetup, OpenStreetMap, and Russian — 2GIS, Yandex.Maps, RTTF.ru), requirements for the geoinformation service are formulated. The developed microservice architecture with a dedicated GIS module based on PostgreSQL/PostGIS is designed to ensure scalability and independence from external cartographic APIs. The proposed methodological aspects of adaptive cartographic visualization are based on the analysis of user requests and behavior within a specialized geoinformation service. A key scientific result is the first developed semiotic system of symbols that allows encoding up to eight parameters of a sports event in a single composite marker. A composite marker is a graphic element consisting of several concentric layers: the outer outline encodes the status of available spots; the middle ring encodes the player skill level; the central icon encodes the sport type; corner indicators encode additional context. This concentric architecture allows users to instantly assess key event parameters without opening the event card. Expert evaluation of the geoinformation service prototype with approximately 30 respondents confirmed: a 45% reduction in cognitive load compared to standard cartographic interfaces (Yandex.Maps, 2GIS) for identical sports event search tasks; recognition time of key event parameters using the composite marker of 0.8 seconds (33% faster than analogues); and recognition accuracy of 94% (24% higher than analogues).

Keywords: adaptive visualization, web-GIS, geoinformation service, sports event mapping, design methodology, semiotic system, PostGIS, UX-design

Введение

Стремительное развитие геоинформационных технологий и создание на их основе новых видов цифровой картографической продукции, которые становятся неотъемлемой частью повседневных мобильных приложений, охватывает все сферы жизнедеятельности российских граждан, включая физическую культуру и спорт. Согласно данным Министерства спорта РФ, озвученным на коллегии ведомства [1] в июле 2025 года, доля систематически занимающихся спортом граждан достигла 61 %, что создает устойчивый спрос на цифровые инструменты самоорганизации.

Как показал экспертный анализ [2-4], сегмент организации спортивных любительских командных игр (футбол, баскетбол и др.) остается фрагментированным. Платформы для бронирования (Sportradar, местные решения) решают задачу доступа к инфраструктуре, но не предлагают инструментов для сбора команды. Спортивные трекеры (Strava, Adidas Running) ориентированы на индиви-

дуальные, а не командные активности. Картографические сервисы (2GIS, Яндекс.Карты) предоставляют детальную основу, но не содержат специализированных данных о спортивных площадках и их статусе. Мессенджеры (MAX, VK, Telegram) обеспечивают коммуникацию, но не структурированы под задачи организации событий.

Ключевое противоречие, выявленное в ходе экспертного анализа, заключается в разрыве между пространственным планированием и социальной координацией. При этом следует использовать несколько приложений, что увеличивает время от идеи до ее реализации и снижает пользовательский опыт.

Как отмечают С. С. Янкелевич и Е. Л. Кухаренко [5], «современные базы геопространственных знаний позволяют интегрировать разнородную информацию о территориальных объектах, создавая основу для цифровых сервисов, сопровождающих пользователя на всех этапах взаимодействия с пространственными данными».

Целью настоящей публикации является изложение разработанных методологических аспектов создания геоинформационного сервиса для организации полного цикла командных спортивных мероприятий различного уровня. Данный сервис может стать составной компонентой геопортала национальной системы пространственных данных (НСПД).

Методы и материалы

Анализ литературных источников выполнен по следующим основным направлениям исследования:

- теоретические основы геоинформационного картографирования [6, 7];
- проектирование веб-ГИС и геосервисов [8, 9];
- автоматизация организации любительских командных спортивных мероприятий [5, 10];
- оценка рыночных данных (Statista, J'son & Partners Consulting, PwC) и функциональности 15 конкурентных решений, включая международные (Strava, Meetup, OpenStreetMap) и российские платформы (2GIS, Яндекс.Карты, RTTF.ru).

Для систематизации данных использован метод сравнительного анализа по 12 критериям, включая оценку наличия картографической основы, инструментов создания событий, коммуникационных функций и пост-игровой аналитики.

Методика проектирования геоинформационного сервиса базируется на подходе User-Centered Design (UCD) [11] и включает:

- 1) разработку пользовательских персон на основе данных опроса целевой аудитории ($n = 50$, активные спортсмены в возрасте 18–45 лет);
- 2) формализацию сценариев использования через методологию Jobs-to-be-Done (JTBD);
- 3) проектирование архитектуры сервиса по микросервисному принципу;
- 4) разработку технического задания на ключевые модули: сервис мероприятий, GIS-сервис, сервис коммуникации и сервис репутации.

Разработанная многоуровневая система отображения – картографическая визуализация включает четыре уровня детализации: макро-вид (тепловая карта), мезо-вид (кластеры), микро-вид (составные маркеры), детальный вид (карточка события).

Для формирования системы условных обозначений заимствованы и адаптированы «принципы визуальных переменных» Ж. Бертена [12] для показа динамических объектов. Принципы заключаются в кодировании информации о спортивном событии посредством изменения:

- цвета изображения (вид спорта, статус мест);
- насыщенности (активность события);
- размера (масштабозависимость);
- ориентации (временная близость).

Для проверки предложенных технологических решений:

- создан действующий экспериментальный макет-веб-прототип (HTML5, CSS3, JavaScript, Leaflet.js), реализующий ключевые геоинформационные функции;

проведено usability-тестирование разработанной системы визуализации против существующих решений (2GIS, Яндекс.Карты) с участием 30 респондентов с использованием расчетных методов, при этом измерялись: время выполнения задач (поиск мероприятия с заданными параметрами);

- определена точность распознавания ключевых параметров;
- оценена субъективная когнитивная нагрузка (по шкале NASA-TLX);
- выполнена статистическая обработка данных с использованием t-критерия Стьюдента (уровень значимости $p < 0,05$).

Результаты

На основе проведенного анализа сформулированы комплексные требования к проектируемому сервису, структурированные по группам (табл. 1).

Таблица 1 – Требования к геоинформационному сервису

№	Группа требований	Содержание
1	Функциональные	Создание и поиск мероприятий, управление участниками, коммуникация, система рейтингов
2	Геоинформационные	Интерактивная карта, тематические слои, пространственный поиск, маршрутизация
3	Технические	Микросервисная архитектура, PostgreSQL/PostGIS, кэширование, время отклика < 2 с
4	Эргономические	Создание события ≤ 3 шагов, поиск игры ≤ 5 касаний, офлайн-доступ

Для реализации сформулированных требований предложена микросервисная архитектура (рис. 1), ключевыми компонентами которой являются:

- API Gateway (единая точка входа для клиентских приложений);
- сервис пользователей (управление профилями и аутентификацией);
- сервис мероприятий (ядро бизнес-логики);
- GIS-сервис (специализированный модуль для работы с пространственными данными: взаимодействие с картографическим API, управление базой геоданных, пространственные запросы);
- сервис коммуникации (чаты и уведомления);
- сервис репутации (расчет рейтингов на основе отзывов).



Рис. 1. Микросервисная архитектура геоинформационного сервиса

Выбор PostgreSQL с расширением PostGIS в качестве хранилища геоданных обоснован необходимостью выполнения сложных пространственных запросов (ST_DWithin, поиск в радиусе, пространственная индексация) [13].

Разработанная структура базы данных, включает следующие тематические слои:

- sport_facilities (спортивные площадки с атрибутами: вид спорта, покрытие, освещение, стоимость);
- events (мероприятия с привязкой к площадке, временем, уровнем игроков, списком участников);
- user_geodata (опциональные геоданные пользователей с согласия).

Для гибкости хранения специфичных атрибутов используется формат JSONB [13].

Одной из проблем при проектировании интерфейса стало то, что при первом открытии приложения непонятно, что именно ищет пользователь: хочет найти игру рядом, посмотреть карту города или создать свое мероприятие. Для ее решения разработана методика контекстно-зависимой инициализации карты, которая анализирует пять групп сигналов о пользователе (табл. 2) и автоматически подбирает подходящий вид карты при первом входе.

Таблица 2 – Факторы контекстного анализа

№	Сигнал	Вес, %	Алгоритм обработки
1	Точность геолокации	35	Высокая точность → центрирование на пользователе, радиус 2 км
2	Время суток/день недели	25	Пиковые часы (18-22, выходные) → приоритет текущих событий
3	Источник перехода	15	Поисковик → активный поиск; соцсети → исследование
4	Тип платформы	15	Мобильное устройство → спонтанное участие
5	Факт первого посещения	10	Новый пользователь → демонстрация возможностей

На основе комбинации сигналов определяется вероятный сценарий и выполняется настройка: уровня детализации (от тепловой карты (KDE) до отдельных маркеров); типа кластеризации (grid-based или семантическая); приоритета отображения (ближайшие и наиболее релевантные события). Алгоритм также анализирует микровзаимодействия в первые 15-20 с (приближения, клики, панорамирование) для уточнения гипотезы и адаптации интерфейса в реальном времени.

Разработка методики геоинформационного обеспечения спортивного сервиса включает построение специализированной системы условных знаков для отображения динамических спортивных событий.

В отличие от универсальных картографических решений, где один знак несет один параметр, предлагается концентрическая модель маркера (рис. 2), где каждый визуальный слой кодирует определенный параметр спортивного собы-

тия. Внешняя обводка кодирует статус свободных мест, среднее кольцо - уровень игроков, центральная иконка - вид спорта, угловые индикаторы - дополнительный контекст, а ориентация маркера передает временную близость события.



Рис. 2. Концентрическая модель составного маркера

Результаты оценки соответствия между визуальными переменными, выделенными классиком картографической семиотики Жаком Бертенем [12], и параметрами спортивного мероприятия приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Применение визуальных переменных

№	Визуальный элемент	Параметр	Градации
1	Внешняя обводка	Статус мест	Зеленый (>3), желтый (1–3), красный (0), серый (завершено)
2	Среднее кольцо	Уровень игроков	Синий (<1500), оранжевый (1500–1800), красный (>1800)
3	Центральная иконка	Вид спорта	Пиктограмма на цветном фоне
4	Размер	Масштаб	60, 40, 20 px
5	Ориентация	Временная близость	Вертикально (<60 мин), стандартно
6	Насыщенность	Удаленность	Высокая (<3 км), средняя (3–10), низкая (>10)
7	Угловые индикаторы	Дополнительные атрибуты	Звезда (премиум), пламя (срочно), люди (друзья)

Результаты usability - тестирования (рис. 3) подтвердили эффективность разработанной системы. По сравнению с традиционными подходами, новая система

обеспечила: снижение времени поиска на 33 % (с 12,3 до 8,2 с); повышение точности распознавания до 94 % (на 24 % выше); снижение когнитивной нагрузки на 45 % (по шкале NASA-TLX). Все различия статистически значимы ($p < 0,05$).

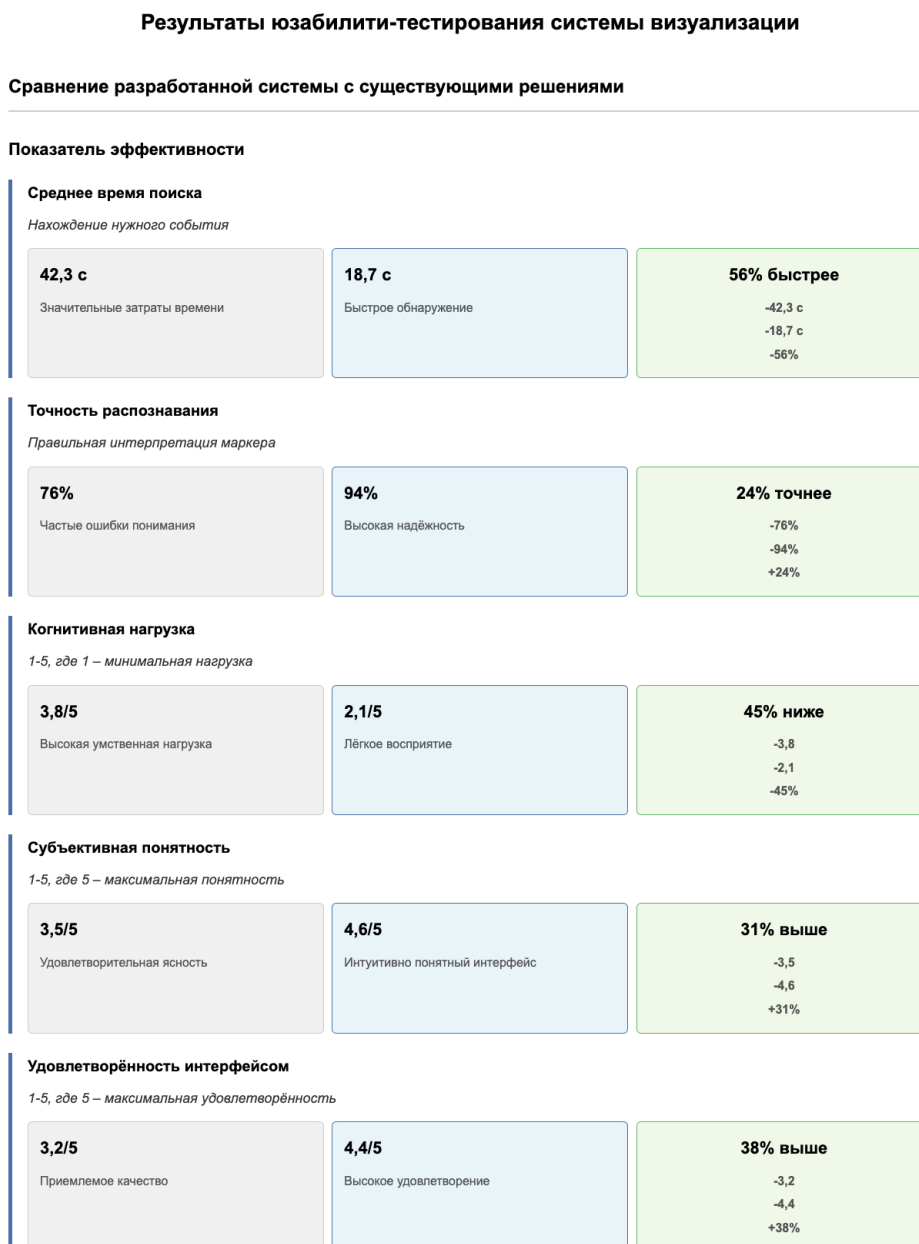


Рис. 3. Результаты usability-тестирования

Обсуждение

Методологические аспекты разработки геоинформационного сервиса имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими научно-методическими подходами и принципами проектирования и построения аналогичных систем.

Предложенные архитектурные решения - микросервисная архитектура с выделенным GIS-модулем обеспечивает независимость от конкретного картогра-

фического провайдера, что критически важно в условиях импортозамещения программно-аппаратной среды [8]. Возможность замены API Яндекс.Карт на 2GIS или OpenStreetMap с минимальными изменениями кода подтверждена в прототипе геоинформационного сервиса для организации командных спортивных мероприятий различного уровня.

Адаптивная визуализация. Методика контекстно-зависимой инициализации решает проблему «пустого первого экрана», характерную для многих геосервисов. Как показано в работе Е. А. Бровко и Р. Э. Софинова, «геосервисный подход требует учета не только пространственных, но и временных характеристик поведения пользователя» [8].

Практическая значимость исследования связана с реализацией методологических аспектов проектирования геоинформационного сервиса в геопортал Национальной системы пространственных данных (НСПД), с последующим его развитием и вводом в производственную деятельность ППК «Роскадастр» и Росреестра.

Также практическая значимость обусловлена:

- созданием инфраструктурной основы для развития рынка геоинформационных сервисов в Российской Федерации;

- обеспечением доступа государственных и коммерческих организаций к актуальным данным системы топографического мониторинга (в соответствии с установленными регламентами);

- необходимостью развитию инновационной цифровой картографической и геоинформационной продукции в сферах экономики (градостроительство, туризм, спорт) и других сферах.

Данный тезис подтверждается результатами проектных разработок, выполненных на кафедре цифровой картографии МИИГАиК и приведенных в настоящей публикации.

Разработанная Одиноким А.Н. семиотическая система призвана расширить классическую теорию визуальных переменных Ж. Бертена [12] применительно к динамическим пространственным объектам. Отличие показа на карте статичных состояний объектов, где форма и цвет закреплены за категориями объектов, в предлагаемой семиотической системе меняются визуальные характеристики объекта (в данном случае конкретного мероприятия) в реальном времени в зависимости от состояния картографируемого мероприятия.

Примером реализации динамического изменения визуальных характеристик является разработанная в работе методика создания тепловой карты, где интенсивность цвета автоматически пересчитывается при изменении плотности мероприятий на территории.

Экспериментальная проверка разработанного вида цифровой геоинформационной продукции выполнена на примере анкетирования при выборке из 30 человек для выявления статистически значимых различий.

Направления дальнейших исследований:

- интеграция модулей видеоаналитики на основе искусственного интеллекта с учетом положений, сформированных в публикации [14];

- построение рекомендательных систем на основе накопленных пространственно-временных данных;
- прототипирование полученных результатов на регионы Российской Федерации и стран независимых государств (СНГ) с учетом Концепции Геопортала СНГ [15].

Заключение

В результате исследования разработаны научно обоснованные методологические аспекты проектирования геоинформационного сервиса, который может быть рассматриваться как составная компонента геопортала национальной системы пространственных данных, призванного обеспечивать организацию командных спортивных мероприятий и пропагандировать их на территории нашей страны.

Основные научные и практические результаты, полученные в процессе исследования:

1. Сформулированы технические требования к геоинформационному сервису на основе проведенного анализа рынка, целевой аудитории и конкурентных решений.
2. Предложена микросервисная архитектура с выделенным GIS-модулем на базе PostgreSQL/PostGIS, обеспечивающая масштабируемость и независимость от внешних картографических провайдеров.
3. Разработана методика адаптивной картографической визуализации, основанная на анализе пяти групп контекстных сигналов и микровзаимодействий пользователя.
4. Создана семиотическая система условных знаков, позволяющая кодировать до восьми параметров каждого спортивного события в одном составном маркере, что, по экспертным оценкам, обеспечивает снижение когнитивной нагрузки на 45 % и повышение скорости распознавания на 33 %.
5. Экспериментально подтверждена эффективность предложенных решений на действующем веб-прототипе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Президент ПКР П.А. Рожков принял участие в итоговом заседании Коллегии Минспорта России [Электронный ресурс] // Официальный сайт Паралимпийского комитета России. – 15 июля 2025. – URL: https://paralymp.ru/press_center/news/official/15-07-2025-prezident_pkr_p_a_rozhkov_v_rezhime_video_konferents_svyazi_prinyal_uchastie_v_itogovom_zasedanii_ko/ (дата обращения: 04.03.2026).
2. Strava. Year In Sport Trend Report: Insights on the World of Exercise [Электронный ресурс] // Strava Stories. – 3 января 2024. – URL: <https://stories.strava.com/articles/strava-year-in-sport-trend-report-insights-on-the-world-of-exercise> (дата обращения: 04.03.2026).
3. MarketsandMarkets. Sports Technology Market by Technology (Wearable, AR/VR, Smart Stadium), Sport (Soccer, Baseball, Basketball), Platform (AI-based, Conventional), End User (Leagues, Clubs, Coaches) and Region – Global Forecast to 2030 [Электронный ресурс]. – 14 декабря 2025. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/sports-technology-market-104958738.html> (дата обращения: 04.03.2026).

4. RTTF.ru: Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://rttf.ru> (дата обращения: 04.03.2026).
5. Янкелевич С.С., Кухаренко Е.Л. Обоснование содержания, структуры и программной реализации базы геопространственных знаний территориальных образований // Геодезия и картография. – 2024. – № 9. – С. 33–45.
6. Берлянт А.М. Картография : учебник для вузов. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 336 с. – ISBN 5-7567-0142-7.
7. Цветков В.Я. Основы геоинформатики. – 3-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2023. – 188 с
8. Бровко Е.А., Софинов Р.Э. Геосервисное решение проблемы актуализации пространственных данных по результатам государственного топографического мониторинга // Геодезия и картография. – 2023. – № 2. – С. 12–20.
9. Grekousis G. Spatial analysis methods and practice : describe – explore – explain through GIS. – Cambridge : Cambridge University Press, 2020. – 532 p. – ISBN 978-1-108-49898-2.
10. PwC. Sports practice [Электронный ресурс] // PwC. – 2026. – URL: <https://www.pwc.com/us/en/industries/tmt/sports.html> (дата обращения: 24.03.2026).
11. Cooper A., Reimann R., Cronin D., Noessel C. About Face: The Essentials of Interaction Design. – 4th ed. – Indianapolis : Wiley, 2014. – 720 p. – ISBN 978-1-118-76640-8 (eBook).
12. Bertin J. Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps / translated by W.J. Berg. – 1st ed. – Redlands : ESRI Press, 2011. – xv, 438 p. – ISBN 978-1-58948-261-6.
13. PostgreSQL Documentation: PostGIS [Электронный ресурс]. – URL: <https://postgis.net/documentation/> (дата обращения: 21.02.2026).
14. Заяц А.М., Васильев Н.П. Проектирование и разработка WEB-приложений. Введение в frontend и backend разработку на JavaScript и node.js : учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 120 с. – ISBN 978-5-8114-6972-7.
15. Концепция Геопортала СНГ: Перечень гипотез сервисов. – Аналитическая записка МГС по спорту СНГ, 2025. – 45 с.

© Е. А. Бровко, А. Н. Одинокоев, 2026

Е. С. Утробина¹✉, А. А. Утробин², Т. Г. Козлитина¹

Картографический подход к изучению истории каллиграфии Китая

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

² Восточно-Сибирский государственный институт культуры,
г. Улан-Уде, Российская Федерация
e-mail: yes1976@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы изучения, сбора, систематизации и визуализации информации, связанные с картографированием истории каллиграфии Китая. Рассматривается изучение истории каллиграфии и необходимость представления этого исследования с помощью электронной карты, которая может служить не только материалом для отображения осуществляемого исследования, но и дополнительного выполнять познавательную функцию для широкого круга потребителей при размещении данных в сети Интернет. В статье представлена краткая характеристика известных каллиграфов Китая и их деятельности, приводится определение каллиграфии и ее роли в формировании культуры Китая, дается обоснование «четырёх драгоценностей кабинета» китайской знати. Описываются экспериментальные работы по картографической визуализации этих данных и их интеграции в интерактивную Интернет среду. Представлена последовательность поэтапной разработки цифровой карты и наполнения тематической базы данных.

Ключевые слова: картографирование, каллиграфы Китая, история каллиграфии, четыре драгоценности кабинета, бумага, кисть, тушь, тушечница

Е. С. Utrobina¹✉, A. A. Utrobin², T. G. Kozlitina²

On the issue of developing an electronic map of semiotic chinese hieroglyphic names

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

² East Siberian State Institute of Culture, Ulan-Ude, Russian Federation
e-mail: yes1976@yandex.ru

Abstract. This article discusses the issues of studying, collecting, systematizing, and visualizing information related to the development of an electronic map of the history of Chinese calligraphy. It examines the study of the history of calligraphy and the need to present this research using an electronic map, which can serve not only as a material for displaying the ongoing research, but also as an additional educational tool for a wide range of consumers when sharing data on the Internet. The article provides a brief description of famous Chinese calligraphers and their activities, defines calligraphy and its role in shaping Chinese culture, and explains the «Four Treasures of the Cabinet» of the Chinese nobility. The article also describes experimental work on visualizing these data on an electronic map and discusses the integration of the map into an interactive online environment. The article presents a step-by-step process for developing the map and the structure of the thematic database.

Keywords: electronic map, electronic card, Chinese calligraphers, history of calligraphy, four treasures of the cabinet, paper, brush, ink, inkwell

Введение

Несмотря на то, что с развитием передовых технологий, во многих странах, каллиграфия уже утратила свое значение, в Китае, по-прежнему, она сохраняет важные функции общества. Во-многом это связано с тем, что в Китае сложился «культ предков», по которому все китайцы должны слушаться и уважать старших, сохранять и помнить их историю. В данном случае каллиграфия проявляет интегративную функцию, а также служит связью между поколениями. Для понимания китайской культурной идентичности крайне важно знать и понимать историю и географию происхождения китайского искусства. Китайские иероглифы на протяжении истории стали неотъемлемой частью культурной идентичности китайцев. Изучение китайской каллиграфии позволяет лучше понимать историю Поднебесной и менталитет китайского народа. Это, в свою очередь, позволяет укреплять русско-китайские отношения. Исторические явления и процессы лучше всего отражает карта, так как позволяет увидеть географию распространения, миграцию и региональные особенности развития культуры.

В современной массовой культуре Китая роль китайской каллиграфии затронула многие сферы жизни китайцев. Например, в Китае провели медицинский научный эксперимент, больным дали занятия каллиграфией. По результатам наблюдения, у больных улучшилось психологическое состояние, нормализовалось давление [1]. Авторы статьи также подчеркивают, что в современном мире каллиграфия до сих пор имеет спрос. Многие китайские музеи и вузы открывают курсы по каллиграфии. А также, на государственном уровне существует конкурс по китайской каллиграфии, в котором могут принять участие и молодежь, и люди пожилого возраста.

Понимание того, как менялась роль каллиграфии от элитарного занятия до массового явления, важно для осмысления современных культурных процессов в Китае. Помочь в этом могут современные методы картографирования.

Цифровая карта может комплексно сочетать различную разрозненную информацию, полученную путем исторических исследований. При этом база данных такой карты может быть наполнена, в том числе, информацией, отражающей разные точки зрения, а посредством инструментария геоинформационной системы существует возможность их объединить в одном произведении на одной карте, что в конечном счете послужит ключом к новым выводам в изучении истории каллиграфии Китая.

Цель исследований состоит в разработке вопроса создания электронной карты истории каллиграфии Китая, для более глубокого комплексно изучения каллиграфии с использованием картографического подхода.

