



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

**ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
(ШКОЛА)**

Департамент математического и компьютерного моделирования

Название работы

**Разработка сервиса анализа местности по различным параметрам, в том
числе данным дистанционного зондирования Земли**

КУРСОВАЯ РАБОТА

по образовательной программе подготовки бакалавров
по направлению 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»
профиль «Математические и компьютерные технологии»

Работа защищена
с оценкой _____

Студент группы № Б9122-01.03.02мкт
_____ Вершинин Д.А..
(подпись)
«_____» _____ 2025г.

Регистрационный номер _____
«_____» _____ 2025г.

Руководитель к. т. н. Ужинский А.В.
(должность, ученое звание)

(подпись) (ФИО)
«_____» _____ 2025г.

г. Владивосток
2025

Содержание

Введение	5
Актуальность	5
Цель и задачи проекта	6
1 Определение перечня параметров	7
1.1 Выбор параметров	7
1.2 Приоритезация разработки	8
2 Поиск целевой аудитории	9
3 Поиск, верификация и предварительный анализ спутниковых данных	11
3.1 Поиск и отбор актуальных источников данных	11
3.2 Верификация достоверности и актуальности данных	11
3.3 Предварительный анализ данных	12
4 Проектирование архитектуры приложения	14
5 Разработка программного продукта	15
5.1 Фронтенд	15
5.2 Бэкенд	18
6 Дальнейшие планы	20
Заключение	22
Список использованных источников	23
А Главный интерфейс	25
Б Виджет получения высот	26
В Виджет получения NDVI-индекса	27
Г JSON-объект для работы с координатами	28
Д JSON тело запроса получения информации по точке	29
Е JSON тело ответа получения информации по точке	30

Аннотация

Данная работа посвящена созданию цифрового сервиса для пространственного анализа территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Сервис предлагает удобную платформу для визуализации и оценки ключевых характеристик выбранных регионов, ориентируясь на широкий круг пользователей. Минимально жизнеспособный продукт (MVP) включает интерактивную карту, визуализацию данных и анализ таких параметров, как высота, температура, облачность и NDVI. Проект реализуется поэтапно с планами по расширению функциональности, включая добавление новых параметров, аутентификацию пользователей и интеграцию машинного обучения для персонализированного подбора локаций.

Ключевые слова

Пространственный анализ, дистанционное зондирование, геопространственные данные, цифровой сервис, экологический мониторинг, климатический анализ, NDVI, Copernicus, NASA EarthData, ECMWF, Google Earth Engine, интерактивная карта, Vue.js, Flask, OpenLayers, цифровые кочевники, экологическая оценка, высота над уровнем моря, облачность, температура, растительность, уровень осадков, типы почв, водные ресурсы, инфраструктурные данные, машинное обучение, BigData, геологоразведка, фронтенд, бэкенд, API, Sentinel-2, NASADEM, ERA5, верификация данных, визуализация данных, пространственное покрытие, временной интервал, качество данных, пользовательский интерфейс, CoreUI, стандартизация запросов, маркетинговая кампания, аутентификация пользователей, кэширование, новостные агрегаторы, большие языковые модели, устойчивое развитие.

Введение

Актуальность

С древнейших времён человечество стремилось обосноваться в наиболее благоприятных регионах. Однако в силу большого разнообразия климатических зон, географических условий и изменчивости экологических показателей, задача выбора оптимального места остаётся сложной и многомерной. В современном мире этот выбор осложняется глобальными изменениями климата, урбанизацией, ростом загрязнения окружающей среды и увеличением мобильности населения, включая рост числа цифровых кочевников — удалённых работников, не привязанных к конкретной географической локации.

В наше время использование цифровых инструментов становится обыденностью. Подобный инструмент позволил бы агрегировать, визуализировать и анализировать разнородные геоданные для поддержки принятия решений.

Создание сервиса, наглядно отображающего ключевые характеристики выбранного региона, отвечает вызовам времени и может использоваться в широком спектре задач:

- Обычными пользователями — для подбора комфортных для жизни регионов с учётом климата, экологии и инфраструктуры;
- Цифровыми кочевниками — для сравнения условий в разных регионах мира по заданным критериям;
- Научными организациями — для изучения изменений климата;
- Экологическими фондами — для мониторинга загрязнений и охраны окружающей среды;
- Недропользователями и геологоразведочными компаниями — для оценки перспективности территорий с точки зрения наличия полезных ископаемых.

Таким образом, разработка такого сервиса является актуальной и востребованной задачей, лежащей на пересечении информационных технологий, географии, экологии.