На этом этапе необходимо решить следующие задачи:

- изучить историю китайской каллиграфии и мест деятельности ее основателей, соотнести их с современными китайскими провинциями;
- собрать и структурировать полученную информацию для формирования базы данных цифровой карты;

– разработать условные обозначения и способы визуализации собранной информации;

– отобразить результаты исследования на карте истории каллиграфии Китая и рассмотреть возможность публикации карты в доступных для широкого круга потребителей источниках.

Планируется что создаваемая карта может быть использована как для изучения истории и культуры Китая широким кругом потребителей, также для проведения более глубоких исследований соответствующими специалистами, результаты исследования при необходимости могут быть визуализированы виде печатной карты или иллюстрации монографии.

Методы и материалы

Для решения поставленных задач использовался картографический метод исследования, как один из способов познания пространственно-временной действительности с использованием карты, который позволил привязать, визуализировать и интерпретировать разнородную информацию, полученную в ходе использования исторического метода исследования [2,3]. Исторический метод исследования – применялся при анализе данных биографии и миграции каллиграфов, представленных в работах разных исторических периодов Китая.

При создании карты содержащей сведения об истории каллиграфии, исходя из ее содержания и назначения, были разработаны следующие требования:

1. Карта должна быть цифровая (т.е. иметь возможность редактирования базы данных, геоинформационного анализа данных и дополнения содержания).

2. Карта должна быть проста в использовании для широкого круга потребителей и доступна с разных устройств (персональный компьютер и смартфон).

3. Карта должна быть интерактивной с выходом в сеть Интернет.

С учетом поставленных требований, для разработки карты и ведения базы данных было выбрано свободно распространяемое программное обеспечение QGIS [4,5], поскольку данное программное обеспечение общедоступно, кроме того, позволяет профессионально создавать картографические произведения, а также формировать, хранить, и обновлять базу данных, выполнять геоинформационный анализ и формировать макет карты для печати из необходимых тематических слоев. Для публикации карты QGIS в сети Интернет, использовался дополнительный модуль qgis2web [6, 7].

Для отображения и привязки собранных материалов о каллиграфии, в качестве картографической основы, были использованы современные данные административных границ (провинций) Китая, полученные из общедоступного некоммерческого веб-картографического сервиса OpenStreetMap [8], на 2026 год.

Обсуждение

Каллиграфия – это искусство письма и оформления рукописных знаков и слов, которое также считается и самостоятельным видом творчества. Однако для западного человека и китайца, понимание каллиграфии довольно разное. Если на Западе каллиграфия воспринимается как красивый почерк, то в Китае это само-

стоятельный вид искусства, наравне со скульптурой и живописью [9]. Главное отличие каллиграфии в западном понимании от китайской заключается в том, что в Китае она неразрывно связана с «четырьмя драгоценностями кабинета». Это образное название главных принадлежностей образованного человека: бумаги, кисти, туши и тушечницы. Согласно конфуцианским канонам, каждый «благородный муж» должен уметь писать стихи. Поэтому в Китае было невозможно представить чиновника, художника или учёного без этих четырёх атрибутов [10]. В связи с этим на карте «Истории каллиграфии Китая», важно отобразить эти главные атрибуты каллиграфии. Для этого необходимо изучить их основные особенности, историю и географию места их возникновения, а также соотнести с современными китайскими провинциями для отображения их на карте.

Для более глубокого изучения истории каллиграфии Китая, помимо «четырёх драгоценностей кабинета», следует отобразить известных китайских каллиграфов, которые прославились тем, что внесли особый вклад в развитие этого искусства. С этой целью на карте с помощью использования мультимедийных средств даны изображения или фото известных каллиграфов, краткая характеристика их деятельности и главнейшие труды.

Говоря о китайской каллиграфии, нельзя не упомянуть основателя китайской письменности – Цан Цзе (倉頡). Это придворный историограф мифического императора Хуан-ди. В связи с тем, что это отчасти мифологический персонаж (датировка его деятельности составляет примерно 2 667–2 596 лет до н. э.), то его географическая локация точно неопределенна. Однако исследователи предполагают, что его деятельность могла быть связана с провинцией Шэньси, в деревне Янву поселка Шигуань уезда Байшуй городского округа Вэйнань где находится храм, который носит его имя [11].

Ли Сы (李斯), жил в 280–208 гг. до н.э. в государстве Чу (провинция Хэнань) в городе Шанцай. Канцлер империи Цинь. Главной его заслугой стала унификация письменности, после чего у китайского языка появился свой стандарт. Дело в том, что после эпохи «Сражающихся царств» 475–221 до н.э. у империи Цинь, возникла такая проблема, что каждый китайский регион говорил по-своему и использовал разные иероглифы. Он стандартизировал китайские иероглифы, введя стиль «малой печати» (сяочжуань) [12].

Одним из первых и великих каллиграфов считается Ван Сичжи (王羲之). Он родился Линьи в провинции Шаньдун (303–36 гг). Его называют «Мудрец каллиграфии», теоретик каллиграфии и государственный деятель эпохи Восточной Цзинь. Одна из ключевых фигур художественной традиции Китая. Позже он переехал в Шаосин (провинция Чжецзян) где и написал знаменитую работу «Предисловие к стихам, собранным в Орхидейном павильоне» [13,14].

В эпоху Сун (X–XIII вв.) упоминаются четыре выдающихся каллиграфа. Цай Сян чей стиль отличался сдержанной элегантностью и глубокой укоренённостью в древние образцы, родился в Путянь (провинция Фуцзянь). Каллиграф много, где побывал, его именем названа набережная в Сямэне (провинция Фуцзянь), что подчёркивает локальную идентичность мастера [15].

Сунским мастером считается и государственный деятель Су Ши (苏轼). В каллиграфии он создал свой неповторимый экспрессивный почерк, где личная свобода преобладала над академической правильностью. Поэт, мастер почти всех литературных форм, включая ши (регулируемый стих), форму песни ци, фу (прозаическая поэзия). Су Ши родился в Сычуани в городе Мейшань (1037–1101 гг.), он был чиновником и побывал практически в каждом регионе, этим и объясняется формировался его собственного стиля [16].

Ученик Су Ши Хуан Тинцзянь (黄庭坚) пошел дальше своего учителя, его каллиграфия создает эффект «веток на ветру». Он родился в уезде Сушуй в провинции Цзянсу Цзяннань (1045–1105 гг.), где о нем сохранена память [17].

Последним гением считается Ми Фу (米芾), он родился в Тайюане (1051–1107 гг.) (провинция Шаньси), несмотря на это, больше всего памятных мест, находится в уезде Сяньян (провинция Хубэй). Китайский художник, поэт, каллиграф, историк и теоретик искусства, крупный представитель направления вэньжэнь-хуа [19].

Чжао Мэнфу (赵孟頫), Китайский художник, каллиграф, литератор и государственный деятель эпохи Юань. Родился в уезде Учэн (1254–1322 гг.), округ Хучжоу, Провинция Чжэцзян [19].

В новейшей истории выделяют несколько людей. Ша Мэнхай (沙孟海) основал стиль дашаньшу, а также стал визитной карточкой школы каллиграфии после основания Китайской Народной Республики. Он родился в деревне Шацунь (уезд Иньсян, провинция Чжэцзян) (1900–1992 гг.) [20].

Другой каллиграф Чжао Сюэли (赵学礼), родился Хэгаре в 1954 г. (провинция Хэйлунцзян), его творчество распространилось по всей провинции, тем самым распространив влияние северо-восточной школы каллиграфии [22].

Художник граффити и каллиграф Цан Цоу Чой (曾灶財), прозванный король Коулуна, известен своими надписями граффити на стенах Гонкога, которые рисовал в знак протеста. Родился в деревне Ляньтан (1921–2007 гг.) провинции Гуандун, но считал, что его предки были законными государями Гонконга [22].

Для представления (визуализации), собранного в базе данных материала, были выполнены экспериментальные работы для выбора художественного оформления будущей карты, подбирались цветовые заливки, способы отображения и рисунок, и оформление условного знака.

Результат

Для систематизации информации «о четырех драгоценностях кабинета» сформирована таблица атрибутов электронной карты, которая представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Атрибуты электронной карты

Название драгоценности	Первое появление	Характеристика	Место привязки
Рисовая бумага (сюаньчжи)	Создатель рисовой бумаги мастер Кунг Дань, ученик Цай Луня (изобретателя бумаги) (династия Западная Хань 25-220 гг н.э.)	В отличие от обычной бумаги, рисовая более долговечная, обладает превосходной белизной, и прекрасно впитывает тушь.	Сюаньчжоу (современный Цзинсянь в провинции Аньхой)
Кисть	Археологическими исследованиями подтверждается, что кисть использовалась в Китае еще в V веке до н.э., но она кардинально отличалась от нынешней.	Китайские кисти изготавливаются из натуральной шерсти животных. Ручка кисти из бамбука, который удерживает собранный в пучок волос кисти. Технология изготовления остается неизменной с IV века.	Поселение Баньпо, г. Сиань, провинция Шеньси
Тушь	Древнейшие свидетельства использования туши были найдены в гробницах, датируемых концом периода « Сражающихся царств » (около 256 г. до н. э.)	Для получения туши смешивается сажа с животным клеем , затем формируются твердые палочки, которые растирают на тушечнице и разводят водой	Древнее государство Чу, г. Синьянь, провинция Хэнань
Тушечница	Самые ранние из сохранившихся тушечниц датированы IV-V веком до н.э.	Первоначально тушечницы вырезали из природного камня, камень должен не впитывать воду, быть непористым.	Уезд Цэньгун , провинции Гуйчжоу

Для систематизации информации о каллиграфах Китая сформирована своя структура сбора и хранения информации, пример которой представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Информация о каллиграфах Китая

Имя каллиграфа (русский)	Имя каллиграфа (китайский)	Годы жизни	Краткая характеристика	Привязка /пункт
Ван Сичжи	王羲之	303–361	«Мудрец каллиграфии», теоретик каллиграфии и государственный деятель эпохи Восточной Цзинь. Одна из ключевых фигур художественной традиции Китая	Путянь, провинция Фуцзянь
.....				

На карте каллиграфы будут представлены с подразделением по времени их проживания (деятельности):

- до нашей эры;
- нашей эры (средние века);
- современные (с 1900 гг.).

База данных в QGIS используется для сбора, хранения и представления на карте истории каллиграфии Китая при необходимости ее можно расширять и дорабатывать. Кроме этого, разработанная база данных позволяет включать иллюстраций, который с использованием мультимедийных средств, можно просматривать, что дополнительно раскрывает содержание карты. Это выполняется посредством перехода от условного знака к пояснению, фото или иллюстрации (например, изображению рисовой бумаги, кистей, туши тушечницы, рисунка или фотографий каллиграфов и их работ).

При создании карты в качестве картографической основы были использованы границы провинций Китая по данным OpenStreetMap, которые были загружены и отредактированы в соответствии с разработанной концепцией карты (создана плавающая компоновка, переформированы таблицы атрибутов, выбран необходимый язык для дальнейшего выполнения надписей и т.д.) (рис. 1).

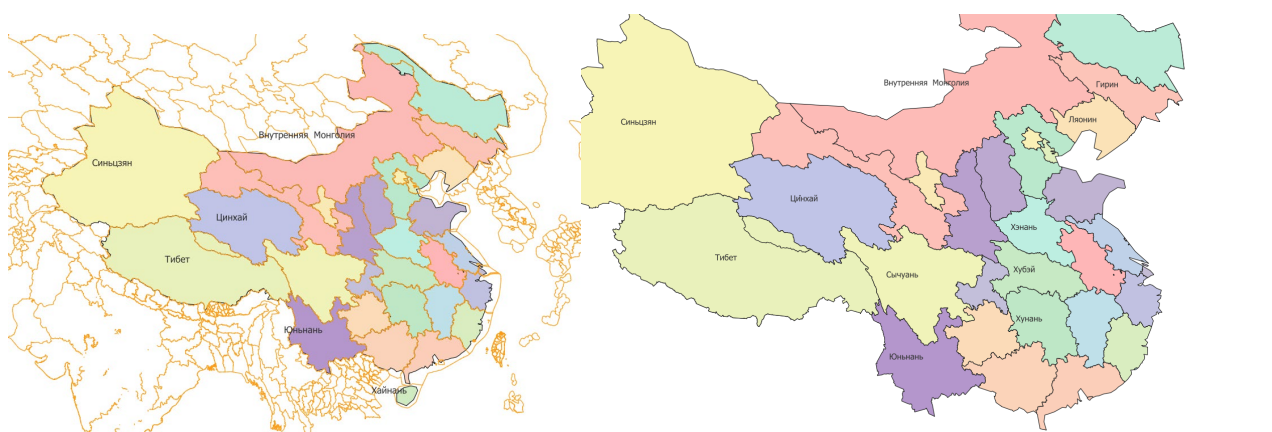


Рис. 1. Картографическая основа

Для подписей названий провинций использовался шрифт OCR-B 10 BT, а для подписи тематического содержания –NK123.

Рисунки художественных условных знаков, передающих содержание карты, были выбраны с сайта wikimedia.org [23], подгружены в QGIS и выполнена экспериментальная настройка под оформление будущей карты. Затем осуществлялась их интеграция в QGIS и оформление с помощью эффектов отрисовки. В результате был сформирован макет карты «История каллиграфии Китая» для печати и размещения в монографию (рис.2).



Рис. 2. Макет карты «История каллиграфии Китая» для печати или монографии

Для публикации карты в сети Интернет, необходимо использование модуля Qgis2web. Настройка для работы с картой в веб-браузере выполнена таким образом, чтобы пользователь при наведении курсора на условный знак мог получить информацию, собранную и систематизированную в базе данных, в том числе с использованием мультимедийных средств увидеть изображение каллиграфа, пример использования представлен на (рис. 3). При публикации карты возникла необходимость корректно отобразить разработанные условные знаки и вывести запланированные иллюстрации. Следует учесть, что при экспорте карты в веб-браузер некоторые функции, представленные в инструментарии QGIS, требуют перекодировки, а значит навыков программирования. В процессе работы над проектом была проведена значительная техническая работа по настройке веб-карты. При экспорте через плагин Qgis2web выяснилось, что стандартного функционала недостаточно для корректного отображения всех элементов, поэтому потребовалось ручное редактирование кода с Visual Studio Code [24] с расширением Live Server [25, 26].

В ходе работы были заменены стандартные маркетки на кастомные SVG-изображения с силуэтами каллиграфов, для чего потребовалась корректировка параметров масштабирования и привязки иконок [27]. Была выполнена настройка всплывающих окон: добавлены персональные изображения по

внешним ссылкам, настроено отображение полей с ограничением размера шрифта и отображений, скрыты технические названия слоёв.



Рис. 3. Пример веб-карты «История каллиграфии Китая»

Заключение

В результате проведенного исследования выполнена карта «История каллиграфии Китая», разработанная в среде QGIS на которой отмечены места деятельности известных каллиграфов и 4 драгоценностей кабинета с разработанными авторскими условными знаками. Предполагается, что разрабатываемая карта будет иметь несколько вариантов практического применения:

- в социальных сетях – как познавательный контент для широкой аудитории;
- в мобильных приложениях – в качестве интерактивного справочника, помогающего пользователям глубже изучить историю Китая;
- в образовательных целях – благодаря наглядности и простоте использования карта может служить дополнительным учебным материалом. Макет карты может быть представлен и в печатном виде, в том числе отчетах и монографиях.

Картографический и исторический методы исследования данной тематики показали, что китайская культура во многом обязана каллиграфам, так как они на протяжении долгого времени формировали каноны и эстетику каллиграфического письма. Каллиграфы также развивали культуру не только китайцев, но и малочисленных народов Китая. Изучая места деятельности каллиграфов на карте, заметно что географически это относится к восточной части страны. С этим можно увязать несколько факторов. Во-первых, на востоке изготавливались четыре драгоценности кабинета. Во-вторых, вся элита находилась в восточных

провинциях Китая, а так как раньше каллиграфия была элитарной культурой, которой занимались только аристократы и чиновники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каменец А. В., Фэн Ш. Роль каллиграфии в культурно-образовательном пространстве Китая / А. В. Каменец, Ш. Фэн / Мир науки. Социология, филология, культурология. 2023. Т. 14. № 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sfk-mn.ru/PDF/46KLSK323.pdf>
2. А.С. Карпенко. О понятии картографический метод исследования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-ponyatii-kartograficheskiy-metod-issledovaniya/viewer>
3. Исторический метод. Философия науки и техники. Тематический словарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://clck.ru/3MEDj2>
4. Гафуров А.М., Усманов Б.М. Основы работы в QGIS. Часть 1 : учебно-методическое пособие / А.М. Гафуров, Б.М. Усманов. – Казань : Казанский университет, 2022. – 30 с.
5. Официальный сайт QGIS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://qgis.org/>
6. Официальный сайт QGIS2web. Плагин для QGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plugins.qgis.org/plugins/qgis2web/version/3.18.2/>
7. Web Mapping with qgis2web : руководство по созданию интерактивных веб-карт в QGIS [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/web_mapping_with_qgis2web.html
8. Официальный сайт OpenStreetMap. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.openstreetmap.org/#map=3/69.62/-74.90>
9. Wang, Dong. Interdisciplinary research paradigm of calligraphy and painting aesthetics and philosophy / Dong Wang // Trans/Form/Ação. – 2025. – Vol. 48, No. 4. – P. 1-18. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://clck.ru/3TtJ7U>
10. Лу Жун. Вэньфан сыбао и искусство каллиграфии = 文房四宝与书法艺术 [Текст] // Вестник Университета Хуацяо (Философия и социальные науки) = 华侨大学学报(哲学社会科学版). – 2010. – № 01. – С. 94. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://wap.cnki.net/touch/web/Journal/Article/HQDX201001019.html>
11. Ян Кунь и др. Анализ создания садово-паркового пространства храма Цан Цзе в уезде Байшуй провинции Шэньси = 陝西白水縣倉頡廟園林空間營造探析 / Кунь Ян, Жуй Хайянь, Чжи Чжан, Сяо Сюань, Цань Лу, Сюэ Ян // Городская архитектура. — 2022. — № 1. — С. 195–198, 4.
12. 祝唯庸. 李斯和他一统天下的小篆 / 祝唯庸 // 中国民族博览. — 2019. — № 11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bianke.cnki.net/Web/Article/MZBL201911018.html>
13. Orchid Pavilion: The Excursion and Reflection // National Palace Museum (South Wing). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://clck.ru/3TtHyT>
14. Ван Сичжи / авторы статьи // Большая российская энциклопедия : электронная версия. — Москва, 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bigenc.ru/c/van-sichzhi-2c9aa4>
15. Cai Xiang // Union List of Artist Names (ULAN) / Getty Research Institute. — Los Angeles : Getty Vocabulary Program. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.getty.edu/vow/ULANFullDisplay?find=500024827&role=&nation=&subjectid=500315265>
16. Su Shi (1037-1101), Song dynasty // National Palace Museum. — Тайбэй, 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://theme.npm.edu.tw/exh104/calligraphy-10404/en/en01.html#a04>
17. Ми Фу // Baidu Baike : свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://baike.baidu.com/ru/item/Ми_Фу/987696

18. Record Huang Tingjian shu You lan fu / Henan Sheng bo wu guan gong gao : [библиотечный каталог] // Smithsonian Libraries. — Washington, D.C. : Smithsonian Institution. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://collections.si.edu/search/detail/edanmdm:siris_sil_893612
19. Ли Исюнь / Исследование каллиграфических работ Чжао Мэнфу на даосские сюжеты : дис. ... магистра / Ли Исюнь — Тайбэй, 2023. — 129 с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://etds.lib.ntnu.edu.tw/thesis/detail/ff6dede93bc50777fbc4ff55fbc86758/>
20. Цянь Диншэн, Пань Цзе. Опыт обсуждения образцового значения Ша Мэнхя в современном развитии каллиграфии / Цянь Диншэн, Пань Цзе // 大学书法. — 2020. — № 2. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://bianke.cnki.net/Web/Article/DXSF202002011.html>
21. Zhao Xueli : Международная выставка каллиграфии : [сайт]. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://calligraphy-expo.com/en/participants/zhao_xueli
22. Ли Н. Каллиграфические граффити Цан Цоу Чоя, короля Коулуна, как феномен искусства и массовой культуры Китая / Н. Ли / Философия и культура. 2024. № 8. С. 191-198. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71532
23. Wikimedia Commons : свободный медиаархив [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page
24. Официальный сайт Visual Studio Code. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://code.visualstudio.com/download>
25. Расширение Visual Studio Code: Live Server. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ritwickdey.LiveServer>
26. Как включить Live Server в Visual Studio Code : электронное руководство по настройке среды разработки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.geeksforgeeks.org/installation-guide/how-to-enable-live-server-on-visual-studio-code/>
27. Импорт SVG-символов в QGIS : обсуждение на форуме специалистов по ГИС [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://gis.stackexchange.com/questions/137855/importing-svg-symbols-into-qgis>

© Е. С. Утробина, А. А. Утробин, Т. Г. Козлитина, 2026

Е. А. Бровко^{1,2}✉

Совершенствование картографических, геоинформационных методов и технологий в процессе топографического мониторинга изменений местности в целях актуализации пространственных данных

¹ППК «Роскадастр», г. Москва, Российская Федерация

²Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: BrovkoEA@kadastr.ru

Аннотация: В статье изложены основные положения по использованию, на различных этапах топографического мониторинга изменений местности, методов и геоинформационных технологий, а также направления их совершенствования и модернизации. Публикация построена на основе систематизации результатов анализа публикаций автора по направлениям использования различных методических и технологических решений в процессе топографического мониторинга, проблемно-ориентированного на оперативное обновление цифровых (электронных) топографических карт - ЦТК (ЭТК) и обеспечение актуальности цифровой картографической продукции (ЦКП), в том числе, единой электронной картографической основы. Совершенствование (модернизация) методов и технологий предусматривает, в том числе обновление и улучшения производственных технологических процессов, методов сбора, автоматизированной обработки и использования программно-аппаратных средств, научно-образовательных подходов с целью повышения эффективности, конкурентоспособности, качества, точности создаваемой по данным топографического мониторинга ЦКП, с адаптацией к изменениям потребностей секторов экономики, обороны, национальной безопасности, науки и образования.

Ключевые слова: актуализация пространственных данных, материалы космической съемки мониторинг изменений местности, топографический мониторинг, цифровая картографическая продукция

Е. А. Бровко^{1,2}✉

Improvement of cartographic and geoinformation methods and technologies in the process of topographic monitoring of terrain changes in order to update spatial data

¹PKK «Roskadastr», Moscow, Russian Federation

² Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation
e-mail: BrovkoEA@kadastr.ru

Abstract. The article outlines the main provisions for the use of methods and geoinformation technologies at various stages of topographic monitoring of terrain changes, as well as the directions for their improvement and modernization. The publication is based on the systematization of the results of the author's analysis of publications on the use of various methodological and technological solutions in the process of topographic monitoring, which is problem-oriented and focused on the prompt updating of digital (electronic) topographic maps (DTM) and ensuring the relevance of digital cartographic products (DCP), including a unified electronic cartographic basis. Improvement (moderniza-

tion) of methods and technologies includes, among other things, updating and improving production processes, methods of collecting, automated processing, and using software and hardware tools, as well as scientific and educational approaches, in order to increase efficiency and competitiveness.

Keywords: Keywords: spatial data updating, space imagery materials, terrain change monitoring, topographic monitoring, digital cartographic products

Введение

Настоящее исследование выполняется ППК «Роскадастр» в рамках НИР «Геокарта -2030» в целях реализации основных положений Федерального проекта «Навигация и время» национального проекта «Развитие космической деятельности Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» государственной программы Российской Федерации «Космическая деятельность России» [1].

Целью исследования является разработка принципов и предложений по совершенствованию картографических, геоинформационных методов и технологий в процессе топографического мониторинга изменений местности в целях актуализации пространственных данных.

Основными направлениями совершенствования методов и технологий, традиционно используемых в процессе обновления цифровых (электронных) топографических карт –ЦТК (ЭТК) и предлагаемых для применения на этапах топографического мониторинга могут быть: технологическое обновление производственных процессов, в том числе внедрение новых программных, технологических решений и методов обработки информации, повышение уровня их автоматизации, в том числе внедрение программных систем управления на этапах ведения обзорного (ОТМ) и детального топографического мониторинга (ДТМ) [ГОСТ Р 2024].

Системное обновление всех элементов деятельности по ведению топографического мониторинга- мониторинга изменений местности, направленное на повышение эффективности, улучшение технологических параметров результатов топографического мониторинга (актуальности, качества и точности) ЦТК (ЭТК), ЕЭКО и создаваемых на их основе различных видов цифровой картографической продукции (ЦКП) достижение более высоких экономических показателей по реализации ЦКП- суть совершенствования методов и технологий.

Совершенствование методов и технологий топографического мониторинга изменений местности может быть определено как один из стратегических механизмов развития ППК «Роскадастр», обеспечивающего основу для экономического роста, повышения эффективности работ по обновлению государственных топографических карт, в том числе единой электронной картографической основы (ЕЭКО), актуализации пространственных данных и адаптации ППК «Роскадастр» к уровню динамического развития мировой экономики.

Это системный процесс обновления методов и технологий, направленный на повышение эффективности, улучшения качества продукции и оптимизацию производственных процессов топографического мониторинга изменений местности.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью формирования и совершенствования единой государственной политики в области геодезии и картографии в сфере планирования картографических работ по созданию и обновлению государственных цифровых (электронных) топографических карт (ЦТК, ЭТК) и актуализации пространственных данных, в том числе ЕЭКО в целях оперативного картографического обеспечения современными, достоверными и высокоточными ЦТК(ЭТК) и ЕЭКО потребности отраслей экономики, обороны, науки и образования страны

По сути автоматизированный топографический мониторинг, должен иметь статус «государственный» и быть ориентирован на гарантированное получение и использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, материалов аэрофотосъемки, в том числе с использованием беспилотных воздушных судов (БВС), отраслевых и региональных пространственных данных, отечественных геоинформационных технологий.

Методы и материалы

Проблеме разработки методологии, организации, методов и технологий топографического мониторинга изменений местности посвящены многочисленные публикации автора, в том числе, подготовленные в соавторстве с российскими учеными - профессионалами в области картографии и геоинформатики - Вережской Т.В., Гоголевой Е.Е., Ефимовым С.А., Софиновым Р.Э.

Общие вопросы методологии и организации системы ведения государственного топографического мониторинга изложены в работах [3, 4, 5, 6, 7]. Регламентирование картографической деятельности по ведению топографического мониторинга отражено в национальных стандартах, разработанных в ППК «Роскадастр» совместно с ВТУ ГШ ВС РФ МО [2, 8]. Так, в ГОСТ Р 71887-2024 установлены общие положения и требования к топографическому мониторингу, составу исходных материалов и данных, процессам их обработки, форматам записи пространственных данных при осуществлении обзорного топографического мониторинга (ОТМ) и детального топографического мониторинга (ДТМ), сведениям о форме, местоположении, свойствах и пространственно-временной динамике объектов местности значительных по площади территорий страны.

В приведенном алгоритме ГТМ (рис.1) в логической последовательности показаны уровни топографического мониторинга изменений местности:

- а) обзорного мониторинга;
- б) детального мониторинга;
- в) обновления ЦТК и ЕЭКО (актуализация пространственных данных),

на каждом из которых предусмотрено использование общенаучных, аналитических, статистических методов и геоинформационных технологий решений, а также проведение экспериментальных исследований.

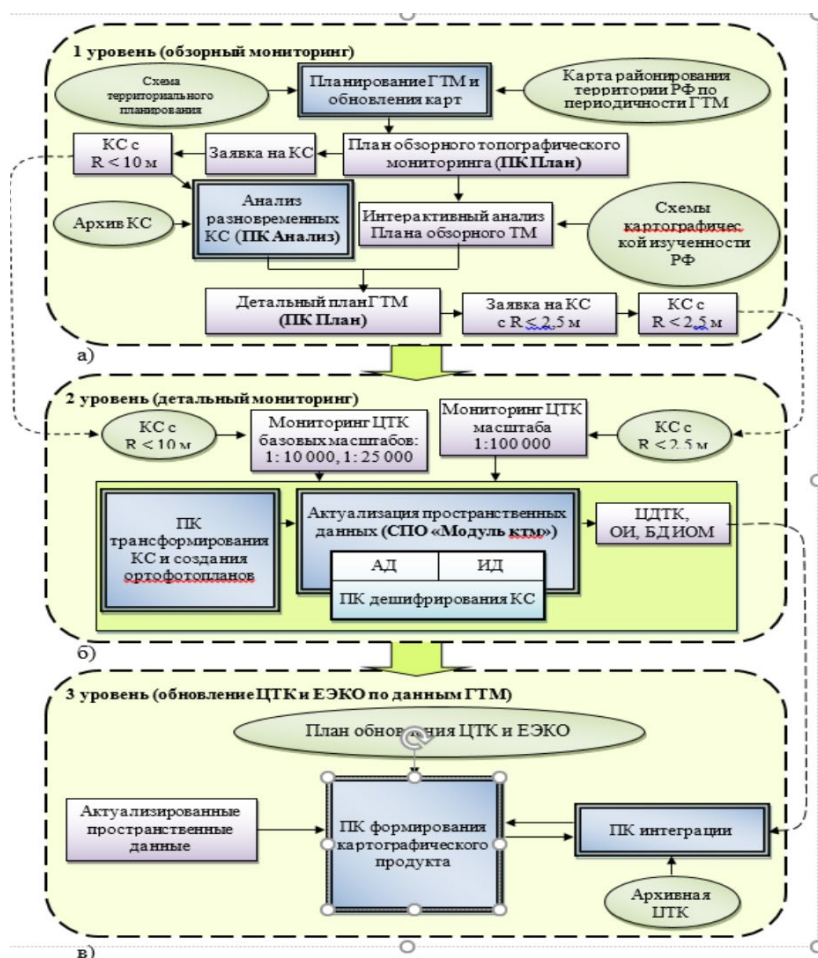


Рис.1. Алгоритм государственного топографического мониторинга (предлагаемый проект)

АД – автоматическое дешифрирование, БД ИОМ- база данных изменений объектов местности, ИД – интерактивное дешифрирование, КС– космические снимки, ОИ – оригинал изменений ПК–программный комплекс, ЦТК– цифровая топографическая карта, ЕЭКО – единая электронная картографическая основа, R- линейное разрешение на местности (м)

На этапе *обзорного топографического мониторинга*, целью которого является фактическое подтверждение районов изменений местности в интересах планирования объемов картографических работ по обновлению государственных топографических карт и планов, с использованием современных методов и геоинформационных технологий [9].

Решаемыми задачами на этапе ОТМ являются:

автоматизированное выделение структурных изменений в изображении объектов местности с использованием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения [10];

оперативная оценка степени изменений объектов местности (определение современности карт);

выделение территорий, требующих обновления ЦТК (различных категорий трудности).

Реализация программного обеспечения для выявления структурных изменений категорий объектов местности, приведена на рис.2, на котором также выделены основные технологические процессы:

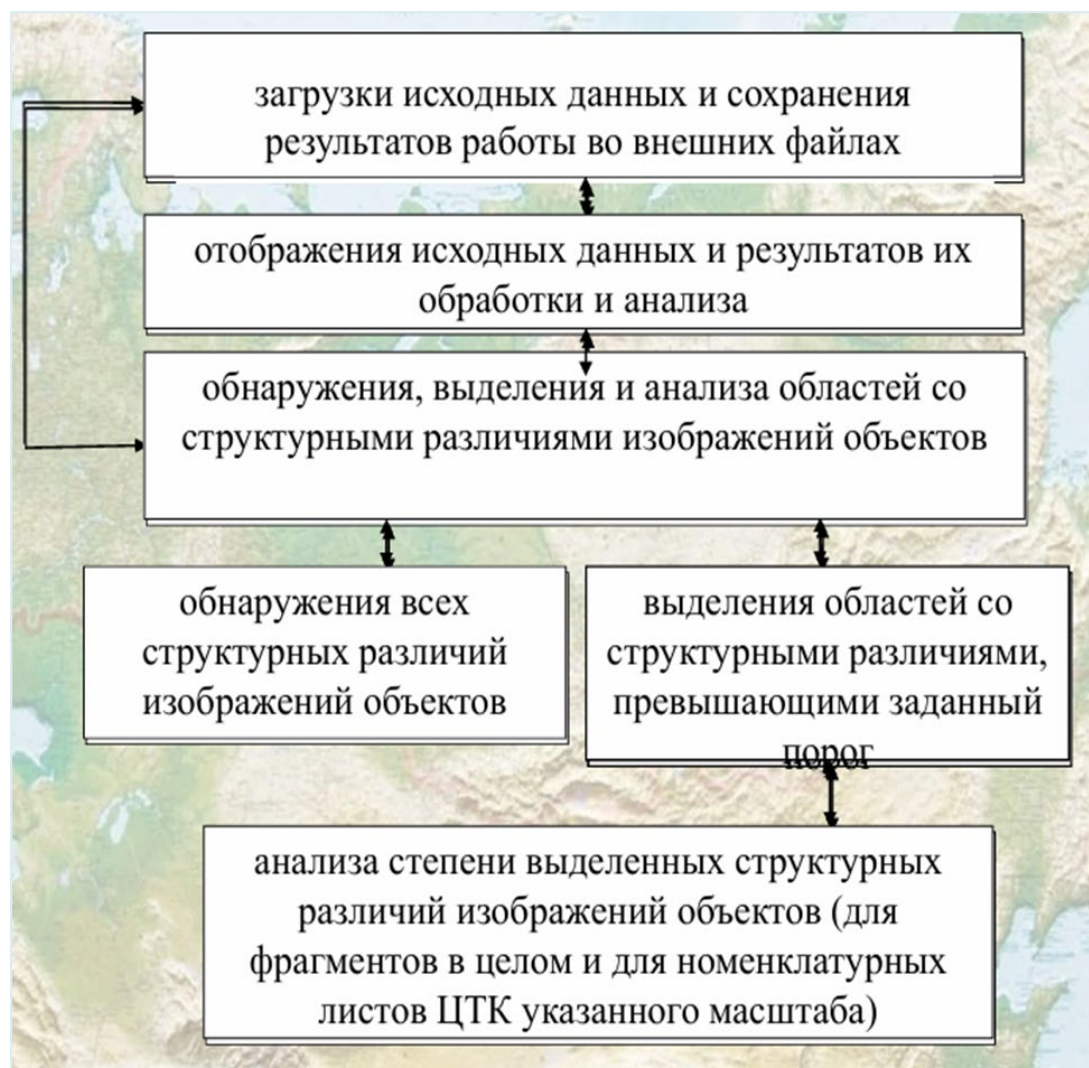


Рис.2. Реализация программного обеспечения для выявления структурных изменений категорий объектов местности

Перспективные технологии использования данных ДЗЗ для мониторинга изменений местности, основанные на применении технологий ИИ, рассмотрены в публикации [11].

Основными этапами *детального топографического мониторинга*, регламентированными в ГОСТ Р 72917-2025 и изложенными в публикации [12] являются следующие:

внесение изменений объектов местности, отдешифрованными в автоматизированном режиме по материалам ДЗЗ из космоса, на цифровую дежурную топографическую карту (ЦДТК);

актуализация цифровой дежурной топографической карты;

формирование оригинала изменений объектов местности (по тематическим слоям);
 формирование и ведение базы данных изменений объектов местности.



Рис.3. Методы автоматизированной обработки материалов космической съемки с использованием технологий искусственного интеллекта для оперативного обновления ЦДТК на этапе детального топографического мониторинга

Методы и геоинформационные технологии, основанные на частичном применении технологий ИИ и машинного обучения, используемые на этапе актуализации пространственных данных, в том числе ЕЭКО детально изложены в публикации автора [13].

При актуализации пространственных данных на технологических этапах топографического мониторинга [14] предлагаются как новые геоинформационные технологические решения, при этом Геосервис ГТМ выступает не только как API-платформа, а как визуализатор актуальной геопространственной информации об изменениях местности. Геосервис ГТМ должен выполнять функции государственной инфраструктуры для производства и предоставления актуальных

данных об изменениях местности в машиночитаемом виде для: национальной системы пространственных данных; внешних информационных систем - как государственных (ведомственные ГИС, ЕГРН, УМКА), так и коммерческих (сервисы в сфере спорта, туризма, логистики).

Результаты

Как показали промежуточные результаты исследования для совершенствования методов, в том числе картографических и геоинформационных технологий на этапах топографического мониторинга – «мониторинга изменений местности», необходимым является формирование гибкой и развитой системы государственного топографического мониторинга, в которой должны быть оптимизированы производственные процессы сбора, систематизации, обработки различных видов исходной информации об изменениях местности с использованием современных программно-аппаратных комплексов, задействованных в контуре автоматизированной системы ГТМ и в информационном электронном взаимодействии с ее основными потенциальными участниками- Госкорпорацией «Роскосмос», с ВТУ ГШ ВС РФ МО, отраслевыми министерствами и ведомствами.

Разработка новых технологических решений, совершенствующих методы и технологии ТМ позволит обеспечить снижение затрат на обновление государственных топографических карт, повысить производительность труда при актуализации ЦКП по данным топографического мониторинга и обеспечить стабильное развитие данного направления в перспективе.

Повышение качества и точности ЦКП, в соответствии с требованиями вновь разработанными национальными стандартами: ГОСТ Р 71887-2024 и ГОСТ Р 72017-2025, позволит обеспечить их соответствие международным и российским стандартам при сохранении высокого уровня информационной безопасности.

Анализ эффективности предлагаемых решений, при которых устанавливаются ключевые параметры совершенствования методов и геоинформационных технологий в процессе топографического мониторинга, а именно снижение затрат при планировании работ по обновлению ЦТК на территорию Российской Федерации и увеличение показателей производительности картографического производства.

Заключение

Совершенствование картографического, дистанционного, спутникового навигационного [15] методов исследования на технологических этапах топографического мониторинга, в том числе автоматизированных методов и технологий обработки космической информации при дешифрировании изменений местности, как в процессе обзорного, так и детального мониторинга изменений объектов местности, с использованием унифицированных (стандартизированных) технологических процессов и автоматизированных систем контроля качества ЦКП позволит: снизить уровень зависимости от человеческого фактора, вероятность появления некачественных ЦКП; обеспечить стабильность показателей и характеристик новых видов ЦКП, создаваемых на основе ЕЭКО.

Благодарности

Благодарность организаторам конференции «Гео Сибирь - 2026» – за возможность участия в этой познавательной, замечательно организованной конференции с докладом и публикации статьи в настоящем сборнике.

Исследование, как было сказано выше, выполняется в рамках НИР «Геокарта - 2030». Слова благодарности руководству Росреестра и ППК «Роскадастр» за профессиональную и финансовую поддержку проводимых исследований, имеющих большое государственное значение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный проект «Навигация и время», паспорт которого утвержден протоколом заочного голосования членов проектного комитета по национальному проекту «Развитие космической деятельности Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» от 26.12.2025 № 6пр.
2. ГОСТ Р 71887-2024 «Геодезия и картография. Топографический мониторинг при обновлении цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных. Общие положения».
3. Бровко Е.А. Система ведения государственного топографического мониторинга – инновационная модель актуализации пространственных данных // Геодезия и картография. – 2008. – № 8. – С.9–15.
4. Бровко Е.А., Верещака Т.В. Государственный топографический мониторинг (методология и организация) // Геодезия и картография – 2011. – № 3. – С. 22-30.
5. Бровко Е.А., Верещака Т.В. Государственный топографический мониторинг: геопространственно – информационный потенциал и пути реализации // Геодезия и картография. – 2020. – № 3. – С. 21-31.
6. Бровко Е.А. О Системе государственного топографического мониторинга. Вестник Росреестра, (официальное издание) № 1. – 2013. – С. 64-70.
7. Бровко Е.А. Создание системы государственного топографического мониторинга в едином геоинформационном пространстве страны// Информация и Космос – 2021. – № 1. – С. 138-145.
8. ГОСТ Р 72017-2025 «Геодезия и картография. Детальный топографический мониторинг при обновлении цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных. Методическое и организационное обеспечение. Основные требования»
9. Бровко Е.А., Гоголева Е.Е. Научно-методические подходы к планированию картографических работ по обновлению цифровых топографических карт на основе результатов анализа разновременных материалов космической съемки// Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15-17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ – 2024. – С.208-215.
10. Бровко, Е.А., Кандоба, Ф.А., Корнилов, Д.С., Перевалов Оперативный мониторинг структурных изменений изображений объектов на космических снимках земной поверхности // Программные продукты и системы. Международное научно-практическое приложение к международному журналу «Проблемы теории и практики управления. – Тверь (Россия): НИИ «Центрпрограммсистем», 2015. – № 1. – С.79-86.
11. Перспективные технологии использования данных дистанционного зондирования Земли, в том числе, на основе искусственного интеллекта, для мониторинга изменений объектов местности // Сборник материалов XXIV Международной научно-технической конферен-

ции «Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки».- Екатеринбург. – 2025. – С. 61-65.

12. Бровко Е.А. Актуализированные пространственные данные детального топографического мониторинга – основа оперативного обновления государственных цифровых топографических карт: методы и технологии / Интерэкспо ГЕО- Сибирь/XVIII Междунар.научн.конф., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т, Т.1: «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». Новосибирск: СГУГиТ. – 2022. – С. 99-103.

13. Бровко Е.А. Актуализированные пространственные данные детального топографического мониторинга – основа оперативного обновления государственных цифровых топографических карт: методы и технологии/ Е.А. Бровко // Интерэкспо ГЕО- Сибирь/XVIII Междунар.научн.конф., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т,Т.1: «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ. – 2022. – С. 138-145.

14. Бровко Е.А, Софинов Р.Э. Геосервисное решение проблемы актуализации пространственных данных по результатам государственного топографического мониторинга // Геодезия и картография. – 2023. – № 2. – С.12-24.

15. Бровко Е.А., Ефимов С.А. Использование информации ГЛОНАСС в целях актуализации пространственных данных // Мир измерений, 2018. № 3(1). – С. 32-36.

© Е. А. Бровко, 2026

Е. С. Утробина^{1✉}, С. В. Мамашева¹

Разработка оформления и содержания карты культурного наследия Республики Алтай

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: yes1976@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы разработки оформления и содержания карты культурного наследия Республики Алтай. Республика Алтай – один из самых насыщенных археологическими объектами регионов России с уникальным материальным и духовным наследием, поэтому сохранение этого наследия сегодня особенно актуально и важно. До настоящего времени разработки по созданию карты культурного наследия Республики Алтай не проводились, разрозненные данные находятся в различных архивах, музеях и ведомствах. Как туристическое направление Республика Алтай стала активно развиваться после 2015 года, изучение и посещение объектов культурного наследия, пока еще недостаточно изученных, также входит в сферу интересов туристов, поэтому создание карты подобной тематики будет актуальным для широкого круга потребителей. В процессе разработки содержания и оформления карты культурного наследия Республики Алтай проводился анализ существующих ранее изданных карт подобной тематики, изданных на другие территории, в результате анализа выявлялись достоинства и недостатки подобных картографических произведений и были сформулированы требования к будущей карте. Проводились экспериментальные работы по разработке оформления тематического содержания карты культурного наследия Республики Алтай, в процессе которых были созданы авторские эскизы с разработанными натуралистичными художественными знаками. Описаны элементы содержания разрабатываемой карты. Представлены перспективы дальнейшего усовершенствования карты и ее публикации в интерактивной среде. Создан авторский оригинал карты культурного наследия Республики Алтай.

Ключевые слова: карта, культурное наследие, условные знаки, Республика Алтай

E. S. Utrobina^{1✉}, S. V. Mamasheva¹

Development of the design and content of the cultural heritage map of the Altai Republic

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: yes1976@yandex.ru

Abstract. This article discusses the issues of developing the design and content of a map of the cultural heritage of the Altai Republic. The Altai Republic is one of the most richly archaeological regions of Russia with a unique material and spiritual heritage, therefore, the preservation of this heritage is especially relevant and important today. To date, no development has been carried out to create a map of the cultural heritage of the Altai Republic, scattered data are in various archives, museums and departments. As a tourist destination, the Altai Republic has been actively developing since 2015, and the study and visitation of cultural heritage sites, which are still understudied, are also part of the interests of tourists. Therefore, the creation of a map on this topic will be relevant for a wide range of consumers. In the process of developing the content and design of the map of the

cultural heritage of the Altai Republic, an analysis was conducted of existing maps on this topic that were previously published in other countries.

Keywords: map, cultural heritage, symbols, Altai Republic

Введение

Республика Алтай представляет собой регион Российской Федерации, отличающийся исключительным культурным наследием (материальным и духовным). Синтез древних традиций коренных этносов, самобытной культуры старообрядческого населения и влияния различных исторических периодов сформировал уникальный территориальный комплекс, насыщенный объектами археологического, исторического, этнографического и природного значения. При этом, значительная часть данного наследия рассредоточена по труднодоступным территориям, характеризуется недостаточной степенью систематизации и ограниченной представленностью в цифровом пространстве. В контексте современной глобализации и стремительного развития информационных технологий, вопросы сохранения, актуализации и популяризации культурного наследия приобретают особую актуальность. Поэтому сохранение культурного наследия сегодня особенно актуально и важно [1,2].

В качестве одного из эффективных инструментов управления культурными ресурсами для анализа и популяризации выступает картографическое представление культурного наследия. До настоящего времени разработки по созданию карты культурного наследия Республики Алтай не проводились, разрозненные данные находятся в различных архивах, музеях и ведомствах. Создание карты — первый шаг к тому, чтобы уникальное наследие Горного Алтая стало доступным, сохранённым и работающим на развитие региона [3].

Как туристическое направление Республика Алтай стала активно развиваться после 2015 года, изучение и посещение объектов культурного наследия, пока еще недостаточно изученных, также входит в сферу интересов туристов, поэтому создание карты подобной тематики будет актуальным для широкого круга потребителей.

Согласно Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО 1972 года объекты культурного наследия подразделяются на:

- памятники, включающие исторические здания и сооружения со сложившимися территориями, а также объекты науки и техники;
- ансамбли, включающие группы памятников, четко локализуемые на исторически сложившихся территориях, а также произведения ландшафтной архитектуры и садово-паркового искусства;
- достопримечательные места, включающие памятники, созданные человеком, или совместные творения человека и природы связанные с историей формирования народов на территории России, историческими событиями [4].

Объекты культурного наследия делят на категории историко-культурного значения: это объекты культурного наследия федерального значения; регионального значения и местного (муниципального) значения [5].

Цель исследования состоит в разработке и создании карты культурного наследия Республики Алтай масштаба 1:1 000 000, включающей печатную и цифровую версию, в виде интерактивной карты, предназначенной для наглядного представления объектов культурного наследия региона

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить наследие материальной и духовной культуры Республики Алтай;
- систематизировать данные о памятниках истории, археологии и культуры Республики Алтай для отображения на карте;
- проанализировать ранее изданные карты культурного наследия и выявить достоинства, и недостатки их оформления, содержания;
- разработать содержание карты, выбрать способы отображения объектов культурного наследия;
- выполнить экспериментальные работы, в процессе которых разработать условные знаки и оформление карты;
- разработать компоновку для печати карты и общую концепцию публикации карты в интерактивную среду.

Методы и материалы

В процессе исследования использовались картографический и исторический методы исследования, метод сравнительного анализа. Исторический метод исследования был необходим для изучения территории и систематизации памятников истории, археологии, культуры для отображения их на карте.

Для составительских работ использовалось свободно распространяемое программное обеспечение QGIS, для выполнения экспериментальных и оформительских работ Inkscape и Adobe Photoshop [6, 7, 8].

Для разработки картографической основы использовался общедоступный некоммерческий веб-картографический сервис OpenStreetMap, откуда были получены данные на 2026 год [9].

Для интеграции в интерактивную среду задействована облачная платформа для хостинга IT-проектов и их совместной разработки – GitHub, основанный на системе контроля версий Git [10].

Кроме того, для разработки содержания и оформления карты культурного наследия Республики Алтай было необходимо выполнить анализ ранее изданных карт подобной тематики. Анализ карт основан на картографическом методе исследования, в процессе которого выявляются достоинства и недостатки ранее изданных картографических произведений, а также учитывается предыдущий опыт картографирования объектов и явлений. Для анализа использовались:

- карта «Природное и культурное наследие Сердобского района Пензенской области» [11];
 - карта- схема объектов культурного наследия и инфраструктуры НП «Водлозерский» [12];
 - карта «Наследие в Москве стало больше. Усадьбы, храмы и музеи» [13].
- Пример использованных для анализа карт представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Примеры ранее изданных карт [11,12,13].

Обобщались выявленные достоинства и недостатки анализируемых карт. На основе анализа проводились экспериментальные работы по разработке оформления тематического содержания карты культурного наследия Республики Алтай. В процессе экспериментальных работ были разработаны авторские эскизы, на которых прорабатывались особенности оформления объектов содержания культурного наследия, как по отдельности, так и их семантическое соответствие сущности отображаемых объектов. Прорабатывалась сочетаемость графических элементов между собой и совместная читаемость всех элементов содержания в целом, заливок шрифтов и условных знаков. Разработанные эскизы также путем сравнительного анализа были исследованы на предмет выбора наилучшего оформления для тематического содержания карты культурного наследия Республики Алтай.

Обсуждения

Под культурным наследием принято понимать материальную и нематериальную часть культуры, созданную прошедшим поколениями и воспринимаемую как нечто ценное и почитаемое [1].

Карта культурного наследия Республики Алтай предназначена для широкой аудитории, для местных жителей, туристов и исследователей с целью сохранения, популяризации культурным наследием региона в интересах настоящего и будущего поколений.

Исходя из назначения карты определялось ее содержание.

На территории Республики Алтай расположен объект Всемирного наследия ЮНЕСКО «Алтай – Золотые горы», включающий три территории, это:

- Алтайский государственный природный биосферный заповедник с буферной зоной 60 м акватории Телецкого озера, прилегающей к заповеднику (965 753 га);
- Катунский государственный природный биосферный заповедник с буферной зоной природного парка г Белухи (392 800 га);
- природный парк «Зона покоя Укок» (252 904 га), представляющий собой высокогорное плато, где расположены многочисленные археологические памятники (курганы, петроглифы), свидетельствующие о древней истории региона.

Общая площадь охраняемой зоны составляет 16 178 км² [3, 14].

Этот объект включен в список Всемирного наследия в 1998 году, как выдающийся образец горных ландшафтов Центральной Азии, где сохранились нетронутые экосистемы, а также как место обитания редких и исчезающих видов животных и растений [14]. Территория находящаяся под охраной ЮНЕСКО будет отображена на карте способом ареалов.

В Республике Алтай развита сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ), созданных для сохранения уникальных ландшафтов, биоразнообразия и экосистем, которые тоже будут отображены на разрабатываемой карте.