Цель и задачи проекта

Целью данного проекта является разработка цифрового сервиса для анализа территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли и сопутствующих геопространственных источников. Сервис предназначен для наглядного представления и оценки ключевых характеристик выбранной местности с учётом климатических, экологических и геофизических параметров.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

- Определение перечня параметров анализа (климат, рельеф, загрязнения, водные ресурсы и др.) и установление приоритетности их реализации на раннем этапе разработки;
- Выделение сферы деятельности и группы людей для применения будущего сервиса.
- Поиск и верификация актуальных источников данных, включая открытые спутниковые платформы (например, Copernicus, NASA EarthData, USGS Earth Explorer);
- Предварительный анализ датасетов;
- Проектирование архитектуры программного решения, включая бэкенд, интерфейс пользователя и модуль интеграции с внешними API;
- Разработка минимально жизнеспособного продукта (MVP), демонстрирующий основные функции анализа и визуализации данных по выбранной территории.

1 Определение перечня параметров

1.1 Выбор параметров

Для спокойной жизни человеку нужны комфортные показатели окружающей среды[1]. Не должно быть слишком жарко или холодно, влажно или сухо и т.д.

На основании потребностей человека был определён список параметров, которые характеризуют местность:

- **Высота над уровнем моря** - базовый географический параметр. Использование информации об области для создания макета рельефа.

- **Облачность** - Один из климатических факторов, характеризующих комфортность среды. Показатель солнечных дней в году.

- **Температура** - Ключевой показатель комфортности среды.

- **Параметр растительности** - NDVI-индекс[2], характеризующий скорость роста и качество растений в области.

- **Уровень осадков** - Показатель влажности региона, отражающий водный баланс.

- **Типы почв** - Характеристика местности, показывающая возможность для сельскохозяйственной деятельности и строительства.

- **Водные ресурсы** - Показатель наличия на поверхности источников питьевой воды и гидрологических объектов.

- **Инфраструктурные данные** - Отражает транспортную доступность и общее удобство жизни.

Для реализации сервиса был выбран подход постепенной реализации анализа выбранных параметров. Были образованы три очереди разработки. Каждая из них характеризует определенный этап: начальный, включающий только основные показатели местности; базовый, включающий в себя реализацию анализа всех выбранных характеристик и использование методов машинного обучения для подбора мест по описанию пользователя.

1.2 Приоритезация разработки

Каждый этап включает ряд признаков и подходов для их анализа.

Начальный этап (первая очередь):

- Высота над уровнем моря;
- Облачность;
- Температура;
- NDVI-индекс

Базовый этап (вторая очередь):

- Уровень осадков;
- Типы почв;
- Водные ресурсы;
- Инфраструктурные данные

Этап использования методов машинного обучения и BigData (третья очередь):

- Анализ различных новостных агрегаторов на предмет важных событий: криминальная обстановка, экологические проблемы и прочие антропогенные факторы.

- Использование LLM для подбора места по описанию от пользователя

Такой подход способствует концентрации на разработке только определённых функций. Кроме того, это позволит провести тестирование идеи уже после завершения начального этапа.

Данная работа описывает только процесс разработки начального этапа.

2 Поиск целевой аудитории

Разрабатываемый сервис ориентирован на широкий спектр пользователей, заинтересованных в пространственно-временном анализе окружающей среды. Основные целевые группы включают:

- Людей, рассматривающих возможность смены места жительства;
- Туристов и цифровых кочевников;
- Экологов и аналитиков;
- Геологоразведчиков и специалистов по природопользованию.

Рассмотрим подробнее мотивацию и потребности каждой из этих групп.

Граждане, планирующие смену региона проживания

Эта категория пользователей ищет оптимальное место для жизни, учитывая индивидуальные предпочтения по климату, экологическим условиям и геоморфологии местности. Традиционно подобный выбор требует анализа разрозненных источников информации и не всегда сопровождается наличием объективных статистических данных. Предлагаемый сервис агрегирует климатические, экологические и пространственные показатели в единой интерактивной системе, позволяя сравнивать различные регионы по заданным критериям и формировать обоснованные решения.

Туристы и цифровые кочевники

Для этой группы важна возможность гибкой смены места пребывания с сохранением качества жизни и рабочих условий. Пользователи, стремящиеся покинуть перегруженные города в пользу более спокойных и благоприятных районов, могут использовать платформу для подбора оптимальных локаций. Сервис предоставляет данные по шумовому фону, климату, зелёным зонам и другим характеристикам, позволяющим найти комфортное место для проживания, работы и отдыха.

Экологи и пространственные аналитики

Платформа может служить инструментом для мониторинга и анализа экологических параметров, таких как динамика растительного покрова, уровни загрязнённости, сезонные колебания NDVI и прочее. При партнёрстве с научными и исследовательскими организациями возможно расширение функциональности под конкретные задачи. Пользователи могут направлять запросы на включение дополнительных индикаторов или источников данных, что делает систему адаптивной к различным исследовательским сценариям.