Объекты культурного наследия Республики Алтай подразделяются на:

- памятники археологии, с отображением исторических периодов – от палеолита до средневековья. Наиболее значимыми археологическим объектам считаются петроглифы Калбак-Таш. Комплекс включает наскальные рисунки, расположенные в Онгудайском районе. Петроглифы изображают животных, людей, сцены охоты и культовые символы. Пазырыкские курганы (захоронения знати скифского периода, расположенные в долине реки Большой Улаган). В курганах были обнаружены уникальные артефакты, свидетельствующие о высоком уровне развития культуры скифов и т.д.;

- объекты этнографического наследия, к которым относятся традиционные жилища, предметы быта, народные костюмы, музыкальные инструменты, фольклор и обряды алтайского народа. В эту группу можно отнести, обо, тагылы и т.д.. Важную роль в сохранении этнографического наследия играют музеи, такие как Национальный музей Республики Алтай им. А.В. Анохина и Музей алтайской культуры в селе Элекмонар;

- объекты исторического наследия, включающие здания и сооружения, имеющие историческую или архитектурную ценность, а также места, связанные с важными историческими событиями, например Цаплинский мост, Чемальская ГЭС и др., здесь же предлагается показать въездные стеллы районных центров Республики Алтай [15].

Результаты

По итогам проведения экспериментальных работ сформированы требования к оформлению содержания будущей карты:

- размещение основного картографического изображения в центральной части страницы;

- выделение важных объектов культурного наследия с помощью наглядных художественных знаков, обеспечивающих легкую идентификацию;

- классификация объектов культурного наследия, адаптированная для интуитивного восприятия информации;

- используемые цвета должны способствовать максимальному разделению различных элементов содержания и обеспечивать хорошую читаемость и наглядность карты.

Для показа общегеографической основы на карте культурного наследия Республики Алтай были выбраны такие элементы как гидрография, населенные пункты, пути сообщения, границы (районов Республики Алтай, региональные РФ и государственная).

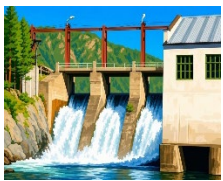
Поскольку на территории Республики Алтай сосредоточено множество объектов культурного наследия, то для их показа на карте был проведен отбор. На карте нашли свое отражение самые известные и доступные для посещения места преимущественно вдоль Чуйского тракта. На территории Республики Алтай на сегодняшний день по сведениям единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) насчитывается 170 объектов культурного наследия регионального значения [16].

Также на карте показываются ООПТ и объекты ЮНЕСКО.

Для каждой группы был разработан свой условный знак, напоминающий обозначаемый объект. Основная задача при создании условных знаков состояла в том, чтобы максимально просто и понятно и наглядно отобразить объекты культурного, не перегружая карту информацией [17].

Для показа элементов тематического содержания использован значковый способ с применением наглядных художественных знаков, которым выполнены такие объекты как въездные стеллы районных центров, кезер-таш, Цаплинский мост, тагыл и т.д. Примеры разработанных условных знаков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры условных знаков

Вид	Объекты культурного наследия		
Археологические	Курганы	Петроглифы	Каменные изваяния
	 <i>Башадап</i>		 <i>Кезер-Таш</i>
	 Раннее средневековье VI-XI века н.э. Великое переселение III-V века н.э. Скифская эпоха VIII-IV века до н.э. Древнетюркская эпоха X-VII века до н.э. Бронзовая эпоха 3-1 тыс. лет до н.э. Неолит 6-4 тыс. лет до н.э.		
Исторические	Цаплинский мост	Въездная стелла	Чемальская ГЭС
			
Этнографические (тагыл)			
ЮНЕСКО «Золотые горы Алтая»			

Для выполнения условного знака использовалась фотография, которая средствами программного обеспечения Inkscape, была отрисована методом трассировки изображения. Затем были отредактированы составляющие элементы художественного изображения и выполнена их окраска с соответствующими цветами. В результате получились наглядные условные знаки, отражающие действительный вид объекта (таблица 1).

Для отображения археологических объектов с перечнем археологических эпох использовался также значковый способ, где наличие памятников, датируемых разными эпохами в пределах одного археологического комплекса, будет показываться разными цветами соответствующему той или иной эпохе. Цифрами обозначается название комплекса, расшифровка которых дается в легенде карты.

Оформление карты заключается в том числе и в разработке компоновки карты. Карта представлена на листе формата A2 42,0 x 59,4 см. Проекция карты – Universal Transverse Mercator (WGS 84 / UTM zone 45). Компоновка карты – плавающая. Фон листа карты представлен фотографией с непрозрачностью 50%.

В левом верхнем углу расположено название карты, ниже представлена легенда с QR- кодом для перехода к цифровой версии карты. В центре листа располагается сама карта культурного наследия Республики Алтай, а в правом верхнем углу находится герб и флаг Республики Алтай.

Для заголовка, оформления легенды карты и надписей населенных пунктов использован шрифт NK123 [18].

В дальнейшем созданную карту предполагается интегрировать в интерактивную среду на сайт. В соответствии с этим будут решаться вопросы разработки и визуализации дополнительного содержания, которое можно дополнить с использованием средств мультимедиа.

Подводя итог, можно сказать, что результатом исследования стал разработанный авторский оригинал карты культурного наследия Республики Алтай масштаба 1:1 000 000 (рис. 2).



Рис. 2. Авторский оригинал карты культурного наследия Республики Алтай

Заключение

В результате исследования разработаны оформление и содержание карты культурного наследия Республики Алтай, которая предназначена для широкого

круга потребителей, для местных жителей, туристов и исследователей с целью сохранения, популяризации культурного наследия региона в интересах настоящего и будущего поколений. Оформление карты – стилистика условных знаков, использования шрифтов и рамки разработана в соответствии с ее темой и назначением. Карта может использоваться как в электронном, так и в печатном виде.

С помощью карты можно решать такие задачи, как:

- информирование и образование для широкого круга потребителей;
- сохранения культурного наследия;
- формирование чувства гордости и идентичности;
- популяризации культурного наследия;
- развитие туризма.

Целостность карты обеспечивается:

- взаимосвязью элементов: тематические объекты (ООПТ, памятники археологии, истории и др.) показываются на общегеографической основе, что позволяет анализировать их доступность;
- полнотой и сопоставимостью всех элементов содержания. Легенда карты включает классификацию объектов культурного наследия обеспечивая простоту картографического произведения;
- единообразием оформления, т.к. условные знаки, рамка карты, шрифты разрабатываются в едином стиле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Понятие «культурное наследие» и основные теоретические подходы к его изучению. – Текст : электронный // СОТИ. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-kulturnoe-nasledie-i-osnovnye-teoreticheskie-podhody-k-ego-izucheniyu/viewer> (дата обращения: 25.05.2026). – Режим доступа: свободный.
2. Культурное наследие России / Алтай. – Текст : электронный // Wikivoyage. – URL: https://ru.wikivoyage.org/wiki/Культурное_наследие_России/Алтай (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
3. Министерство культуры Республики Алтай. Общая информация. – Текст : электронный // СОТИ. – URL: <https://culture-altai.ru/otchetny/ministerstvo-kultury-respubliki-alta/obshchaya/informaciya-ob-obektah-kulturnogo-naslediya-respublikanskogo-znacheniya-nahodjaschihsya-na-territorii-res> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
4. Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия. – Текст : электронный. – URL: <https://whc.unesco.org/archive/convention-ru.pdf> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
5. Российская Федерация. Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации». – Текст : электронный. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18230> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
6. Spatial without Compromise – QGIS. – Текст : электронный. – URL: <https://qgis.org/> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
7. Adobe Photoshop: обзор интерфейса, функции и возможности программы. – Текст : электронный // Yandex Practicum. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/funkcii-i-vozmozhnosti-adobe-photoshop/> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.

8. Inkscape: рисуи свободно. – Текст : электронный. – URL: <https://inkscape.org/ru/> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
9. Загрузка OpenStreetMap для Российской Федерации. – Текст : электронный // Geofabrik. – URL: <https://download.geofabrik.de/russia.html> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
10. Что такое GitHub и как им пользоваться. – Текст : электронный // Skillbox. – URL: <https://skillbox.ru/media/code/chto-takoe-github-i-kak-im-polzovatsya/> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
11. Историко-культурное наследие федерального значения. – Текст : электронный // shkola-99.ru. – URL: <http://shkola-99.ru> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
12. Карта-схема объектов культурного наследия и инфраструктуры НП «Водлозерский». – Текст : электронный // vodlozero.ru. – URL: <http://vodlozero.ru> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
13. Наследия в Москве стало больше. Усадьбы, храмы и музеи. – Текст : электронный // Новые округа. – URL: <https://nov-okruga.ru/naslediya-v-moskve-stalo-bolshe-usadbi-hrami-i-muzei-183241/> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
14. ЮНЕСКО. – Текст : электронный // Visit Altai Republic. – URL: <https://visit-altairepublic.ru/turizm-i-otdykh/obekty-turizma/yunesko/> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
15. Республика Алтай. Закон «Об охране объектов культурного наследия в Республике Алтай». – Текст : электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?doc_itself=&backlink=1&nd=164012958&page=1&rdk=4 (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
16. Постановление о сведениях ЕГРН. – Текст : электронный // Росреестр. – URL: https://rosreestr.gov.ru/eservices/request_info_from_egrn/ (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный
17. Каменное изваяние тюркского воина «Кезер». – Текст : электронный // Большой Алтай. – URL: <https://bolshoy-altay.asu.ru/museum/artifacts/ga-izvayanie1.html> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
18. NK123 Regular шрифт. – Текст : электронный // Fonts-Online. – URL: <https://fonts-online.ru/fonts/nk123-regular> (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.

© Е. С. Утробина, С. В. Мамашева, 2026

К. С. Дементьева^{1✉}, Л. А. Карпова¹

Создание интерактивной карты экологического состояния города Барнаула Алтайского края

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: dementieva.kksenia_1@mail.ru

Аннотация: В данной работе рассмотрено создание интерактивной карты экологического состояния города Барнаула Алтайского края на основе актуальных статистических данных и данных дистанционного зондирования Земли с применением геоинформационных технологий (ГИТ). Выделены основные объекты загрязнители атмосферы, проклассифицированы объекты гидрографии, земли лесного фонда и сельскохозяйственного пользования по спектральным индексам NDTI, NDVI и BSI соответственно, и составлен интегральный показатель экологической обстановки в баллах. Разработана интерактивная веб-карта с помощью геоинформационной системы QGIS и опубликована с помощью облачной платформы GitHub.

Ключевые слова: интерактивная экологическая карта, Барнаул, природный каркас, объекты загрязнители

K. S. Dementieva^{1✉}, L. A. Karpova¹

Creation of an interactive map of the ecological state of Barnaul, Altai Territory

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: dementieva.kksenia_1@mail.ru

Abstract: In this paper, we consider the creation of an interactive map of the ecological state of the city of Barnaul in the Altai Territory based on up-to-date statistical data and data from remote sensing of the Earth using geoinformation (GIS) technologies. The main objects of atmospheric pollutants are identified, hydrographic objects, forest lands and agricultural lands are classified according to the spectral indices NDTI, NDVI and BSI, respectively, and an integral indicator of the environmental situation in points is compiled. An interactive web map has been developed using the QGIS geographic information system and published using the GitHub cloud platform.

Keywords: interactive ecological map, Barnaul, integral indicator, natural framework, polluting objects

Введение

В России с середины XX века начали стремительно возрастать темпы роста населения, промышленной нагрузки и, как следствие, урбанизации. На этом фоне особенно сильно усугубилась экологическая ситуация городских территорий, поэтому можно отметить, что отображение экологической ситуации на картах, является актуальной проблемой современности.

В настоящее время для описания экологической обстановки города Барнаула существуют, в основном, статистические данные, публикуемые Министерством экологии, но актуальная комплексная карта экологического состояния отсутствует.

Объектом исследования являются территория в административных границах города Барнаула.

Цель исследования – создание интерактивной карты экологического состояния города Барнаула Алтайского края. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить теоретические материалы по теме исследования;
- провести анализ российского опыта создания городских интерактивных экологических карт;
- выявить особенности составления интерактивной экологической карты;
- разработать программу интерактивной карты экологического состояния территории города Барнаула с применением ГИТ;
- создать интерактивную карту экологического состояния территории города Барнаула.

Методы и материалы

Для составления интерактивной карты экологического состояния города Барнаула Алтайского края использовались источники, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Источники, используемые при создании интерактивной карты

Вид источника	Название	Назначение
Основной	Картографический источник – векторные данные OpenStreetMap	Составление элементов общегеографической основы
	Данные дистанционного зондирования – спектральные спутниковые снимки для мониторинга окружающей среды Sentinel-2	Составление тематического содержания карты
	Статистический источник – санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [1]	Расчет санитарно-защитных зон промышленных предприятий
Дополнительный	Данные дистанционного зондирования – набор спутниковых данных GMTED2010 Digital Elevation	Составление рельефа местности
	Картографический источник – ФГИС СКДФ карта автомобильных дорог [2]	Создание санитарных разрывов автомобильных дорог
	Статистический источник – методические рекомендации по определению расчетной величины санитарных разрывов между автомобильной дорогой и жилой застройкой при проектировании автомобильных дорог, г. Москва, 2019 [3]	
Вспомогательный	Природа Барнаула. Отчет по проекту, выполненного в АлтГУ: руководитель проекта А.Ф. Воронков, первый заместитель главы администрации города Барнаула по дорожно-благоустроительному комплексу. Издан отчет: ООО «Алфавит», 2014. – с. 80. [4]	Изучение географической и экологической характеристики района
	Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среда в Алтайском крае в 2023 году» г. Барнаул, 2024 г. [5]	
	Руководство по картографическим и картоиздательским работам. Часть 2: Составление и подготовка к изданию топографических карт масштабов 1: 200 000, 1: 500 000. Военно-топографическое управление генерального штаба, г. Москва, 1980 г [6]	Составление редакционно-технических указаний и указаний по генерализации

Картографирование выполнено с использованием геоинформационной системы QGIS и векторного редактора Inkscape.

Составление оригинала карты началось с формирования и генерализации объектов общегеографической основы с помощью векторных данных OpenStreetMap и набора спутниковых данных GMTED2010 Digital Elevation.

Далее на карту добавлялись тематические элементы содержания: промышленные зоны предприятий, полигоны ТБО и зоны добычи полезных ископаемых импортированы из данных OpenStreetMap. Для каждого предприятия создавался художественный значок типа промышленности, к которому относится предприятие. Расчет санитарно-защитных зон для объектов промышленности был выполнен по санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [1], где:

- предприятия первого класса – 1 000 м;
- предприятия второго класса – 500 м;
- предприятия третьего класса – 300 м;
- предприятия четвертого класса – 100 м;
- предприятие пятого класса – 50 м.

Все промышленные предприятия города Барнаула распределены по классам, и для них создавались санитарно-защитные зоны с помощью инструмента «Буферизация» согласно нормативным размерам их классов.

Санитарные разрывы автомобильных дорог создавались с помощью данных о суточной интенсивности движения с сайта ФГИС СКДФ [2] и расчета суточной интенсивности и итогового расстояния снижения шума из документа ОДМ 218.2.100-2019 [3]. Итоговая формула расчета (1):

$$LA_{экв7,5} = 50 + 8,8 \times \lg(0,076 \times N_{сум}), \quad (1)$$

где $N_{сум}$ – суточная интенсивность движения.

Экологическая оценка акватории водных объектов проводилась согласно индексу мутности воды NDTI (Normalized Difference Turbidity Index) по спутниковым снимкам Sentinel-2 2023 года, по формуле (2):

$$NDTI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3}, \quad (2)$$

где: $B4$ – Band 4 (Red); $B3$ – Band 3 (Green).

Экологическая оценка земель лесного фонда проводилась согласно вегетационному индексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) по спутниковым снимкам Sentinel-2 2023 года, по формуле (3):

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}, \quad (3)$$

где: $B8$ – Band 8 (Near Infrared – NIR); $B4$ – Band 4 (Red).

Экологическая оценка земель сельскохозяйственного назначения проводилась согласно индексу оголенности почв BSI (Bare Soil Index) по спутниковым снимкам Sentinel-2 2023 года, по формуле (4):

$$BSI = \frac{(B11+B4) - (B8+B2)}{(B11+B4) + (B8+B2)}, \quad (4)$$

где: $B11$ – Band 11 (SWIR); $B4$ – Band 4 (Red); $B8$ – Band 8 (Near Infrared – NIR); $B2$ – Band 2 (Blue).

После получения необходимых растровых изображений спектральных индексов NDTI, NDVI, BSI данные средних значений были перенесены посредством инструмента «Зональная статистика» на акваторию вод озер и реки Обь, земли лесного фонда и сельскохозяйственного назначения соответственно.

Для интегрального показателя создана сетка 500 на 500 метров, на каждый сектор которой был рассчитан суммарный балл по всем экологическим факторам с помощью инструмента «Суммарное объединение атрибутов по расположению».

Интегральный показатель экологической обстановки рассчитывался по формуле (5):

$$\Sigma \text{ э.ф.} = (NDVI, NDTI, BSI) \times 1 + S \times 2 + G \times 2, \quad (5)$$

где $NDVI$ – значение рассчитанных баллов классификации индекса NDVI; $NDTI$ – значение рассчитанных баллов классификации индекса NDTI; BSI – значение рассчитанных баллов классификации индекса BSI; S – значение рассчитанных баллов за площадь санитарных зон предприятий; G – значение рассчитанных баллов за площадь санитарных разрывов дорог.

Баллы распределены по принципу, где 1 балл – наименьшая экологическая нагрузка, 5 баллов – наибольшая.

После заполнения таблиц атрибутов осуществлялся экспорт проекта в HTML формат с помощью модуля геоинформационной системы QGIS qgis2web. Следующий этап – редакция исходного кода в программе VS code, а именно формирование компоновки карты, дополнительная настройка легенды, названия и интерактивных элементов карты:

- во всех слоях отредактировано pop-up окно – интерактивный элемент, появляющийся поверх карты при нажатии, содержащий детальную информацию на основе таблиц атрибутов о каждом из объектов;

- в слое объектов загрязнителей города Барнаула слева от интерактивной карты создан список всех предприятий города, при нажатии на каждый элемент которого карта автоматически приближается и закрепляется над нужным объектом промышленности;

- в слое природного каркаса города Барнаула слева от интерактивной карты сформированы 4 кнопки слоев спектральных индексов NDVI, NDTI и BSI, при

нажатию на каждую происходит переключение слоев на выбранный, а также раскрывается дополнительное окно краткой информации об индексе: название, формула для расчета и выводы на территорию города Барнаула.

Последний шаг – создание титульной страницы веб-сайта и публикация. Верстка также выполнялась в VS Code на языке гипертекстовой разметки HTML и CSS и языке программирования JavaScript.

Публикация карты в сеть Интернет осуществлялась с помощью облачной платформы GitHub.

Результаты

В ходе исследования была создана интерактивная карта экологического состояния города Барнаула Алтайского края (рис. 1, 2, 3).

Для ознакомления с интерактивной карты экологического состояния города Барнаула ссылка для перехода на сайт – <https://taeksya.github.io/barnaul-ecology-map/>.



Рис. 1. Карта объектов загрязнителей города Барнаула



Рис. 2. Карта природного каркаса города Барнаула

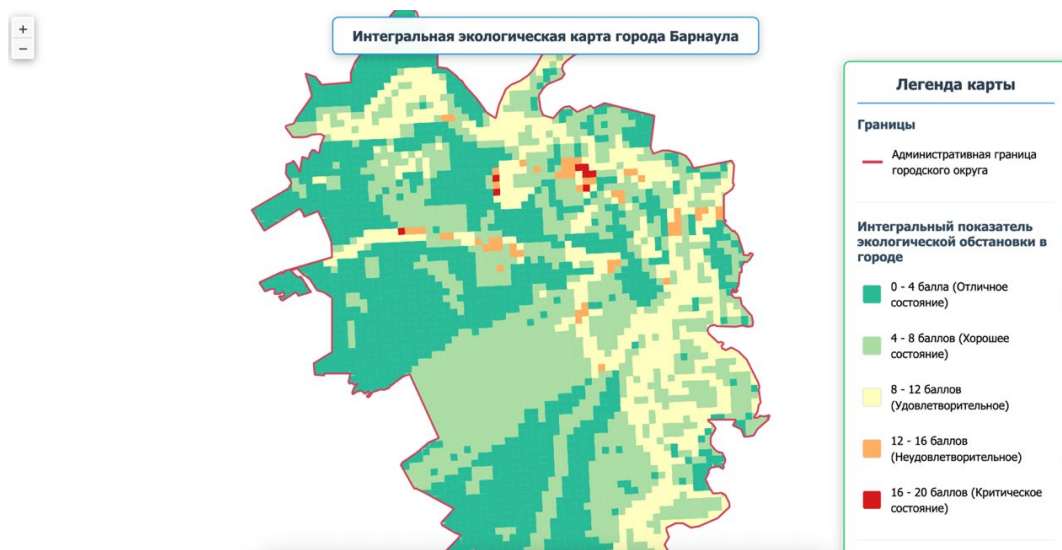


Рис. 3. Интегральная экологическая карта города Барнаула

Обсуждение

В ходе исследования были выделены и нанесены на карту объекты загрязнители окружающей среды (заводы, полигоны ТБО, фабрики, места добычи полезных ископаемых и т.д.), рассчитаны санитарно-защитные зоны этих предприятий и санитарные разрывы главных автомагистралей города Барнаула. На интегральной карте отмечены проблемные участки на фоне природного каркаса города с помощью оценки водных объектов, земель сельскохозяйственного пользования и земель лесного фонда спектральными индексами NDTI, BSI и NDVI соответственно.

Критическая ситуация прослеживаются в Ленинском районе города Барнаула – угнетенная растительность городских насаждений (парки, скверы, насаждения вблизи дорог), наличие золошлакоотвалов ТЭЦ и скопление промышленных предприятий с санитарно-защитными зонами от 300 м до 1000 м (Алтайский шинный завод, Барнаульский завод резино-технических изделий, БЗТА, завод асбестовых технических изделий).

Существенной методической сложностью в ходе выполнения исследования стало отсутствие систематизированных данных о местах отбора и химического состава проб со стационарных постов наблюдения изменения атмосферного воздуха. В связи с этим при создании интерактивной карты экологического состояния города была разработана собственная авторская методика оценки качества городской среды, позволяющая компенсировать указанный информационный дефицит и обеспечить воспроизводимость результатов.

Заключение

В результате исследования поставленная цель была достигнута – создана интерактивная карта экологического состояния города Барнаула Алтайского края. Для достижения цели решены все поставленные задачи.

Созданную интерактивную карту рекомендуется использовать для изучения факторов, формирующих экологическое состояние города, карта может применяться для просвещения населения и проведения комплексного анализа экологии города. Дальнейшие исследования в данной области можно продолжить, оценивая состояние городской среды не только с помощью данных из открытых источников, а также используя данные, предоставленные Министерством природных ресурсов и экологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О санитарно-защитных зонах и санитарной классификации предприятий, сооружений и иных объектов : Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.03.2003 : введ. 15.06.2003. – Текст : электронный // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ (дата обращения 10.05.2026). – Режим доступа : свободный.
2. Карта автомобильных дорог ФГИС СКДФ. – Москва. – Текст : электронный // Федеральное автономное учреждение Росдорнии : сайт. – 2026. – URL: <https://скдф.рф/map> (дата обращения: 07.05.2026). – Режим доступа : свободный.
3. Методические рекомендации по определению расчетной величины санитарных разрывов между автомобильной дорогой и жилой застройкой при проектировании автомобильных дорог : ОДМ 218.2.100-2019 : утв. распоряжением Росавтодора от 11.06.2019 № 1428-р. – Москва : Росавтодор, 2019. – 43 с. – Текст : электронный // Информационная сеть «Техэксперт» (дата обращения 15.05.2026). – Режим доступа: свободный.
4. Природа Барнаула. – Барнаул. – Текст : электронный // Барнаул : официальный сайт города : сайт. – 2014. – URL: <https://barnaul.org/upload/medialibrary/9ed/priroda-barnaula.pdf> (дата обращения 04.05.2026). – Режим доступа : свободный.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2023 году». – Барнаул : Министерство природных ресурсов и экологии Алтайского края, 2024. – 192 с. – Текст : непосредственный.
6. Руководство по картографическим и картоиздательским работам, Часть 2. Составление и подготовка к изданию топографических карт масштабов 1: 200 000, 1 : 500 000. – Москва : Военно-топографическое управление генерального штаба, 1980. – 168 с. – Текст : непосредственный.

© К. С. Дементьева, Л. А. Карпова, 2026

М. И. Маркелов^{1,2✉}, С. А. Крылов¹

Значение картографии для обеспечения работ по геотехническому мониторингу

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

² Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Российская Федерация
e-mail: mmarkelov-25@miigaik.ru

Аннотация. В статье обсуждается значение картографии для обеспечения работ по геотехническому мониторингу. Анализ нормативно-правовой базы показал, что требования к картографической визуализации пространственных данных отсутствуют. Анализ научных публикаций показал, что картографическая составляющая в работах по геотехническому мониторингу развита слабо и носит фрагментарный характер. В большинстве случаев картографические материалы ограничиваются схемами расположения датчиков и инженерными чертежами. Отмечается отсутствие отраслевых стандартов в этой области. Системного применения картографии в геотехническом мониторинге не наблюдается, её значение остаётся нераскрытым. Основное значение картографии для геотехнического мониторинга авторы видят в возможности построения единого цикла работы с пространственными данными. Сформулированы преимущества усиления роли картографии для всех участников работ и обозначены перспективные направления развития.

Ключевые слова: картографические материалы, геотехнический мониторинг, визуализация данных, нормативно-правовая база

M. I. Markelov^{1,2✉}, S. A. Krylov¹

The significance of cartography for supporting geotechnical monitoring works

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

² Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP), JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation
e-mail: mmarkelov-25@miigaik.ru

Abstract. The article discusses the significance of cartography for supporting geotechnical monitoring works. An analysis of the regulatory framework has shown that requirements for cartographic visualization of spatial data are absent. An analysis of scientific publications has shown that the cartographic component in geotechnical monitoring works is poorly developed and fragmented. In most cases, cartographic materials are limited to sensor location diagrams and engineering drawings. There is a lack of industry standards in this area. No systematic application of cartography in geotechnical monitoring is observed, and its significance remains unrevealed. The authors see the main significance of cartography for geotechnical monitoring in the possibility of building a unified workflow with spatial data. The advantages of strengthening the role of cartography

for all participants in geotechnical monitoring works are formulated, and promising directions for development are outlined.

Keywords: cartographic materials, geotechnical monitoring, data visualization, regulatory framework

Введение

Геотехнический мониторинг (ГТМ) является комплексом работ, проводимых для обеспечения безопасности при строительстве и реконструкции зданий и сооружений, особенно в условиях плотной городской застройки и сложной инженерно-геологической обстановки [1, 2]. В процессе данных работ накапливаются значительные объёмы данных, фиксирующих расположение элементов наблюдательных сетей (датчиков, марок, наблюдательных скважин и т.д.) и измеряемые параметры (осадки, раскрытие трещин, движение массивов грунта, поровое давление воды и другие). Все эти данные имеют пространственную привязку. Однако на практике их визуализация чаще всего ограничивается схемами расположения элементов наблюдательной сети и графиками осадок, выполненными в системах автоматизированного проектирования. Картографические материалы создаются ситуативно, их содержание и оформление не прорабатываются в рамках единого подхода. Сложившаяся практика приводит к разрыву между возможностями современной картографии и геоинформатики и реальным уровнем представления пространственных данных в ГТМ. В результате пространственная информация остаётся не в полной мере раскрытой. Из неё сложно извлечь новые знания о закономерностях деформационных процессов, связях с геологическими и техногенными факторами, динамике развития аномалий.

Цель данной работы – определить место картографии в работах по геотехническому мониторингу и предложить направления развития, повышающие её значение в этой области. Для достижения цели выполнен анализ нормативно-правовой базы и научных публикаций, обобщён опыт текущего значения картографической составляющей в инженерной практике.

Методы и материалы

Проведение работ по геотехническому мониторингу регламентируется нормативными документами [1–5], в которые входят своды правил (СП) и государственные стандарты (ГОСТы). Чтобы понять текущую роль картографии в данной сфере и оценить возможные перспективы, были проанализированы нормативные документы на предмет наличия требований к картографической визуализации пространственных данных: видам картографических материалов, системам условных знаков, легендам, форматам предоставления данных, а также к использованию геоинформационных систем и геопорталов.

Кроме того, были рассмотрены научные публикации по геотехническому мониторингу, в которых присутствует картографическая составляющая с целью выявить, какое место занимает картография в современных исследованиях [6, 7].

Теоретической основой для развития значения картографии в работах по ГТМ служат классические работы по картоведению и геоинформационному кар-

тографированию [8, 9], современные исследования в области картографического обеспечения научно-производственной деятельности [10], практические решения по созданию геопорталов [11], а также анализ применения геоинформационных технологий в работах по ГТМ [12].

Результаты и обсуждение

Анализ нормативной базы [1–5] показал, что действующие своды правил и ГОСТы, регламентирующие геотехнический мониторинг, содержат лишь отдельные упоминания схем расположения датчиков, планов и исполнительных чертежей. Требования к системам условных знаков, масштабным рядам, легендам карт и форматам пространственных данных отсутствуют. Термины «геоинформационная система», «пространственный анализ», «тематическая карта» не используются. Нормативная база не создаёт условий для усиления роли картографии в работах по геотехническому мониторингу.

Рассмотрение научных публикаций подтверждает сложившуюся практику. В большинстве статей по ГТМ картографические материалы ограничиваются схемами и чертежами. В статье [6] авторы применяют данные дистанционного зондирования, цифровые модели рельефа, ортофотопланы и разработанную 3D-ГИС для мониторинга магистральных трубопроводов. В работе [7] представлена автоматизированная система «Монитрон» с интерактивным веб-интерфейсом, картами изополей напряжённо-деформированного состояния и использованием цифровых двойников. Однако эти примеры остаются единичными. В научной литературе, за редкими исключениями, не предлагается методик создания карт деформационных полей, не обсуждаются вопросы унификации условных обозначений, масштабных рядов или форматов предоставления пространственных данных. Редко встречаются иллюстрации в виде картографических материалов. Кроме того, термин «карта» нередко применяется к инженерным чертежам и абрисам.

Аналогичная ситуация наблюдается и в инженерной практике, где каждая организация руководствуется собственными подходами к визуализации. Системного применения картографии в ГТМ не наблюдается, её значение практически не раскрывается.

Основное значение картографии для геотехнического мониторинга видится в возможности построения единого цикла работы с пространственными данными. Этот цикл включает хранение пространственных данных наблюдательной сети ГТМ, результатов наблюдений, нормативно-справочной информации, библиотек картографических условных знаков наблюдательной сети ГТМ непосредственно в базе пространственных данных, возможность визуализации и пространственного анализа этих данных в ГИС-проекте. На основе ГИС-проекта можно формировать макеты тематических карт для отчётной документации, а также создавать геопорталы с интерактивными мультимасштабными картами. Предложенная схема такого цикла приведена на рис. 1.

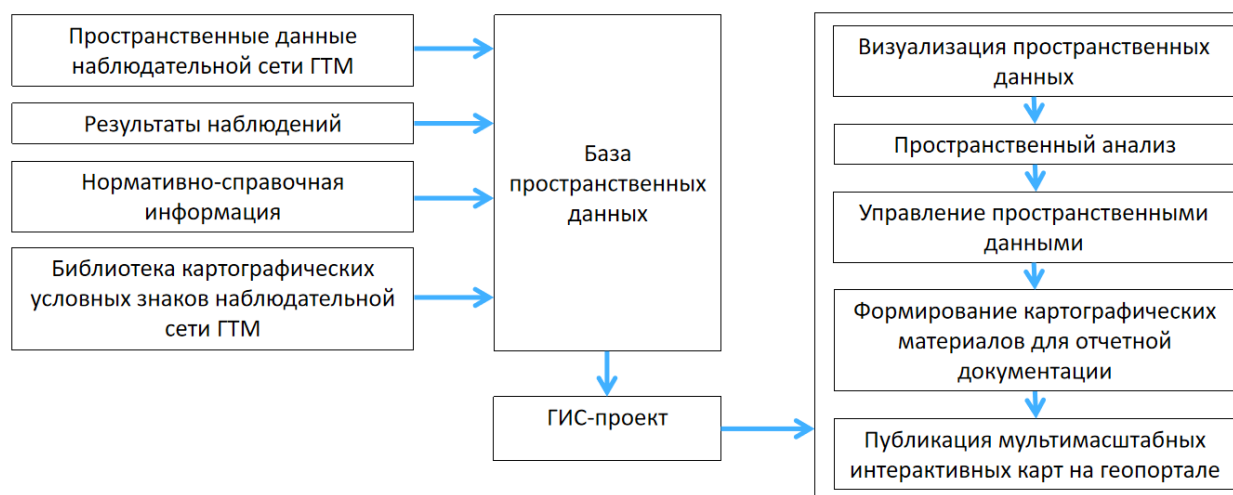


Рис. 1. Технологическая схема работы с пространственными данными геотехнического мониторинга

Важную роль в этой системе играют такие принципы картографии как математическая основа карты, выбор масштаба отображения, генерализация тематического содержания, картографическая семиотика, классификация тематических карт ГТМ. Их применение обеспечивает сопоставимость, читаемость и измеримость картографических материалов.

Усиление значения картографии в работах по геотехническому мониторингу даёт преимущества всем участникам работ. Исполнители получают работу в едином системном цикле и возможность оперативного внесения изменений и анализа в многопользовательском режиме. Руководители работ – эффективную систему контроля за ходом выполнения работ и оперативный доступ к актуальной пространственной информации. Заказчики – понятную визуализацию, возможность самостоятельной подготовки карт для обоснования решений перед вышестоящими организациями и органами государственной власти, а также доступ в реальном времени к результатам мониторинга без ожидания окончательного оформления отчёта. Контролирующие органы – сопоставимость данных разных объектов и их проверяемость.

В перспективе требуется разработка системы информационного обеспечения геотехнического мониторинга, включающей базы данных и программные продукты для автоматизации работы с данными; комплексной методики картографического обеспечения ГТМ, включающей классификацию картографических материалов, систему картографических условных знаков элементов наблюдательных сетей, рекомендации по визуализации наблюдаемых явлений и процессов. Кроме того, необходима актуализация нормативной документации с учётом картографической составляющей, унификации и стандартизации.

Заключение

Нормативная база геотехнического мониторинга не содержит требований к картографической визуализации данных. В научных публикациях картографиче-

ская составляющая развита слабо и в большинстве случаев ограничивается схемами расположения датчиков и инженерными чертежами. Системного применения картографии в работах по геотехническому мониторингу не наблюдается. Значение картографии для геотехнического мониторинга заключается в возможности построения единого цикла работы с пространственными данными – от их накопления в базе данных до визуализации и анализа в ГИС-проекте и публикации на геопортале. Такой подход делает картографические материалы сопоставимыми, читаемыми и измеримыми, а также даёт явные преимущества всем участникам: исполнителям, руководителям работ, заказчикам и контролирующим органам. Для повышения значения картографии в геотехническом мониторинге необходимо развитие картографического обеспечения как системного процесса, интегрирующего методы сбора, хранения, анализа, визуализации и публикации пространственных данных на основе ГИС-технологий и геопортальных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – М.: Стандартинформ, 2017. – 73 с.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – Москва : Стандартинформ, 2024. – 194 с.
3. ГОСТ 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 15 с.
4. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Москва : Российский институт стандартизации, 2024. – 69 с.
5. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84. – Москва : Минстрой России, 2017. – 73 с.
6. Долгополов Д.В., Кузнецов Т.И., Федотов А.Л. Применение данных дистанционного зондирования Земли для информационного обеспечения геотехнического мониторинга магистральных трубопроводов // Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта. – 2025. – С. 182–188.
7. Меркин В.Е., Пичугин А.А., Симутин А.Н., Медведев Г.М., Кузянов Н.А. Автоматизированная система комплексного геотехнического мониторинга и опыт ее практического применения // ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», ООО «Монитрон». – 2023. – С. 4–8.
8. Салищев К.А. Картоведение: Учебник. – 3-е изд. – М., 1990. – 400 с.
9. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. – М., 1997.
10. Логинов Д.С. Систематизация результатов и подходов к пониманию картографического обеспечения научно-производственной деятельности // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 75–87. – DOI: 10.33764/2411-1759-2025-30-4-75-87.
11. Загребин Г.И., Дворников А.В. Геопортал как средство хранения и поиска геопро странственной информации в учебной и научно-технической деятельности // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 175–178.
12. Маркелов М.И., Харичкин А.И. Геоинформационные технологии в геотехническом мониторинге: современное состояние и перспективы // Труды Международной научно-практической конференции GEOMOS26. – Москва : НИИОСП им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство». – 2026. – С. 925–930.

© М. И. Маркелов, С. А. Крылов, 2026

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 контент 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

Н. Б. Хахулина^{1✉}, В. А. Костылев¹, А. И. Плукчи¹

Оценка эффективности гибридной технологии сбора геопространственных данных для получения трехмерных моделей помещений

¹ Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Российская Федерация
e-mail: hahulina@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема создания точных и детальных трехмерных моделей внутренних помещений зданий в условиях отсутствия спутниковых навигационных сигналов. Показано, что традиционная тахеометрическая съёмка обеспечивает высокую точность опорных точек, но даёт разреженный каркас, тогда как мобильные SLAM-сканеры быстро формируют плотное облако точек, однако страдают от накопления ошибок дрейфа. Предложена гибридная технология, объединяющая электронный тахеометр Sokkia SET330RK и ручной SLAM-сканер SHARE SLAM S10 с привязкой по светоотражающим маркерам, координаты которых определены тахеометрически. Разработана методика полевых и камеральных работ, апробированная на примере коридора университета длиной 171 м. Выполнена количественная оценка эффективности по трём критериям: точность (снижение среднеквадратической погрешности с 10–20 см до 1–1,5 см), время полевых работ (20–30 мин против 4–6 ч при детальной тахеометрии) и детализация (миллионы точек против десятков). Обоснована пригодность полученной модели для цифровых двойников уровня и систем внутренней навигации

Ключевые слова: 3Д модель, гибридная технология, SLAM-сканер, электронный тахеометр, лазерное сканирование, привязка по маркерам, точность, детализация, внутренняя навигация

N. B. Khakhulina^{1✉}, V. A. Kostylev¹, A. I. Plukchi¹

Efficiency Assessment of a Hybrid Geospatial Data Acquisition Technology for Building Digital Twins

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation
e-mail: hahulina@mail.ru

Abstract. The problem of creating accurate and detailed digital twins of building interiors in the absence of satellite navigation signals is considered. It is shown that traditional tachymetric surveying provides high accuracy of reference points but yields a sparse framework, while mobile SLAM scanners quickly generate dense point clouds but suffer from drift error accumulation. A hybrid technology combining a Sokkia SET330RK electronic total station and a handheld SHARE SLAM S10 scanner with registration via reflective markers (coordinates measured tachymetrically) is proposed. A field and office workflow is developed and tested on a 171-m university corridor. Quantitative efficiency assessment is performed for three criteria: accuracy (RMS error reduction from 10–20 cm to 1–1.5 cm), field time (20–30 min vs. 4–6 h for detailed tachymetry), and detail (millions of points vs. dozens). The resulting model is proved suitable for LOD300–350 digital twins and indoor navigation systems.

Keywords: 3 D model, hybrid technology, SLAM scanner, electronic total station, laser scanning, marker-based registration, accuracy, detail, indoor navigation

Введение

Создание цифровых двойников (ЦД) зданий предъявляет высокие требования к точности и детализации геопространственных данных, особенно для внутренних помещений, где глобальные навигационные спутниковые системы не работают. Классическая геодезическая съёмка методом тахеометрии обеспечивает высокоточные опорные точки, но трудоёмка и даёт разреженный каркас, недостаточный для задач ЦД (фиксация инженерных коммуникаций, архитектурных деталей) [1]. В то же время мобильные системы лазерного сканирования на основе SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) позволяют быстро получать плотные облака точек, однако страдают от накопления ошибок дрейфа при длительном сканировании и требуют внешних опор для привязки [2-5].

Цель работы – оценить эффективность гибридной технологии сбора геопространственных данных (электронный тахеометр + ручной SLAM-сканер с заранее подготовленными маркерами) для построения 3Д модели, основы цифрового двойника здания на примере коридора университета.

Методы и материалы

Оборудование используемое в работе:

- Электронный тахеометр Sokkia SET330RK (точность измерения расстояний с призмой $\pm(2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$, углов – $5''$);
- Ручной SLAM-сканер SHARE SLAM S10 (скорость 200 000 точек/с, дальность до 70 м, точность 1–3 см, поле обзора $360^\circ \times 59^\circ$);
- Светоотражающие маркеры алмазного класса 2×2 см с центральной мишенью.

Методика полевых работ.

Тахеометрическая съёмка проводилась с одновременным проложением хода по точкам, отмеченным на полу и координированием марок, закрепленных по стенам коридора, с двумя независимыми измерениями на каждый маркер. Координирование производилось в условной системе координат (ось X – вдоль коридора, Y – перпендикулярно стенам, H – высота). Съёмке подвергались все характерные точки помещения – углы, оконные и дверные проёмы, выступы, в результате была получена трехмерная модель – каркас помещения (рис.1). SLAM-сканирование проводилось методом прохода оператора со сканером по коридору со скоростью 0,5–1,0 м/с, с фиксацией опорных маркеров, с замыканием петли.

Обработка данных проводилась поэтапно. Первичная фильтрация и децимация облака точек проводилась в мобильном приложении, далее в nanoCAD Облака точек производилась идентификация маркеров в облаке и расчёт параметров 7-параметрического преобразования к координатам тахеометра методом наименьших квадратов. Далее был проведен контроль качества по остаточным расхождениям контрольных маркеров.

На последнем этапе была построена каркасная модель по данным электронного тахеометра (рис.1) и скорректированное облако точек по результатам лазерного сканирования (рис.2).

Результаты

Эксперимент выполнен в коридоре университета длиной 171 м.

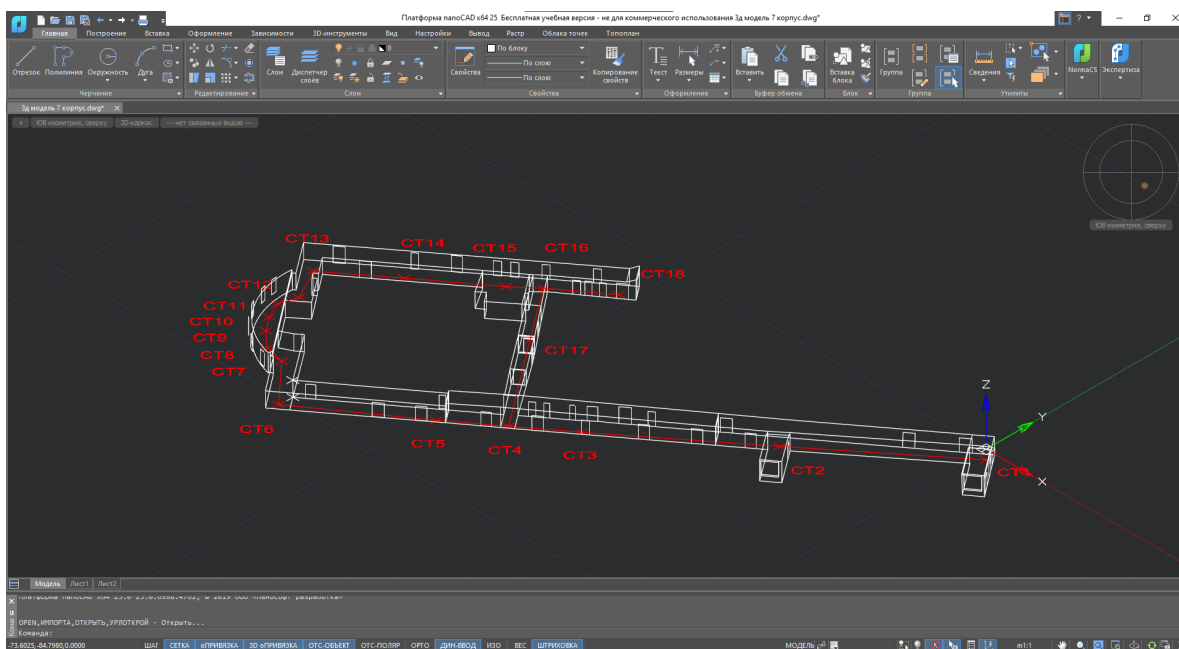


Рис. 1. Модель, построенная по результатам электронной тахеометрии

После привязки облака точек к опорным маркам среднеквадратическая погрешность координат контрольных точек снизилась с 0,2 м (автономный SLAM) до 0,012 м (гибридная технология).

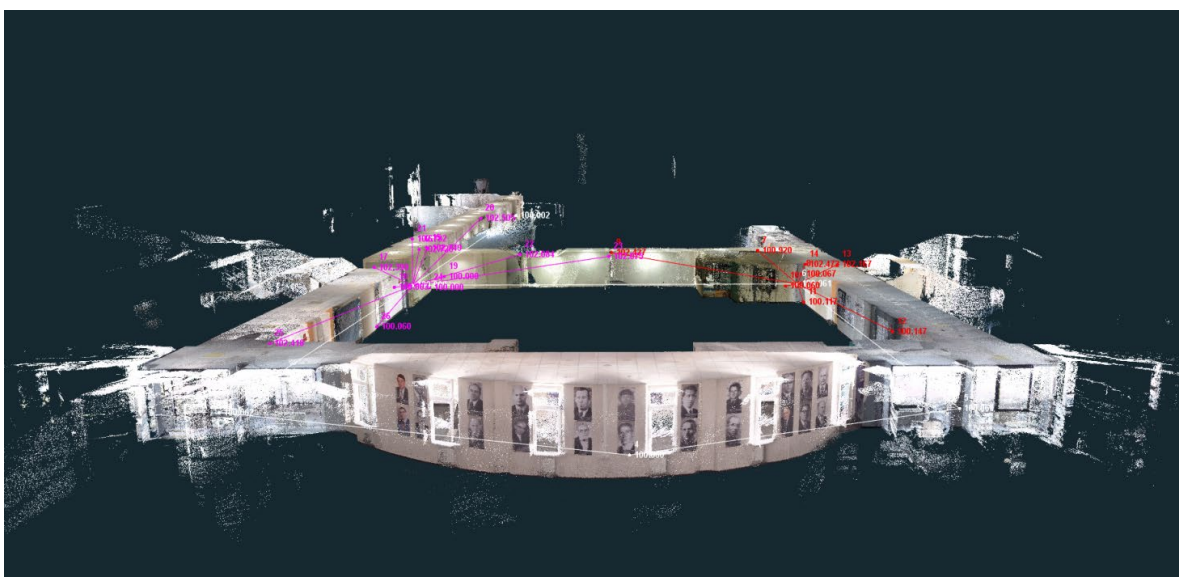


Рис. 2. Модель, построенная по результатам электронной тахеометрии

Расхождения между тахеометрическими и скорректированными SLAM-координатами не превысили 1,5 см.

Полевые работы для коридора 171 м заняли 5 часов 15 мин (тахеометрическая съёмка – 5 часов, SLAM-проход – 15 мин), камеральная обработка – 1 час.

Каркасная модель содержит 247 точек, после SLAM-сканирования получено облако из 12,6 млн точек (плотность ≈ 25000 точек/м²). Это позволяет распознавать объекты размером от 1 см и соответствует уровню LOD350.

Обсуждение

Недостатки тахеометрической съёмки заключаются в трудозатратности и сложности с детализацией – тахеометр фиксирует отдельные точки, а не сплошную поверхность, для получения плотного облака точек потребуется очень большое количество измерений. Также возникают ошибки оператора при выборе режима измерений – призма, марка, стена, что снижает общую точность результата.

Недостаток сканирования SLAM технологией заключается в накоплении ошибок по ходу удаления от начала съёмки.

Полученные результаты подтверждают гипотезу – гибридная технология сочетает высокую точность тахеометра и полноту SLAM-сканера. Применение маркеров, закоординированных с высокой точностью, эффективно устраняет дрейф – ключевую проблему мобильного сканирования.

По сравнению с одним тахеометром выигрыш в детализации и времени – более чем 10000-кратный.

По сравнению с автономным SLAM – повышение точности на порядок (с 0,20 м до 0,014 м).

По сравнению со статическим лазерным сканированием (наземным) – сокращение полевых работ с нескольких часов до 15 мин.

Экономическая эффективность гибридного подхода заключается в прямой экономии трудозатрат по сравнению с детальной тахеометрией и составляет $\approx 69\%$. Полученная модель пригодна для создания систем внутренней навигации и эксплуатационных задач BIM.

Заключение

В работе разработана и экспериментально апробирована гибридная технология сбора геопространственных данных для цифровых двойников зданий.

Совместное использование электронного тахеометра и SLAM-сканера с привязкой по маркерам обеспечивает снижение СКП облака точек с 0,20 м до 0,014 м.

Время полевых работ сокращается в 10–20 раз по сравнению с детальной тахеометрической съёмкой.

Детализация модели по данным сканирования достаточна для создания ЦД уровня LOD300–350 и навигационных приложений.

Перспективы дальнейших исследований: автоматизация распознавания маркеров, масштабирование на многоэтажные здания, интеграция с методами машинного обучения для семантической сегментации облаков точек [6-13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бредихин, К. Н. Тахеометрическая съемка как основа для формирования цифровой модели здания / К. Н. Бредихин, М. Е. Дмитриев, Н. Б. Хахулина // Студент и наука. – 2026. – № 1(36). – С. 137-142..
2. Гладков С. В., Середович А. В. Лазерное сканирование в строительстве и геодезии. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 124 с.
3. Ушаков Д. А., Калинин А. А. Обоснование точности SLAM-систем для внутреннего позиционирования // Геодезия и картография. – 2021. – № 6. – С. 25–33.
4. Семешко Е. Ю., Середович А. В. Опыт создания цифровых двойников зданий по данным наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 3. – С. 122–128.
5. Хахулина, Н. Б. Перспективы использования современных технологий для получения геопространственных данных / Н. Б. Хахулина, В. А. Костылев // Теория и практика инновационных технологий в АПК : Материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 апреля – 31 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I, 2025. – С. 174-179.
6. Akinci B., Borrmann A. Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice. – Cham: Springer, 2018. – 485 p.
7. Leonard J., Durrant-Whyte H. Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot // Proc. IEEE Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems. – 1991. – P. 1442–1447.
8. Bosse M., Zlot R., Flick P. Joint calibration of multiple sensors for 3D mapping // IEEE Trans. on Robotics. – 2012. – Vol. 28, No 3. – P. 635–649.
9. Zlot R., Bosse M. Efficient large-scale three-dimensional mobile mapping // J. of Field Robotics. – 2014. – Vol. 31, No 5. – P. 742–763.
10. GeoSLAM Hub User Manual, Version 3.5. – Nottingham, UK: GeoSLAM, 2022. – 87 p.
11. Sokkia SET330RK Instruction Manual. – Tokyo: Sokkia Co., 2015. – 112 p.
12. Czerniawski T., Nahangi M., Haas C. Automated 3D data collection for digital twin creation of existing buildings // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 113. – P. 103115.
13. Совершенствование сбора геопространственных данных для трехмерного моделирования методами наземной фотограмметрии / Е. В. Тимков, Д. С. Лазарев, Д. Ф. Клевцова, Н. Б. Хахулина // Научная опора Воронежской области : Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2025. – С. 305-308.