Геологоразведчики и специалисты по недропользованию

Для специалистов, занятых поиском полезных ископаемых и оценкой перспективности территорий, сервис может предложить инструменты дистанционного анализа на основе спутниковых снимков, цифровых моделей рельефа и исторических геологических данных. Возможность оперативного выявления аномалий, анализа минералогического состава поверхности и оценки изменений ландшафта открывает перспективы для более точного планирования полевых работ.

Таким образом, разрабатываемая платформа предназначена для широкой профессиональной и гражданской аудитории, предоставляя гибкие инструменты пространственного анализа для принятия решений на основе открытых спутниковых и экологических данных.

3 Поиск, верификация и предварительный анализ спутниковых данных

Основным источником спутниковых данных служит Google Earth Engine (GEE) [3]. Этот сервис представляет собой распределённую базу данных, в которой хранятся сведения, полученные в результате работы множества космических программ. Все данные доступны для общего пользования.

3.1 Поиск и отбор актуальных источников данных

Для проведения пространственно-временного анализа климатических и ландшафтных показателей (NDVI, облачность, температура, высота местности) были использованы актуальные и проверенные источники спутниковых данных:

— **Copernicus (ESA)** [4] — источник снимков Sentinel-2 с высоким пространственным разрешением (10 м) и частотой съёмки (до 5 дней). Используемые коллекции:

COPERNICUS/S2_SR — отражательная способность по спектральным каналам (в частности, B4 и B8 для расчёта NDVI);
COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_CLOUD — данные по облачности в режиме близком к реальному времени (переменная `cloud_fraction`).

— **NASA EarthData** [5] — глобальный источник цифровых моделей рельефа: NASA/NASADEM_HGT/001 — цифровая модель высот с разрешением ~ 30 м, на основе миссии SRTM.

— **ECMWF ERA5** [6] — глобальные климатические данные, использованы для анализа температуры: ECMWF/ERA5_LAND/HOURLY — почасовые значения температуры на высоте 2 м (`temperature_2m`), разрешение около 9 км.

3.2 Верификация достоверности и актуальности данных

Для обеспечения корректности анализа были выполнены следующие шаги верификации:

а) **Пространственное покрытие:** все используемые коллекции фильтруются по координатам исследуемых участков с помощью метода `filterBounds()`.

б) **Временной интервал:** фильтрация по дате осуществляется через `filterDate(start, end)`; используются интервалы по месяцам или сезонам.

в) **Качество данных:**

- Sentinel-2 фильтруется по показателю `CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE < 20%`;
- исключаются значения `None` и выбросы по температуре и NDVI.

г) **Техническая пригодность:** все источники проверены на совместимость с API Google Earth Engine — коллекции успешно загружаются, ошибок доступа не зафиксировано.

3.3 Предварительный анализ данных

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [2]

— Источник: `COPERNICUS/S2_SR`

— Формула:

$$\text{NDVI} = \frac{B8 - B4}{B8 + B4},$$

где $B8$ — ближний инфракрасный канал, $B4$ — красный канал. Расчёт в GEE осуществляется через функцию `normalizedDifference(['B8', 'B4'])`.

— Разрешение: 10 м

— Получение значений: среднее по точке через `reduceRegion(..., scale=10)`

Облачность

— Источник: `COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_CLOUD`

— Метрика: `cloud_fraction`

— Разрешение: 1000 м

— Среднее значение рассчитывается на каждый временной интервал для каждой координаты

Температура воздуха

- Источник: ECMWF/ERA5_LAND/HOURLY
- Переменная: `temperature_2m`
- Разрешение: 1000 м
- Применяется усреднение по времени и пространству для каждой точки

Цифровая модель рельефа (DEM)

- Источник: NASA/NASADEM_HGT/001
- Разрешение: ~ 30 м
- Методика: извлечение значений высот через `sampleRegions()` по геометрии исследуемых точек
- Масштаб автоматически регулируется (от 30 до 500 м) для оптимизации количества точек

Выбранные спутниковые источники Copernicus, NASA и ECMWF являются авторитетными и проверенными платформами, обеспечивающими доступ к достоверным пространственно-временным данным. Верификация по охвату, времени, качеству и совместимости подтвердили пригодность данных для целей проекта. Предварительный анализ NDVI, облачности, температуры и высот показал, что структура и формат полученных данных соответствуют задачам курсового исследования, а применённые методы обеспечивают надёжную основу для последующего машинного обучения и статистической обработки.

4 Проектирование архитектуры приложения

Для создания MVP системы достаточно создать SPA-приложение, которое вместит в себя весь необходимый функционал. Его архитектура имеет следующий вид:

— **Front-end** часть, отвечающая за отрисовку данных. Она должна включать: интерактивную карту, с возможностью построения точек и полигонов, хранилище построенных объектов, перечень функций для обработки и визуализации данных первой очереди, а также поиск по городам.