© Н. Б. Хахулина, В. А. Костылев, А. И. Плукчи, 2026

О. П. Якимова¹✉, П. А. Русских¹, А. Д. Волкова¹

Сравнение алгоритмов совместного геометрического упрощения нескольких слоев пространственных данных

¹ Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Российская Федерация
e-mail: olga_pavl02@mail.ru

Аннотация. В процессе картографической генерализации нередко изменяются отношения между объектами, тем более что общепринятой является практика упрощения каждого слоя пространственных данных независимо. В результате возникают топологические конфликты. Многие исследователи обращались к проблеме их автоматического поиска и разрешения. Альтернативным подходом является совместное упрощение различных слоев пространственных данных с сохранением их топологических отношений. В настоящем исследовании проводится сравнение двух таких алгоритмов: на основе стягивания ребер графа и минимизации ошибки и на основе квадродерева. Сравнение производится на основе оценки точности пространственного позиционирования и точности передачи формы. В качестве исходных данных для экспериментов используются фрагменты карт масштаба 1:500 000 и 1:1 000 000. Приводятся результаты сравнения алгоритмов на основе выбранных характеристик. Слои пространственных данных, упрощенные обоими алгоритмами, сохраняют топологические отношения, то есть не содержат разрывов, наложений и т.п. Отмечены недостатки алгоритмов и сделаны выводы о их применимости для среднемасштабного картографирования.

Ключевые слова: алгоритм совместного упрощения, топологические отношения, квадродерево, граф, стягивание ребра

O. P. Yakimova¹✉, P. A. Russkix¹, A. D. Volkova¹

A comparative study of algorithms for the joint simplification of multiple spatial data layers

¹ Yaroslavl Demidov State University, Yaroslavl, Russian Federation
e-mail: olga_pavl02@mail.ru

Abstract. In the process of cartographic generalization, the relationships between objects often change, especially since it is common practice to simplify each layer of spatial data independently. As a result, topological conflicts arise. Many researchers have addressed the issue of their automatic search and resolution. An alternative approach is the joint simplification of various layers of spatial data while preserving their topological relationships. In this study, two such algorithms are compared: on the basis of graph edge contraction and error minimization, and on the basis of a quadtree. The comparison is based on an assessment of the accuracy of spatial positioning and the accuracy of shape transfer. Fragments of 1:500,000 and 1:1,000,000 scale maps are used as initial data for experiments. The results of comparing algorithms based on selected characteristics are presented. The spatial data layers simplified by both algorithms preserve topological relationships, that is, they do not contain breaks, overlaps, etc. The disadvantages of the algorithms are noted and conclusions are drawn about their applicability for medium-scale mapping.

Keywords: joint simplification algorithm, topological spatial relationships, quadtree, graph, edge cotraction

Введение

В условиях стремительного роста объемов геопространственных данных и расширения сфер их применения особую актуальность приобретает задача эффективного представления картографической информации на различных уровнях детализации. Одним из ключевых этапов картографической генерализации является геометрическое упрощение, направленное на снижение сложности пространственных объектов при сохранении их существенных характеристик и топологической корректности [1].

Алгоритмы геометрического упрощения играют важную роль в обработке векторных данных, позволяя адаптировать картографические объекты к требованиям визуализации, анализа и хранения. С одной стороны, необходимо минимизировать избыточность данных и повысить производительность систем, с другой — сохранить информативность и узнаваемость объектов. Достижение баланса между этими требованиями представляет собой сложную научную и практическую задачу.

На сегодняшний день предложено множество методов упрощения, например, хорошо известные универсальные алгоритмы Дугласа-Пейкера [2], Мак-Мастера [3], Висвалингам–Уайатта [4], Свентэка [5] и др. [6]. Кроме того, были разработаны специализированные алгоритмы, которые хорошо подходят для упрощения определенных типов линий, например, береговых [7] или зданий [8]. Несмотря на значительный прогресс, остаются открытыми вопросы оценки качества упрощения и автоматизации выбора параметров алгоритмов.

Процесс автоматической картографической генерализации нередко нарушает изначальные соотношения между объектами, особенно учитывая традиционную практику независимого упрощения отдельных слоев пространственных данных [9]. Задаче поиска топологических конфликтов посвящены работы многих исследователей [10 – 13]. Также были предложены модификации алгоритмов геометрического упрощения, которые не допускают самопересечение упрощаемых линий [14, 15]. Использовались и различные разбиения (покрытия) карты и генерализация линейных объектов на их основе, что позволяет избегать топологических конфликтов [16, 17, 18]. Но все эти методы работают исключительно для одного слоя линейных объектов.

В работах [19 – 21] предлагается иной подход, а именно совместное упрощение нескольких слоев пространственных данных. Целью настоящего исследования является сравнение этих алгоритмов для определения сильных и слабых сторон каждого из них. Сравнение предлагается проводить на основе вычисляемых значений, характеризующих отклонение от исходного положения и точность передачи формы, то есть будет оцениваться географическое правдоподобие полученной линии.

Методы и материалы

Алгоритм, сохраняющий топологию (алгоритм T1). Первый из рассматриваемых алгоритмов позволяет провести геометрическое упрощение множества

линейных объектов, в том числе из разных слоев, с сохранением топологии [19, 20]. Линейные объекты представляются в виде графа, то есть непустого множества вершин и ребер, последние отражают связи между некоторыми парами вершин.

Основная операция алгоритма *T1* – это стягивание ребра AB в вершину C , заменяющую вершины A и B . Стягивание ребра возможно только при сохранении топологии. Так, на рис. 1а приведен пример, когда она остается неизменной, а на рис. 1б – когда при стягивании ребра топология меняется: два цикла в графе, например, представляющих разветвленное русло реки, получили общую точку. В последнем случае стягивание невозможно. Положение вершины C определяется в соответствии с методом минимизации квадратичной формы [22]. Стягивание ребра AB в точку приводит к топологически эквивалентному графу тогда и только тогда когда по меньшей мере одна из вершин A, B принадлежит в точности двум ребрам и вершины A и B не имеют в графе общих соседей.

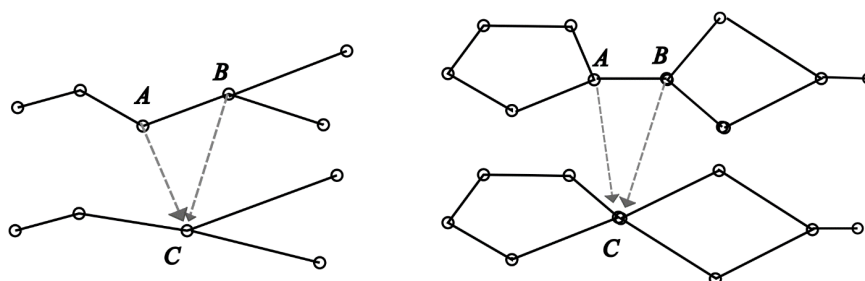


Рис. 1. Стягивание ребра AB в вершину C

Алгоритм геометрического упрощения *T1* состоит из следующих шагов:

1. Объединение слоев и создание графа. Слои объектов проецируются на один слой, при этом добавляются точки пересечения объектов из различных слоев, а затем объединяются в общую структуру данных, представляющую собой граф. При этом для сохранения наиболее важных элементов ломаных производится анализ изгибов. Если точка является вершиной изгиба, то цена стягивания ребер, инцидентных данной вершине, увеличивается.

2. Все ребра графа упорядочиваются по возрастанию цены стягивания. Производится геометрическое упрощение путем последовательного стягивания ребер в порядке возрастания цены при условии сохранения топологической эквивалентности системы. Процесс продолжается, пока количество вершин графа не снизится до заданного числа процентов от исходного количества вершин.

3. Разделение на слои, содержащие генерализованные версии данных исходных слоев объекта.

Алгоритм, сохраняющий топологию на основе квадродерева (алгоритм T2). Предлагаемый алгоритм имеет единственный параметр — минимальный размер отображаемой на карте детали *Minsize* (обычно он равен одному миллиметру в целевом масштабе карты) и позволяет провести топологически корректное совместное геометрическое упрощение линейных, полигональных и точечных слоев [21]. Основными шагами алгоритма являются:

1. Построение сеточной структуры данных на основе квадродерева. Объекты каждого слоя векторной карты заносятся в структуру данных. Корневая ячейка, соответствующая охвату карты, делится на четыре дочерних квадратных ячейки до тех пор, пока либо в ячейке останется единственный объект, либо размер ячейки равен минимальному (рис.2).

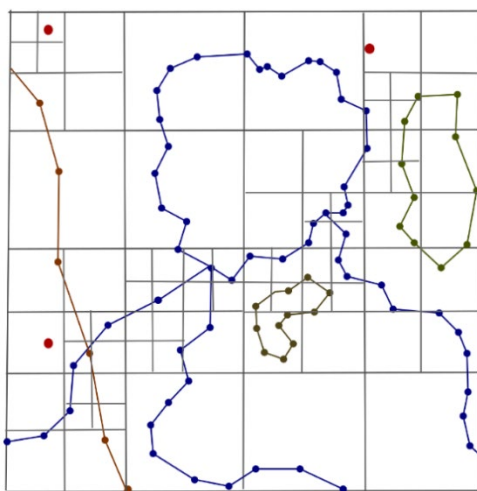


Рис. 2. Пример построения сеточной структуры данных

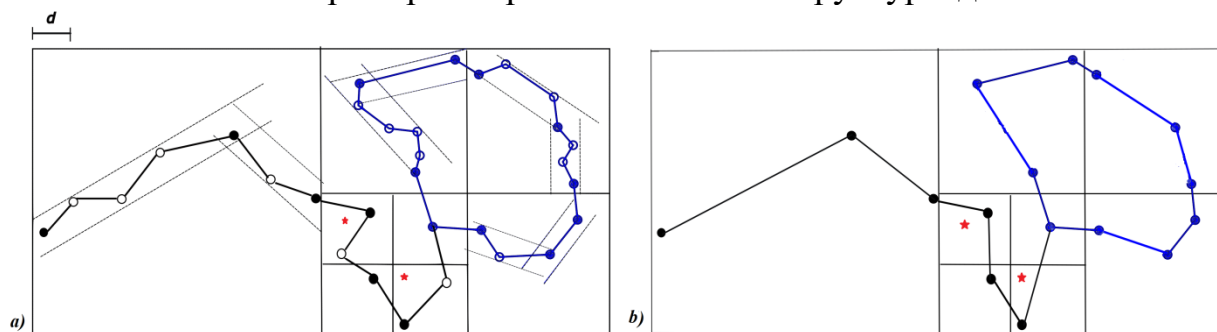


Рис. 3. Процедура упрощения

2. Упрощение. Для каждого пространственного объекта формируется последовательность ячеек сеточной структуры данных, которым принадлежат точки данного объекта. Если в ячейке находится точки только одного объекта, то его геометрическое упрощение происходит в рамках ограничивающей ячейки по алгоритму «облегающего/обтягивающего рукава», предложенному в работе [23]. Параметр алгоритма d задается равным половине минимального размера различимой детали *Minsize*. Если в ячейке содержатся точки нескольких объектов, то

геометрическое упрощение осуществляется с помощью специальной, сохраняющей топологию, процедуры (рис. 3) [21].

Для анализа точности пространственного позиционирования применяется модифицированное расстояние Хаусдорфа (МНД) [24]. Чем меньше значение МНД, тем ближе исходная линия к упрощенной. Усреднение расстояний позволяет уменьшить влияние случайных выбросов — отдельных точек, существенно отстоящих от исходного положения.

Для оценки точности передачи формы линии предлагается использовать коэффициент длины (LR), равный отношению длин упрощенной и исходной линий, описанный в работе [25]. И коэффициент сокращения изгибов (BR), равный отношению количества изгибов упрощенной линии к количеству изгибов исходной.

Результаты

В качестве исходных данных рассматривались фрагменты цифровой карты России масштабов 1:500000 и 1:1000000. Исходные данные и результаты их упрощения обоими алгоритмами представлены на рис. 4 и рис. 5.

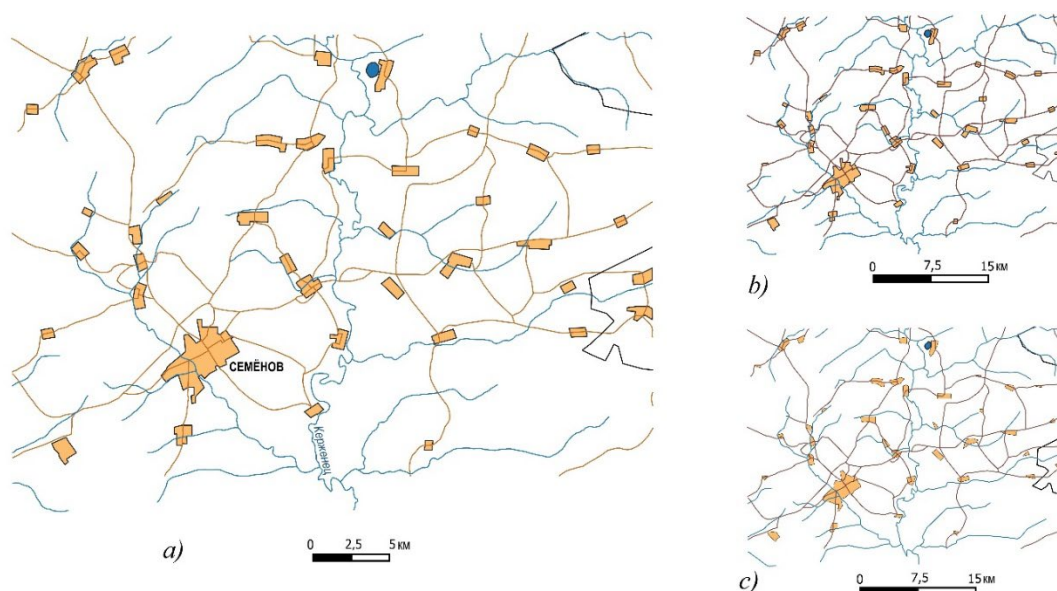


Рис. 4. а) Исходные данные масштаба 1:500000. Результат упрощения:
б) алгоритмом T1; в) алгоритмом T2

Таблица 1 – Изменение коэффициента длины и коэффициента сокращения изгибов

Исходные данные в масштабе	Алгоритм T1		Алгоритм T2	
	LR	BR	LR	BR
1 : 1 000 000	1	0,62	0,97	0,65
1 : 500 000	1	0,51	0,95	0,46

Изменения коэффициента длины и коэффициента сокращения изгибов приведены в табл.1, а значения модифицированного расстояния Хаусдорфа между исходными и упрощенными объектами каждого слоя пространственных данных – в табл. 2.

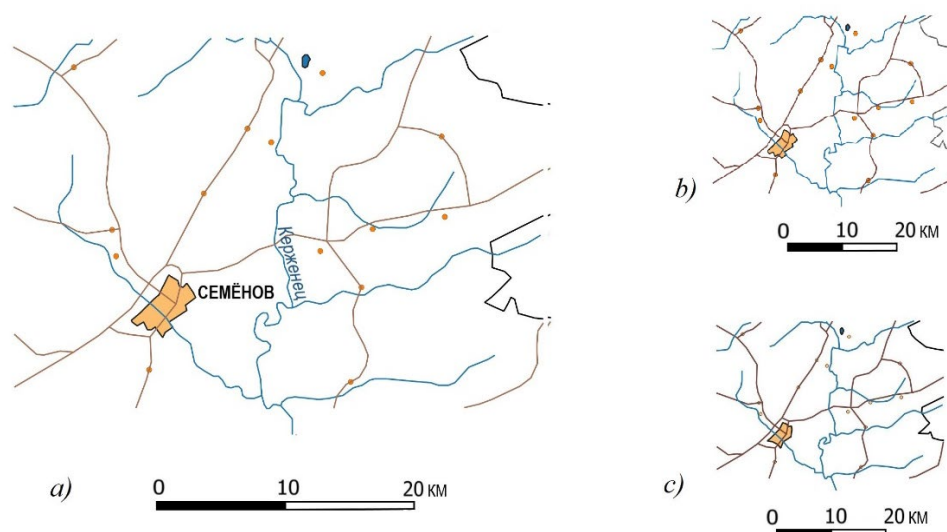


Рис. 5. а) Исходные данные масштаба 1:1000000. Результат упрощения: б) алгоритмом T1; в) алгоритмом T2

Таблица 2 – Модифицированное расстояние Хаусдорфа между исходными и упрощенными объектами

Объекты	Исходное количество точек	Алгоритм T1		Алгоритм T2	
		Количество точек	MHD	Количество точек	MHD
Фрагмент карты масштаба 1:1 000 000					
Реки	283	117	3	145	6
Водоемы	12	6	4	11	10
Границы населенных пунктов	28	17	3	16	14
Дороги	123	101	2	100	27
Границы районов	28	17	6	20	27
Фрагмент карты масштаба 1:500 000					
Реки	1774	687	1	714	1
Водоемы	18	10	1	13	4
Границы населенных пунктов	431	393	74	315	16
Дороги	1093	605	1	644	2
Границы районов	28	25	1	24	8

Обсуждение

Среднее расстояние между исходной и упрощенной линиями меньше у алгоритма T1 (на основе стягивания ребер и минимизации ошибки). Длина при упрощении алгоритмом T1 остается неизменной, сокращение числа изгибов у обоих алгоритмов примерно одинаково. Как показано на рис. 6, при генерализации алгоритмом T1 даже при сокращении числа точек в 4 раза топологические отношения между объектами сохраняются.

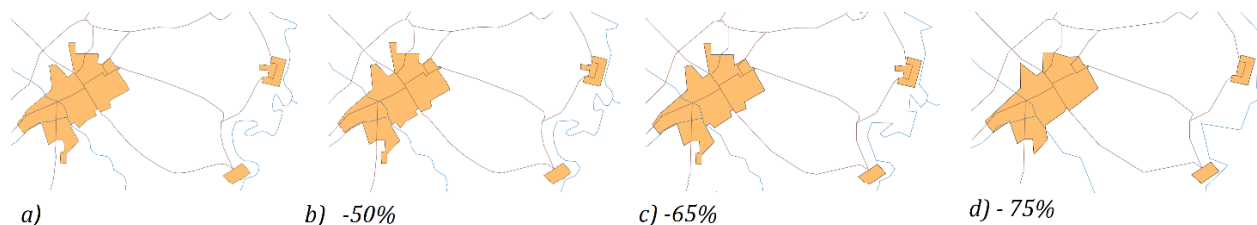


Рис. 6. а) Фрагмент исходных данных масштаба 1:500000 и результаты его упрощения при сокращении б) 50% точек в) 65% точек d) 75% точек

При проведении экспериментов с фрагментами цифровой карты масштаба 1:250000 оказалось, что в некоторых случаях алгоритм T1 удаляет существенные части полигональных объектов (рис. 7а), в то время как алгоритм T2 корректно проводит генерализацию (рис. 7б). Результат упрощения встроенным в геоинформационную систему QGIS алгоритмом Дугласа-Пейкера демонстрирует потерю связности дорог и населенных пунктов (рис. 7с).

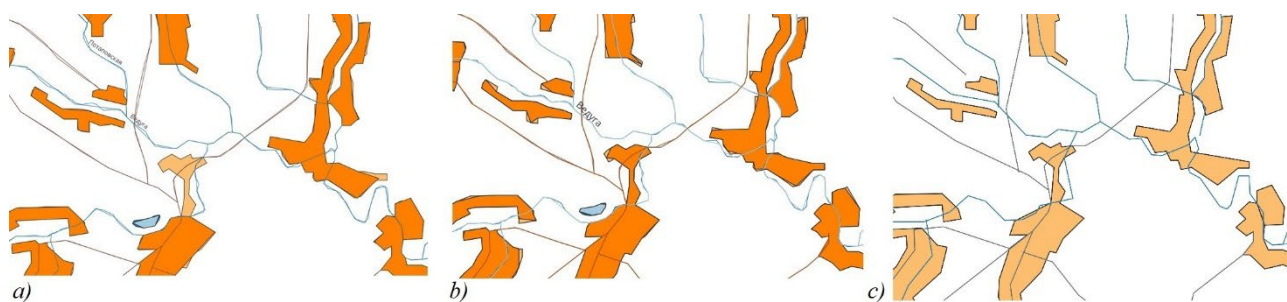


Рис. 7. Результат упрощения фрагмента исходных данных масштаба 1:250000: а) алгоритмом T1, б) алгоритмом T2, в) алгоритмом Дугласа-Пейкера

Заключение

В настоящей работе проводится сравнение двух алгоритмов совместного геометрического упрощения множества слоев пространственных данных, сохраняющих их топологические отношения. Алгоритм T1 на основе минимизации ошибки при стягивании ребер при сокращении точек до 50% на среднемасштабных картах дает лучший результат, чем алгоритм T2 на основе квадродерева. Но

алгоритм Т1 не учитывает точечные объекты при генерализации, и, на картах более крупных масштабов допускает некорректное упрощение некоторых объектов. Алгоритм Т2 на основе квадродерева учитывает точечные слои при упрощении. Более устойчив к топологически корректной генерализации при сокращении большого количества точек.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для среднемасштабного картографирования при небольшой степени генерализации больше подходит алгоритм Т1, для карт более крупных масштабов – алгоритм Т2.

Изначально оба алгоритма реализованы на языке С#, позже созданы плагины для QGIS, доступные для скачивания и экспериментов [26, 27]. Все программные продукты прошли государственную регистрацию.

В качестве перспектив дальнейших исследований предлагается модификация рассматриваемых алгоритмов для упрощения карт крупных масштабов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А. М. Картография. 4-е изд. – М.: КДУ, 2014. – 448 с.
2. Douglas D. H., Peucker T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature// *Canadian Cartographer*. – 1973. – Vol.10, No 2. – P. 112–122.
3. McMaster R. B. Automated line generalization // *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. – 1987. – Vol. 24, No 2. – P. 74–111.
4. Visvalingham M., Whyatt J. Line generalization by repeated elimination of points// *Cartographic Journal*. – 1993. – Vol. 30, No 1. – P. 46–51. DOI: 10.1179/000870493786962263
5. Свентэк Ю. В. Теоретические и прикладные аспекты современной картографии. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 80 с.
6. Li Z. Algorithmic Foundation of Multi-Scale Spatial Representation. – CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2007. – 310 p.
7. Wang Z., Muller J.C. *Complex Coastline generalization* // *Cartography and Geographic Information Science*. – 1993. – Vol. 20, No 2. – P. 96–106. DOI: 10.1559/152304093782610333
8. Wei Z., Liu Y., Cheng L., Ding S. A Progressive and Combined Building Simplification Approach with Local Structure Classification and Backtracking Strategy// *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* – 2021. – Vol.10, No 5. – 302. DOI: 10.3390/ijgi10050302
9. Dettori G., Puppo E. How generalization interacts with the topological and metric structure of maps// *Proceedings of SDH'96*, 12-16 August 1996, The Netherlands. 1996. – 9A.27–9A.38.
10. Rhind D. Generalization and realism with automated cartographic system // *Canadian Cartographer*. – 1973. – Vol. 10(1). – P. 51–62.
11. Monmonier M. Displacement in vector-and raster-mode graphics // *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. – 1987. – Vol. 24, No. 4. – P. 25–36.
12. Clementini E., Sharma J., Egenhofer M.J. *Modelling topological spatial relations: Strategies for query processing* // *Computers & Graphics*. – 1994. – V.18 N 6. – P. 815–822.
13. Zhou X., He H., Hou D., Li R., Zheng H. A RefinedLines/Regions and Lines/Lines Topological Relations Model Based on Whole-Whole Objects Intersection Components // *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* – 2021. – Vol.10(1), 15. DOI: 10.3390/ijgi10010015

14. de Berg M., van Kreveld M., Schirra S. Topologically correct subdivision simplification using the bandwidth criterion // *Cartography and Geographic Information Science*. – 1998. – No. 25. – P. 243–257.
15. Saalfeld A. Topologically Consistent Line Simplification with the Douglas-Peucker Algorithm// *Cartography and Geographic Information Science*. – 1999. –Vol. 26(1). – P. 7–18. DOI: 10.1559/152304099782424901
16. Van Der Poorten P. M., Jones C. B. Characterisation and generalisation of cartographic lines using delaunay triangulation // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2002. – Vol. 16 (8). – P. 773–794.
17. Li Z., Openshaw S. Algorithms for automated line generalization based on a natural principle of objective generalization // *International Journal of Geographical Information Systems*. – 1992. – Vol.6(5). – P. 373 – 389. DOI:10.1080/02693799208901921
18. Raposo P. Scale-specific automated line simplification by vertex clustering on a hexagonal tessellation // *Cartography and Geographic Information Science*. – 2013.– Vol.40(5).– P. 427–443.
19. Алексеев В.В., Богаевская В.Г., Преображенская М.М., Ухалов А.Ю., Эдельсбруннер Х., Якимова О.П. Алгоритм картографической генерализации, сохраняющий топологию // *Фундаментальная и прикладная математика*. – 2013. – Т. 18, № 2. – с. 5 –12.
20. Самсонов Т. Е, Якимова О. П., Алексеев В. В., Богаевская В. Г., Горохов А. А., Князев В. Н., Преображенская М. М., Ухалов А. Ю., Эдельсбруннер Х. Алгоритм геометрического упрощения множества линий путем стягивания ребер графа с сохранением топологии // *Геодезия и картография*. – 2014.– № 3. – с. 29–36
21. Якимова О.П., Мурин Д.М., Горшков В.Г. Совместное упрощение пространственных объектов различного типа с сохранением топологических отношений // *Моделирование и анализ информационных систем*. – 2023.– Т.30, №4. — с.340–353
22. Garland M., Heckbert P. S. Surface simplification using quadric error metrics // *SIGGRAPH '97, Proc. 24th Ann. Conf. Comput. Graphics*. – 1997. – P. 209–216. DOI: 10.1145/258734.258849
23. Zhao Z., Saalfeld A. Linear-time sleeve-fitting polyline // In *Autocarto 13, ACSM/ASPRS'97 technical papers*, Seattle, Washington.– 1997. – P. 214–223.
24. Dubuisson M. P., Jain A. A modified hausdorff distance for object matching// *Proceedings of 12th international conference on pattern recognition*. IEEE Comput. Soc. Press. –1994. –Vol. 1, pp. 566–568.
25. Liu H., Fan Z., Zhen X., Deng M. An Improved Local Length Ratio Method for Curve Simplification and Its Evaluation // *Geogr. GeoInf. Sci.* –2011. – V. 27.– p. 45–48.
26. Плагин для совместного упрощения на основе стягивания ребер графа и минимизации ошибки // URL: <https://disk.yandex.ru/d/jeP5rZ9WGEwoYA>
27. Плагин для совместного упрощения слоев разной геометрии на основе квадродерева// URL: https://disk.yandex.ru/d/rvf8zu_k_otljA

© О. П. Якимова, П. А. Русских, А. Д. Волкова, 2026

С. А. Чигридов¹, Е. Н. Кулик¹✉

HARMONY: архитектура геоинформационного сервиса мониторинга качества воздуха

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Аннотация. В статье представлена архитектура геоинформационного веб-сервиса HARMONY, предназначенного для оперативного мониторинга качества атмосферного воздуха и микроклимата в городской среде на примере Ленинского района г. Новосибирска. Сервис объединяет данные стационарных базовых станций (БС), размещение которых планируется на объектах муниципальной инфраструктуры с учётом локальных климатических зон (LCZ), и мобильных станций (МС), устанавливаемых на общественном транспорте. Описан принцип полного цикла обработки данных: от сбора с датчиков, передачи через Wi-Fi в облачное хранилище (на этапе прототипа – Google Sheets), фильтрации и агрегации, построения локального поля ветра (с учётом рельефа и застройки), моделирования полей загрязнения, сохранения результатов в базу данных и их визуализации в веб-интерфейсе. Приведены фотографии прототипов станций, скриншоты веб-интерфейса и схема архитектуры.

Ключевые слова: веб-ГИС, архитектура геосервиса, локальные климатические зоны (LCZ), мобильный мониторинг, поле ветра, интерполяция, TimescaleDB, PostGIS

S. A. Chigridov¹, E. N. Kulik¹✉

HARMONY: Architecture of a Geographic Information Service for Air Quality Monitoring

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Abstract. The article presents the architecture of the HARMONY: geoinformation web service, designed for operational monitoring of air quality and microclimate in an urban environment using the example of the Leninsky district of Novosibirsk. The service combines data from stationary base stations (BS), which are planned to be located at municipal infrastructure facilities in accordance with Local Climatic Zones (LCZ), and mobile stations (MS) installed on public transport vehicles. The principle of a full data processing cycle is described: from sensors' collection, transmission via Wi-Fi to cloud storage (at the prototype stage – Google Sheets), filtering and aggregation, building a local wind field (taking into account terrain and buildings), modeling pollution fields, saving the results to a database and visualizing them on the web-interface. Photos of station prototypes, screenshots of the web interface, and an architecture diagram are provided.

Keywords: web-GIS, geoservice architecture, Local Climate Zones (LCZ), mobile monitoring, wind field, interpolation, TimescaleDB, PostGIS

Введение

Современные города нуждаются в детальных пространственных данных о качестве воздуха и микроклимате на уровне кварталов и улиц. Спутниковые си-

стемы (MODIS, Landsat, Sentinel-5P) не получают характеристики–непосредственно приземного слоя воздуха на высоте 1–3 м. Наземные посты наблюдений редки и не отражают пространственной неоднородности загрязнения. В статье представлена архитектура геоинформационного сервиса HARMONY, проектируемого для заполнения этого пробела (рис. 1). Исследование выполнено на территории Ленинского района г. Новосибирска – крупного промышленного района со сложной структурой застройки.

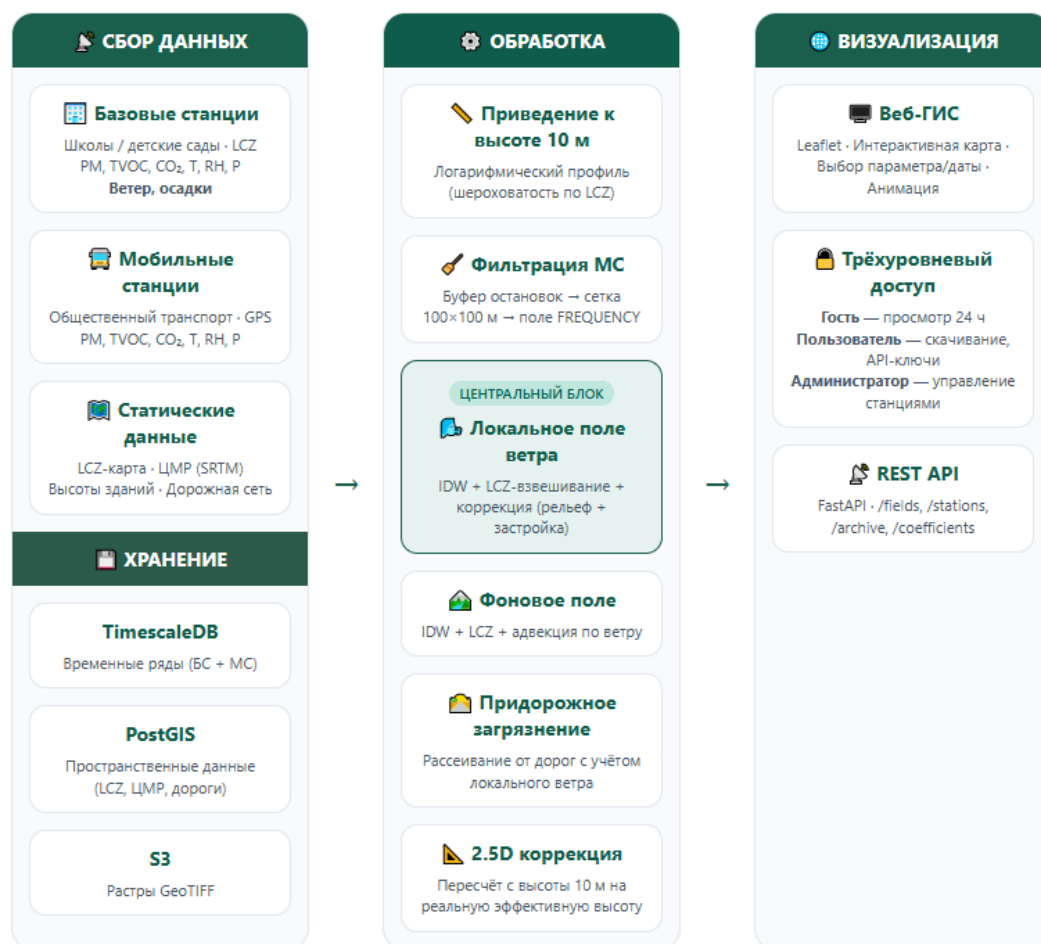


Рис. 1. Архитектура геоинформационного сервиса HARMONY

Материалы и методы

В основе сервиса лежат два типа источников. Базовые станции (БС) предполагается разместить на муниципальных объектах (школы, детские сады) согласно LCZ-карте (рис. 2) [1-3]. Они будут измерять фоновые значения температуры, влажности, давления, PM, TVOC, CO₂-экв., а также скорость и направление ветра, уровень осадков. Мобильные станции (МС) устанавливаются на общественном транспорте и измеряют те же параметры (кроме ветра), фиксируя GPS-координаты пункта измерений. На текущий момент разработаны и испытаны прототипы БС и МС (рис. 3, 4). Проведён тестовый сбор данных с МС (автомобильный трек по Ленинскому району). Статические данные включают LCZ-карту (построенную с использованием сервиса LCZ-Generator), цифровую мо-

дель рельефа (SRTM) и аппроксимированные высоты зданий по LCZ-классам. В перспективе планируется подключение спутниковых данных Sentinel-5P (TROPOMI) для оценки фоновых концентраций и определения режимов образования приземного озона по методологии Крупновой и др. [4].

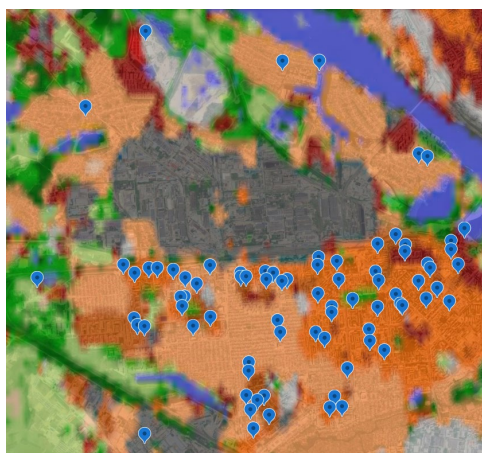


Рис. 2. Пространственное распределение зданий муниципальных объектов

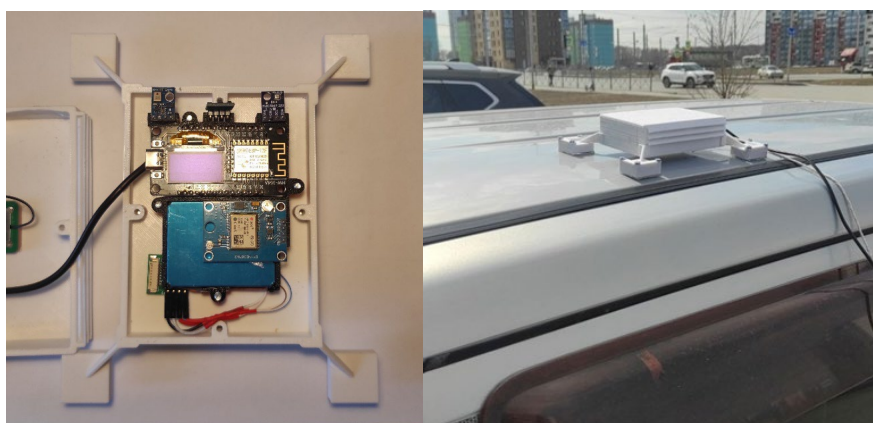


Рис. 3. Прототип мобильной станции



Рис. 4. Прототип базовой станции

На этапе прототипа данные с БС и МС через Wi-Fi отправляются в облачное хранилище Google Sheets (HTTP POST, JSON). Это позволяет оперативно отслеживать работу станций и накапливать первичные данные для отработки алгоритмов. В рабочей версии сервиса предусмотрена прямая отправка данных на сервер с записью в геоинформационную базу данных, организованную на базе TimescaleDB (временные ряды измерений с возможностью архивации) и PostGIS (статические пространственные данные: LCZ-карта, ЦМР, координаты станций, дорожная сеть).

Сырые данные с мобильных станций содержат артефакты, связанные с зонами остановочных пунктов общественного транспорта (автобус выходит из транспортного потока, датчики фиксируют собственные выхлопы). Разработан алгоритм фильтрации: удаление измерений в точках, расположенных в буферной зоне остановочных пунктов, агрегация по регулярной сетке 100×100 м, усреднение параметров внутри каждой ячейки и добавление поля FREQUENCY (количество записей измерений в ячейке сетки). Алгоритм подробно описан в отдельной работе авторов [5].

Построение карт направления и скорости ветра по измерениям с БС является центральным блоком обработки, поскольку поле ветра служит единой основой для моделирования концентраций примесей, температуры и влажности. Векторы ветра со всех БС раскладываются на зональную (u) и меридиональную (v) компоненты, после чего каждая компонента интерполируется на сетку 100×100 м методом обратных взвешенных расстояний (IDW) с LCZ-взвешиванием: вес i -й БС увеличивается, если её LCZ-класс совпадает с LCZ-классом расчётной ячейки, и уменьшается в противном случае. Значения корректируются с учётом рельефа (экспозиция склонов по данным SRTM) и высотности застройки.

На основе построенного поля ветра и агрегированных данных МС и БС формируются карты распределения концентраций загрязняющих веществ. При этом учитываются: локальная скорость и направление ветра, извлекаемые из расчетов регулярной сетки; тип застройки (LCZ), влияющий на параметры рассеивания; цифровая модель рельефа (SRTM), корректирующая направление и скорость ветра с учётом орографии.

Способ объединения данных от БС и МС в единую карту концентраций находится на стадии экспериментальной верификации. На этапе проектирования анализировались прогностические модели CALINE3 [6], R-LINE [7] и AERMOD [8], однако их применение требует знания мощности выброса ($\text{г/с} \cdot \text{м}$), а не измеренной концентрации (мкг/м^3), что меняет подход к интерпретации и анализу данных [9]. В представленной архитектуре предусмотрена возможность подключения любого из рассмотренных вычислительных модулей без рефакторинга смежных компонентов.

Построенные растры полей концентраций загрязнителей и метеопараметров сохраняются в S3-совместимом объектном хранилище, их метаданные — в PostGIS [10, 11]. Веб-карта реализована на библиотеке Leaflet с возможностью выбора визуализируемого параметра, даты и времени, а также анимации суточ-

ного хода [12]. Предлагается трёхуровневая модель доступа: гость (просмотр анимированных карт за последние сутки наблюдений), зарегистрированный пользователь (скачивание CSV/GeoTIFF, API-ключи, настройка оповещений), администратор (управление станциями, контроль работы сервиса) (рис. 5-8) [13].

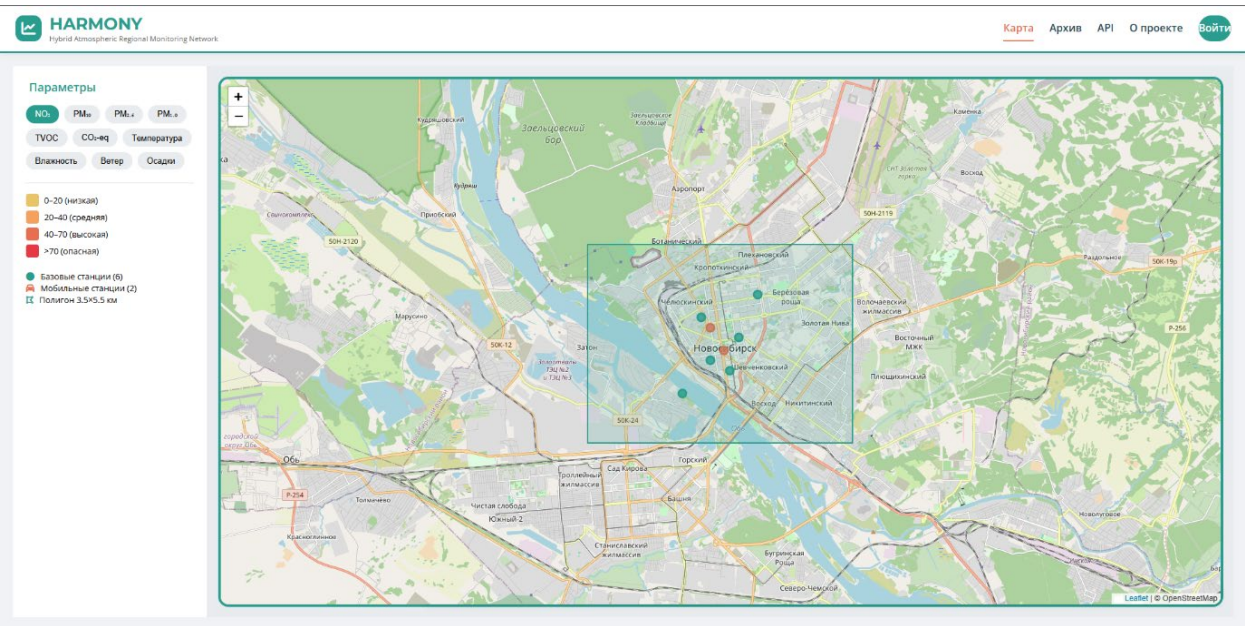


Рис. 5. Главная страница веб-сервиса (макет)

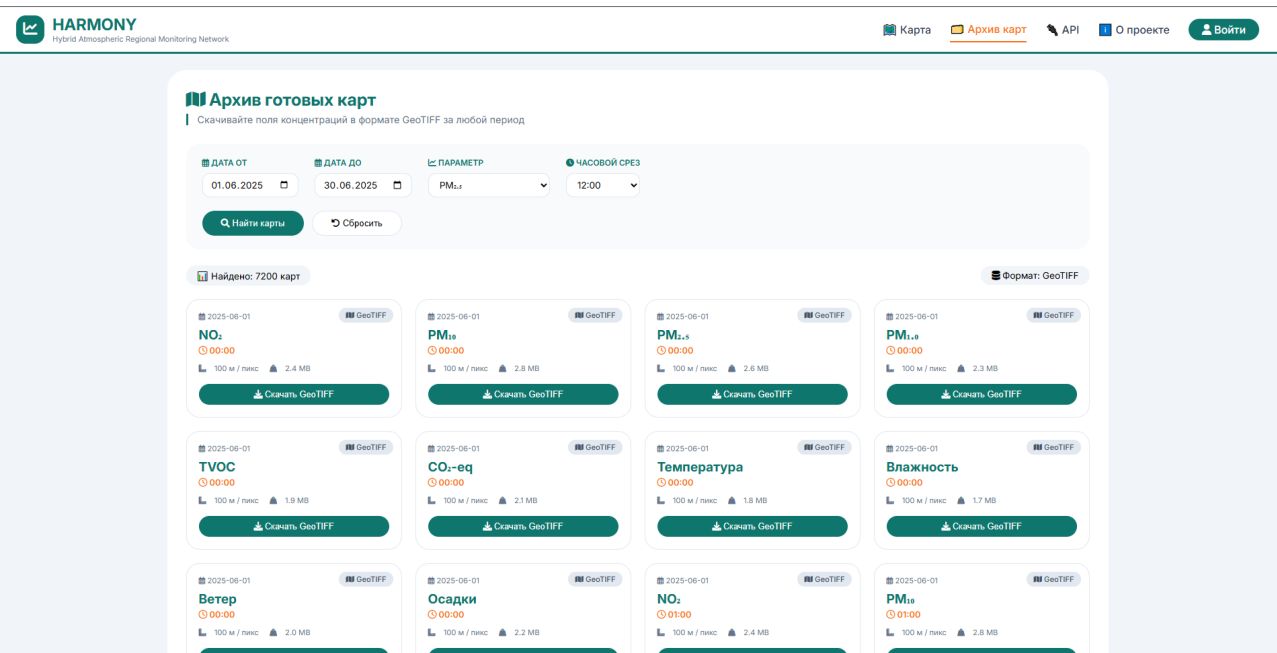


Рис. 6. Архивная страница (макет)

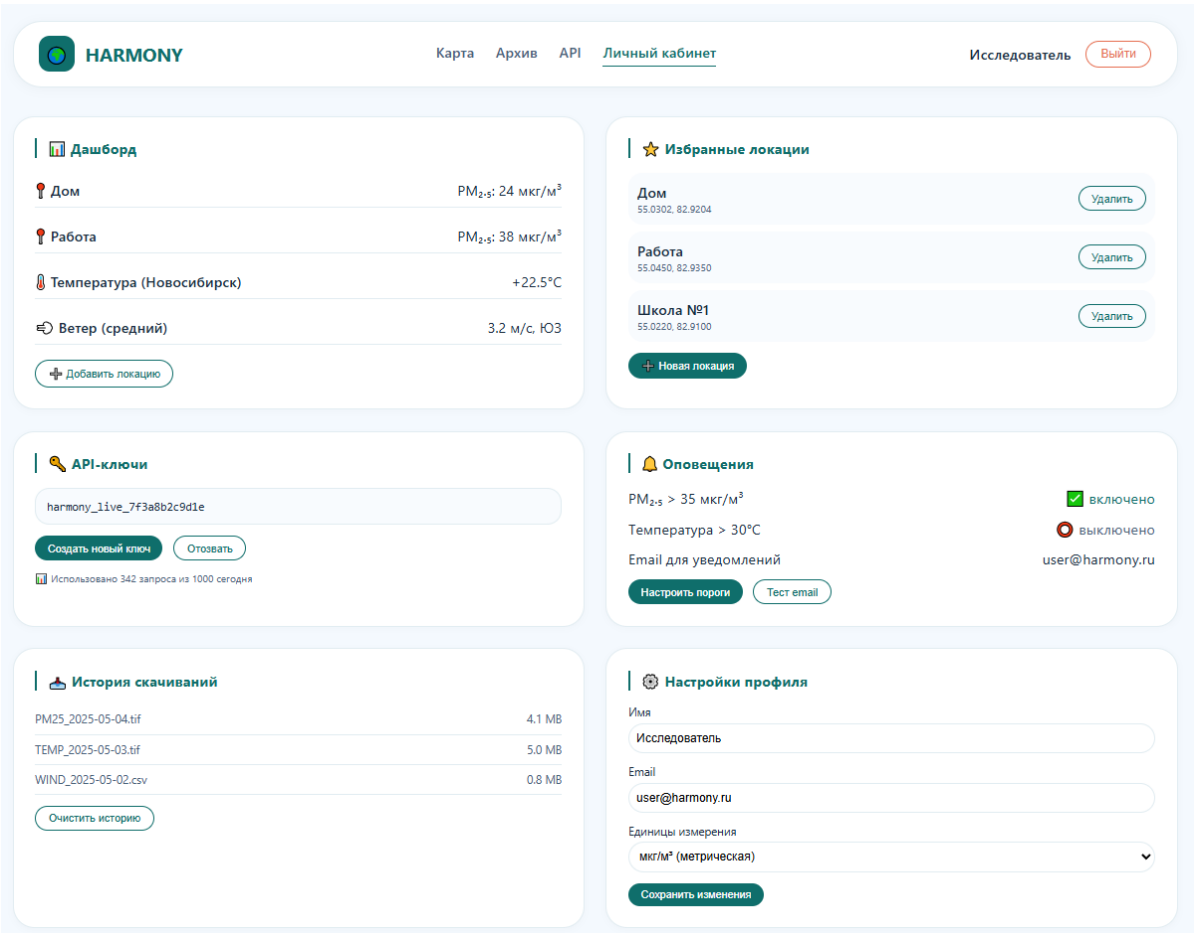


Рис. 7. Личный кабинет пользователя

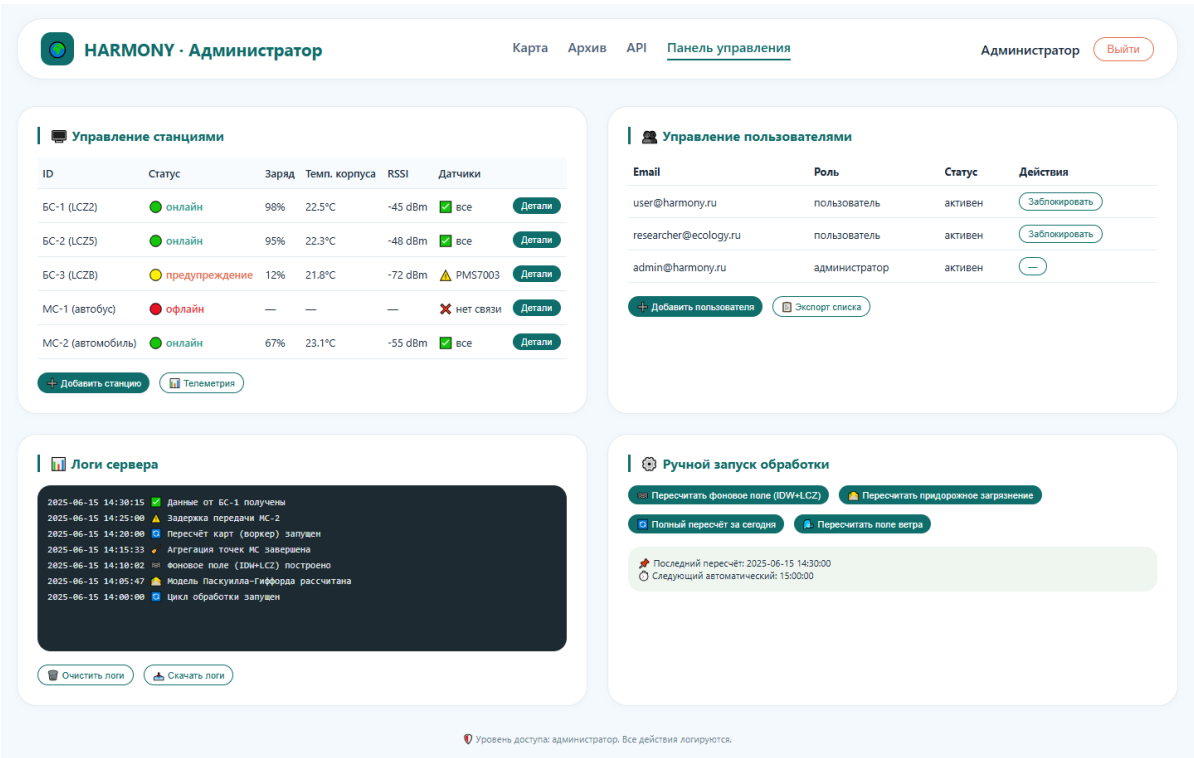


Рис. 8. Кабинет администратора

Результаты и обсуждение

Разработана архитектура геоинформационного сервиса HARMONY, охватывающая полный цикл обработки данных: сбор с датчиков БС и МС, передача (Google Sheets в прототипе, прямая отправка на сервер в промышленной версии), фильтрация и агрегация данных МС, построение локального поля ветра на основе данных БС с учётом рельефа и застройки (LCZ), моделирование полей загрязнения с учётом ветра, застройки и рельефа, хранение растров в S3 и метаданных в PostGIS, визуализация в веб-интерфейсе на Leaflet. Определены технологии хранения (TimescaleDB для временных рядов, PostGIS для пространственных данных), предложена трёхуровневая модель доступа (гость, пользователь, администратор), разработаны макеты веб-интерфейса (главная страница, архив, личный кабинет, админ-панель). Достоверность предложенного подхода (включая построение локального поля ветра и основанные на нём карты загрязнения, температуры и влажности) будет проверена после развёртывания полной сети станций и накопления достаточного объёма натурных данных.

Заключение

В работе представлена архитектура геоинформационного сервиса HARMONY, охватывающая полный цикл обработки данных. Ключевые результаты: определена структура источников данных (БС, МС, статические данные); описаны принципы конвейера обработки (фильтрация, агрегация, расчеты поля ветра, создание и визуализация карт загрязнения); выбраны технологии хранения (TimescaleDB, PostGIS, S3); создан макет веб-интерфейса с трёхуровневой моделью доступа. Дальнейшие исследования будут направлены на выбор оптимального метода объединения данных базовых и мобильных станций для построения итоговых интегральных и/или динамических карт загрязнения, а также на накопление натурных данных для верификации алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чигридов С. А., Кулик Е. Н. Использование принципов локальных климатических зон мегаполиса для оптимизации сети мониторинга атмосферного воздуха // Вестник СГУГиТ. – 2026. (в печати).
2. Stewart I.D., Oke T.R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies // Bulletin of the American Meteorological Society. 2012. Vol. 93. No. 12. P. 1879–1900.
3. Demuzere M., Kittner J., Bechtel B. LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps // Frontiers in Environmental Science. 2021. Vol. 9. 637455.
4. Крупнова Т.Г., Ракова О.В., Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Тихонова С.А., Выходцева Е.А., Кочегоров В.М. Обнаружение возможности оценки режимов образования приземного озона на основе данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 5. С. 385–397.
5. Чигридов С.А., Кулик Е.Н. HARMONY: мобильная станция экологического мониторинга на базе общественного транспорта // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXII Международный научный конгресс 20–21 мая 2026 г., Новосибирск: сборник материалов: Круглый стол «Исследования и мониторинг природных ресурсов и состояния окружающей среды» (в печати).

6. Benson P.E. CALINE3 — A Versatile Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Levels Near Highways and Arterial Streets. California Department of Transportation, 1989.
7. Snyder M.G., Heist D.K., et al. R-LINE: A Line Source Dispersion Model for Near-Surface Releases. US EPA, 2013.
8. Cimorelli A.J., Perry S.G., et al. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. US EPA, 2005.
9. Turner D.B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling. CRC Press, 1994.
10. PostGIS documentation [Электронный ресурс] // PostGIS. – URL: <https://postgis.net/> (дата обращения: 18.05.2026).
11. TimescaleDB documentation [Электронный ресурс] // Timescale. – URL: <https://docs.timescale.com/> (дата обращения: 18.05.2026).
12. Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps [Электронный ресурс] // Leaflet. – URL: <https://leafletjs.com/> (дата обращения: 18.05.2026).
13. FastAPI documentation [Электронный ресурс] // FastAPI. – URL: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата обращения: 18.05.2026).

© С. А. Чигридов, Е. Н. Кулик, 2026

С. С. Янкелевич¹, А. А. Кутиминский^{1,2}✉

Применение геопространственного анализа для оптимизации границ участков пассажирских обустройств на полигоне Западно-Сибирской железной дороги

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

² Западно-Сибирская дирекция пассажирских обустройств – структурное подразделение
Центральной дирекции пассажирских обустройств – филиал ОАО «РЖД»,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: KutiminskyAlexandr@yandex.ru

Аннотация. Применение геоинформационных систем позволяет решать широкий спектр прикладных задач субъектов экономики. Востребованным, анализ геоданных остается в транспортно-перевозочной отрасли, характеризующейся большой протяженностью инфраструктуры. Для пассажирского комплекса Западно-Сибирской железной дороги в число решаемых с использованием геоданных задач входят как логистические и эксплуатационные, так и задачи управленческого характера. В статье рассмотрен опыт применения геопространственного анализа для оптимизации границ участков пассажирских обустройств на полигоне Западно-Сибирской железной дороги в целях оптимизации эксплуатационных затрат. По итогам проведенных расчетов выработаны предложения по корректировке границ участков пассажирских обустройств, включающие перераспределение объектов между группами, создание подбаз, ввод дополнительных пунктов обслуживания и укрупнение/деление участков. Реализация указанных мероприятий позволит обеспечить безопасность перевозочного процесса за счет оптимизации времени реагирования бригад при возникновении аварийной ситуации. Запланировано выполнение расчета экономической обоснованности применения разработанной модели реформирования и оптимизации участков пассажирских обустройств с учетом изменения годового объема совокупных эксплуатационных затрат и достигнутого экономического эффекта.

Ключевые слова: геоинформационные системы, геоаналитика, пассажирские обустройства, железнодорожная инфраструктура

S. S. Yankelevich¹, A. A. Kutiminskiy^{1,2}✉

Application of geospatial analysis to optimize the boundaries of passenger facilities at the West Siberian Railway landfill

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
West Siberian directorate of passenger facilities – a structural division of the Central directorate of passenger facilities - a branch of JSCo «RZD»
e-mail: KutiminskyAlexandr@yandex.ru

Annotation. The use of geoinformation systems allows solving a wide range of applied tasks of economic entities. Geodata analysis remains in demand in the transportation industry, which is characterized by a large amount of infrastructure. For the passenger complex of the West Siberian Railway, the tasks solved using geodata include both logistical and operational, as well as management tasks. The article discusses the experience of using geospatial analysis to optimize the boundaries of passenger facilities at the West Siberian Railway landfill in order to optimize operating

costs. Based on the calculations, proposals were developed for adjusting the boundaries of passenger facilities sections, including the redistribution of facilities between groups, the creation of sub-bases, the introduction of additional service points, and the consolidation/division of sections. Implementation of these measures will ensure the safety of the transportation process by optimizing crew response times in the event of an emergency. A feasibility study is planned for the application of the developed model for the reorganization and optimization of passenger facilities sections, taking into account changes in annual total operating costs and the achieved economic benefits.

Keywords: geoinformation systems, geoanalytics, passenger facilities, railway infrastructure

Принятые сокращения и аббревиатуры

Пассажи́рские обу́стройства – комплекс сооружений и устройств, обеспечивающих реализацию технологии перевозочного процесса и сервисного обслуживания пассажира (пассажи́рские платформы, навесы, павильоны, билетные кассы, пассажи́рские здания вокза́льных комплексов, пеше́ходные мосты и тоннели, ограждения, малые архитектурные формы, статическая и динамическая визуальная информация).

ГИС – геоинформационная система;

ОАО «РЖД» - открытое акционерное общество «Российские железные дороги»;

ЦДПО – центральная дирекция пассажирских обу́стройств – филиал ОАО «РЖД».

Введение

Геопространственный анализ представляет собой сложный процесс исследования объектов и явлений с учетом их пространственных и атрибутивных характеристик, и включает широкий спектр методов, от базовых операций измерения до сложного моделирования. Геопространственный анализ позволяет решать такие задачи как визуализация данных, пространственное моделирование, оптимальное размещение объектов, анализ взаимосвязей, мониторинг изменений и получение информации, необходимой для принятия решений. Следует отметить, что в настоящее время сдвиг фокуса идет в пользу использования геопространственных знаний по причине того, что традиционные методы геопространственного анализа уже не справляются с растущим объемом пространственных данных и растущей сложностью возникающих производственных задач.

Отображение геопространственных знаний на сегодняшний день является перспективной областью исследований. Геопространственные знания, отображаемые на карте, о той или иной предметной области представляют собой совокупность сведений об объектах этой предметной области, их свойствах и связывающих их отношениях, процессах, протекающих в данной предметной области, а также методах анализа возникающих ситуаций и способах разрешения тех или иных проблем данной предметной области путем выработки пространственных решений. [1] Применение пространственных решений в настоящее время требуется во многих отраслях промышленности и транспорта.

Техническое обслуживание и ремонт объектов пригородной пассажирской инфраструктуры железнодорожного транспорта осуществляют участки пассажирских обустройств, входящие в состав региональных дирекций пассажирских обустройств. Каждый участок пассажирских обустройств имеет полигон обслуживания, с четко установленными границами. При формировании границ участков пассажирских обустройств в 2012 году, Западно-Сибирская дирекция пассажирских обустройств руководствовалась границами территориальных управлений Западно-Сибирской железной дороги. Производственные базы участков были размещены в 5 крупных населенных пунктах с ключевыми железнодорожными узлами: г. Омск, г. Новосибирск, г. Новокузнецк, г. Новоалтайск и г. Тайга.

Ввиду реализуемой в ОАО «РЖД» политики, направленной на повышение производительности труда и сокращения издержек, руководством компании в 2025 году принято решение о рационализации процессов управления и организации работ по эксплуатации объектов пассажирской инфраструктуры.

Перед Западно-Сибирской дирекцией пассажирских обустройств поставлена задача определить производственную необходимость изменения границ и структуры участков пассажирских обустройств, при превышении пороговых значений интегрального показателя нагрузки (агрегированного показателя, объединяющего длину участка пассажирских обустройств, плотность объектов и удельный пассажиропоток, нормированные на медианные значения по сети, для сравнительной оценки нагрузки) или нормативного времени реагирования бригад при чрезвычайных и аварийных ситуациях.

Решение этой и аналогичных задач наиболее рационально реализовывать через геоинформационные системы. Геоинформационные системы или (ГИС) представляют собой специализированный класс информационных систем, ключевой особенностью которых является способность манипулировать, анализировать и визуализировать географические данные [2].

Для решения задач пространственного анализа в ГИС используются такие функции, как интерполяция, наложение карт, создание буферных зон и измерение связности. Эти инструменты позволяют выполнять пространственный анализ территорий, что критически важно для принятия управленческих решений [3]. Построение ГИС требует комплексного подхода, включающего онтологическое моделирование для интеграции разнородных данных, четкое проектирование структуры базы данных и использование современных инструментов визуализации и пространственного анализа [4] [5].

Методы и материалы

Пересмотр границ участков пассажирских обустройств в пределах всей сети железных дорог Российской Федерации решено провести на основании единообразного подхода и по унифицированным формам Центральной дирекции пассажирских обустройств.

Перечень типов участков пассажирских обустройств, их характеристики, критерии и условия создания участков каждого типа определены организационно-распорядительными документами ОАО «РЖД», и разработаны на основа-

нии ГОСТ 33942-2016 «Межгосударственный стандарт. Услуги на железнодорожном транспорте. Обслуживание пассажиров. Термины и определения». Критерии предусматривают группировку объектов по территориальной близости и их последующий анализ по 19 ключевым параметрам.

В Западно-Сибирской дирекции пассажирских обустройств принято решение получить исходные данные, включающие в себя информацию обо всех объектах пригородной пассажирской инфраструктуры железнодорожного транспорта и дорожной сети в границах Западно-Сибирской железной дороги, с применением платформы QGIS, позволяющей сразу осуществлять работу с пространственными данными в части их хранения, обработки, анализа и визуализации.

На первом этапе определены границы зоны картографирования. Слои карты сформированы из базовых, общедоступных наборов данных. Дополнительным слоем добавлены объекты пассажирской инфраструктуры балансовой принадлежности Западно-Сибирской дирекции пассажирских обустройств.

Комплексный анализ пространственных данных позволил разделить их на несколько групп/категорий:

- протяжённость перегонов и направлений пригородного железнодорожного сообщения в километрах (анализ железнодорожной сети);
- транспортную доступность объектов каждого участка и время реагирования бригад при возникновении на них чрезвычайной или аварийной ситуации (анализ дорожной сети, в том числе по типу покрытия автомобильных дорог);
- плотность объектов пассажирской инфраструктуры на каждые 100 км (показатель пространственной насыщенности);
- удельный пассажиропоток - количество перевезенных пассажиров на 1 км участка обслуживания.

Полученные показатели были использованы для расчета интегрального показателя нагрузки каждого участка пассажирских обустройств. Расчёт показателя нагрузки участка W выполнен по формуле:

$$W = \omega_1 \cdot \frac{L}{L_m} + \omega_2 \cdot \frac{D}{D_m} + \omega_3 \cdot \frac{P}{P_m}$$

где:

L – протяжённость участка (км);

D – плотность объектов (объектов/100 км);

P – удельный пассажиропоток (пасс./км);

L_m – медианное значение длин участков пассажирских обустройств по всей сети;

D_m – медианная плотность объектов пассажирских обустройств по всей сети железных дорог (объектов/100 км);

P_m – медианный удельный пассажиропоток (пасс./км);

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – весовые коэффициенты, устанавливаемые ЦДПО исходя из приоритетов технологической нагрузки.

Важным условием работы на железнодорожном транспорте является обеспечение безопасности перевозочного процесса. Региональные участки пассажирских обустройств должны оперативно устранять создающие угрозу неисправности за счет направления оперативных бригад, перемещающихся на грузопассажирских легковых автомобилях. Опытным путем установлено, что время на дорогу от базы участка до места возникновения аварийной ситуации не должно превышать 4 часов, а внутренними нормативными документами компании установлены предельно допустимые скорости передвижения 40 км/ч для дорог без твердого покрытия и 60 км/ч для дорог с твердым покрытием.

Таким образом, на основании геопространственного анализа, было определено время проезда от баз участков пассажирских обустройств до каждого объекта, определены труднодоступные районы и потребность в формировании дополнительных пунктов обслуживания.

Результаты и обсуждение

По итогам геопространственного анализа показателей нагрузки определены районы сбалансированной нагрузки, районы с перегрузкой и высокой трудоемкостью, а также участки минимальной нагрузки с резервом ресурсов.

По итогам проведенных расчетов выработаны предложения по корректировке границ участков пассажирских обустройств, включающие перераспределение объектов между группами, создание подбаз, ввод дополнительных пунктов обслуживания и укрупнение/деление участков. Реализация указанных мероприятий позволит обеспечить безопасность перевозочного процесса за счет оптимизации времени реагирования бригад при возникновении аварийной ситуации. Запланировано выполнение расчета экономической обоснованности применения разработанной модели реформирования и оптимизации участков пассажирских обустройств с учетом изменения годового объема совокупных эксплуатационных затрат и достигнутого экономического эффекта.

Геопространственный анализ для выполнения расчетов показателей нагрузки и корректировки границ участков пассажирских обустройств позволяет определить исходные параметры с максимальной степенью достоверности и имеет существенные преимущества перед статистическими методами получения исходных данных (классические базы данных, табличные формы). Анализ дорожной сети позволяет выявлять труднодоступные участки и обоснованно формировать потребность в оборудовании подбаз и дополнительных пунктов обслуживания, что невозможно сделать с высокой долей достоверности чисто статистическими методами. Также более достоверным и обоснованным является расчет эффектов от оптимизации логистики мобильных бригад с использованием ГИС.

Заключение

Применение геопространственного анализа для оптимизации границ участков пассажирских обустройств позволяет большой достоверностью получить ис-

ходные данные для расчета и является более приоритетным решением в сравнении с традиционными статистическими методами.

Эффективное управление производственными процессами, требует объективной и детальной информации о размерах, расстояниях и состоянии объектов, что обуславливает необходимость создания прикладных геоинформационных систем [6].

Пространственное, наглядное представление данных позволяет комплексно подойти к решению производственных задач, выявляет аномалии и неточности в имеющихся статистических данных, что особенно актуально для транспортной отрасли ввиду значительной протяженности и численности объектов.

Геопространственная информация является максимально наглядной, что упрощает процедуру подготовки и защиты обосновывающих материалов в профильных организациях и комитетах. Использование специалистами предприятия единой ГИС, содержащей профильную информацию, позволяет обеспечить единообразное, унифицированное получение достоверных исходных данных для решения широкого комплекса смежных производственных задач, что оказывает положительное влияние как на производительность труда, так и на качество производственной деятельности в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Янкелевич С.С. Теоретико-методологические аспекты тематической картографии на основе геопространственных знаний // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66. № 4. С. 51–58. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-51-58
2. Надеждина, Н. Г. Географические информационные системы : учебно-методическое пособие / Н. Г. Надеждина. — 2-е изд. — Нижний Новгород : ННГАСУ, 2022. — 44 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/260003>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Аль, С.М. Геоинформационные технологии в градостроительной деятельности / С. М. Аль, s. M. Al // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2021. — № 6. — С. 52-62. — ISSN 2071-7318. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/340691>. — Режим доступа: для авториз. пользователей. DOI:10.34031/2071-7318-2021-6-6-52-62
4. Павлов, С.В. Онтологическая модель интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных в единую региональную базу данных / С.В. Павлов, О.А. Ефремова // Онтология проектирования. — 2017. — Т. 7, №3(25). — С.323-333. DOI:10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333
5. Youssef, A. Problem solving experience in data visualization using ArcGIS software / A. Youssef // Программные продукты и системы. — 2019. — № 1. — С. 146-149. — ISSN 2311-2735. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/310205>. — Режим доступа: для авториз. пользователей. DOI:10.15827/0236-235X.125.146-149
6. Разработка геоинформационного обеспечения для агроландшафтного проектирования на уровне сельскохозяйственного предприятия / С. В. Пашков, S. V. Pashkov, Г. З. Мажитова, G. Z. Mazhitova // Географический вестник. — 2022. — № 4 (63). — С. 167-179. — ISSN 2079-7877. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/339200>. — Режим доступа: для авториз. пользователей. DOI:10.17072/2079-7877-2022-4-167-179

© С. С. Янкелевич, А. А. Кутиминский, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

1. И. Е. Дорогова. Моделирование и учет косейсмических и постсейсмических движений земной коры для координатного обеспечения государства.....	3
2. И. Е. Дорогова, К. А. Демидов. Автоматизация сбора данных обработки онлайн-сервиса CSRS-PPP и построение трендов координат пунктов	10
3. В. Ф. Канушин, Д. Н. Голдобин, Н. Н. Кобелева. Учет приливного влияния на результаты геометрического нивелирования	17
4. В. А. Петручок. Исследование влияния серии землетрясений 2025 года на изменения координат дифференциальных геодезических станций на Камчатке	27
5. В. А. Петручок. Определение изменения скоростей движения земной коры на о. Сахалин после землетрясения 30.07.2025 по результатам ГНСС-наблюдений	33
6. Г. В. Сутурин. Автоматизированный выбор метода интерполяции пространственных данных на основе перекрестной проверки.....	39
7. А. И. Игонин. Создание каталога современных картографических продуктов и оценка пользовательских потребностей: от требований к сервисам	46
8. А. К. Капасов. Геоморфометрический анализ склонов лавиноопасных участков Восточно-Казахстанской области с помощью цифровых моделей	51
9. А. О. Лебзак, А. В. Жаров, С. М. Свиридов. Разработка интеллектуальной геоинформационной системы «AIGIS»	60
10. А. В. Андрющенко, Д. А. Гура. Применение нейросетевых моделей для повышения качества топографических данных, получаемых по материалам аэрофотосъемки	66
11. А. И. Павлова. Оценка агроклиматических ресурсов Новосибирской области	71
12. В. П. Ступин. Применение индексных изображений при дистанционном картографическом мониторинге нарушенности лесов Приангарья	75
13. Д. Н. Волегжанин, Я. Г. Пошивайло. Геоинформационное обеспечение изыскательской деятельности на базе Единой цифровой платформы «Национальная система пространственных данных».....	83
14. Д. А. Гура, Р. А. Дьяченко, Т. А. Тихонов. Сравнительный анализ методов CANUPO, 3DMASC и глубокого обучения для семантической сегментации облаков точек городской территории с учетом типа застройки....	89

15. Е. А. Бровко, А. Н. Одинокое. Методологические аспекты проектирования геоинформационного сервиса (на примере задачи организации командных спортивных мероприятий).....	95
16. Е. С. Утробина, А. А. Утробин, Т. Г. Козлитина. Картографический подход к изучению истории каллиграфии Китая.....	106
17. Е. А. Бровко. Совершенствование картографических, геоинформационных методов и технологий в процессе топографического мониторинга изменений местности в целях актуализации пространственных данных	117
18. Е. С. Утробина, С. В. Мамашева. Разработка оформления и содержания карты культурного наследия Республики Алтай.....	126
19. К. С. Дементьева, Л. А. Карпова. Создание интерактивной карты экологического состояния города Барнаула Алтайского края	135
20. М. И. Маркелов, С. А. Крылов. Значение картографии для обеспечения работ по геотехническому мониторингу.....	142
21. Н. Б. Кожухов. Методика создания интерактивной карты железных дорог России на основе открытых геопространственных данных.....	147
22. Н. Б. Хахулина, В. А. Костылев, А. И. Плукчи. Оценка эффективности гибридной технологии сбора геопространственных данных для получения трехмерных моделей помещений	154
23. О. П. Якимова, П. А. Русских, А. Д. Волкова. Сравнение алгоритмов совместного геометрического упрощения нескольких слоев пространственных данных	159
24. С. А. Чигридов, Е. Н. Кулик. HARMONY: архитектура геоинформационного сервиса мониторинга качества воздуха	168
25. С. С. Янкелевич, А. А. Кутиминский. Применение геопространственного анализа для оптимизации границ участков пассажирских обустройств на полигоне Западно-Сибирской железной дороги	176

CONTENTS

1. I. E. Dorogova. Modeling and accounting of co-seismic and post-seismic movements of the Earth's crust for the coordinate support of the state	3
2. I. E. Dorogova, K. A. Demidov. Automation of data collection from the CSRS-PPP online service and the construction of point coordinate trends.....	10
3. V. F. Kanushin, D. N. Goldobin, N. N. Kobeleva. Taking into account the tidal influence on the results of geometric leveling	17
4. V. A. Petruchok. Investigation of the impact of a series of earthquakes in 2025 on changes in the coordinates of the DGS in Kamchatka.....	27
5. V. A. Petruchok. Determination of the change in the velocities of the Earth's crust on Sakhalin Island after the earthquake of 30.07.2025 based on the results of GNSS observations.....	33
6. G. V. Suturen. Automated selection of spatial data interpolation method based on cross-validation	39
7. A. I. Igonin. Creation of a catalog of modern cartographic products and assessment of user needs: from requirements to services	46
8. A. K. Kapasov. Geomorphometric analysis of slopes of avalanche-prone areas of East Kazakhstan region using digital terrain models.....	51
9. A. O. Lebzak, A. V. Zharov, S. M. Sviridov. Development of the intelligent geographic information system «AIGIS»	60
10. A. V. Andryushchenko, D. A. Gura. Application of Neural Network Models to Improve the Quality of Topographic Data Obtained from Aerial Photography.....	66
11. A. I. Pavlova. Definition of the Characteristics of the Unmanned Aviation System when Carrying out Search and Rescue Operations in Wetted Areas	71
12. V. P. Stupin. Comprehensive analysis of index images in monitoring the taiga forests of the Angara region	75
13. D. N. Volegzhanin, Ya. G. Poshivaylo. Geoinformation provision for engineering surveys based on the Unified Digital Platform "National Spatial Data System"	83
14. D. A. Gura, R. A. Dyachenko, T. A. Tikhonov. Comparative analysis of CANUPO, 3DMASC and PointTransformer methods for semantic segmentation of urban point clouds considering building morphology	89
15. E. A. Brovko, A. N. Odinokov. Methodological aspects of designing a geoinformation service (using the example of the task of organizing team sports events)	96
16. E. S. Utrobina, A. A. Utrobin, T. G. Kozlitina. On the issue of developing an electronic map of semiotic chinese hieroglyphic names.....	106

17. E. A. Brovko. Improvement of cartographic and geoinformation methods and technologies in the process of topographic monitoring of terrain changes in order to update spatial data.....	117
18. E. S. Utrobina, S. V. Mamasheva. Development of the design and content of the cultural heritage map of the Altai Republic.....	126
19. K. S. Dementieva, L. A. Karpova. Creation of an interactive map of the ecological state of Barnaul, Altai Territory.....	135
20. M. I. Markelov, S. A. Krylov. The significance of cartography for supporting geotechnical monitoring works.....	142
21. N. B. Kozhukhov. A Method for Creating an Interactive Map of Russian Railways Based on Open Geospatial Data.....	147
22. N. B. Khakhulina, V. A. Kostylev, A. I. Plukchi. Efficiency Assessment of a Hybrid Geospatial Data Acquisition Technology for Building Digital Twins..	154
23. O. P. Yakimova, P. A. Russkix, A. D. Volkova. A comparative study of algorithms for the joint simplification of multiple spatial data layers	159
24. S. A. Chigridov, E. N. Kulik. HARMONY: Architecture of a Geographic Information Service for Air Quality Monitoring.....	168
25. S. S. Yankelevich, A. A. Kutiminskiy. Application of geospatial analysis to optimize the boundaries of passenger facilities at the West Siberian Railway landfill	176

Научное издание

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXII Международный научный конгресс

Сборник материалов в 9 т.

Т. 1

Международная научная конференция

**«ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ»**

№ 2

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *Я. А. Лесных*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 05.08.2026. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 10,81. Тираж 25 экз. Заказ 138.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Издательско-полиграфический центр СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 8.