— **Back-end** часть отвечает за связь с распределенными базами данных, описанными в предыдущей главе и выступает, своего рода, прокси сервисом, который формирует запросы к специализированным системам.

Связь между частями реализована с помощью JSON API. Кроме того, расположение на единой хостовой машине, сводит задержку передачи данных до минимума (рис. 4.1).

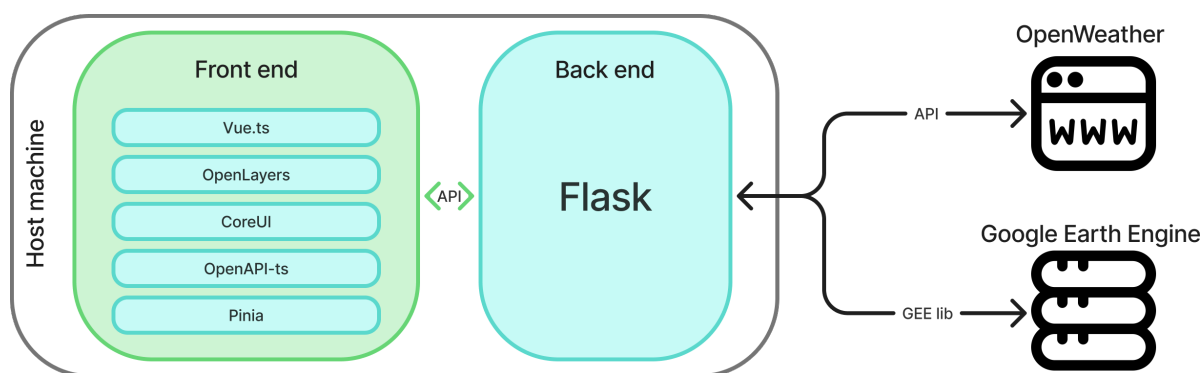


Рисунок 4.1 — Архитектура приложения.

5 Разработка программного продукта

В качестве фреймворков для реализации клиентской и серверной частей программного продукта были выбраны, соответственно, Vue.js[7] с использованием TypeScript и Flask [8]. Данный выбор обоснован высокой скоростью разработки, простотой поддержки и широким набором готовых библиотек, что обеспечивает эффективность при реализации и дальнейшем масштабировании проекта.

5.1 Фронтенд

Разработка пользовательского интерфейса (см. приложение А) была организована поэтапно:

- Инициализация и настройка карты, организация взаимодействия с пользователем;
- Формирование основных слоёв отображения и реализация функций обработки пространственных данных;
- Стандартизация и реализация API-запросов к серверной части;
- Визуализация полученных данных и аналитических результатов.

Карта

В качестве основной библиотеки для отображения и взаимодействия с картографическими данными была выбрана OpenLayers [9], предоставляющая широкие возможности работы с картами различных проекций. В рамках проекта использовалась проекция EPSG:3857 — прямоугольная система координат, основанная на проекции Меркатора [10], построенной по системе параметров WGS84[11], которая является одной из наиболее распространённых в современных ГИС-системах. Данная проекция обеспечивает сохранение формы объектов при отображении сферической поверхности на плоскости, что, однако, требует преобразования координат из географической (широта и долгота) в проекционную систему. Для решения этой задачи была реализована обёртка над встроенными

средствами библиотеки по преобразованию координат, обеспечивающая автоматическую конвертацию при необходимости.

Основные слои и функции

Для построения пользовательского интерфейса применяется библиотека CoreUI[12], предоставляющая обширный набор компонентов и шаблонов.

Для взаимодействия с картой реализован специализированный виджет рисования, позволяющий пользователю в интерактивном режиме создавать объекты типа «точка» или «полигон». По завершении рисования формируется объект, содержащий координаты и сведения о проекции. В целях дальнейшей обработки были реализованы два класса: **Точка** и **Полигон**, каждый из которых содержит числовой идентификатор, координаты, текущую проекцию и пользовательское наименование объекта — что особенно важно при наличии большого количества однотипных элементов.

Для хранения и управления объектами используется централизованное хранилище (store), подключаемое с использованием библиотеки pinia [13]. Несмотря на наличие базовой реализации, для корректной работы были разработаны пользовательские методы: получение всех объектов определённого класса, фильтрация по идентификатору, добавление новых элементов и их удаление.

Для визуализации сохранённых данных используется отдельный компонент — *панель хранения*, включающая в себя разворачивающиеся панели по типам объектов. Внутри отображаются списки с названиями элементов и кнопками для отображения соответствующих координат.

Дополнительно реализован *виджет поиска по городам*, представляющий собой текстовое поле с кнопкой запуска запроса. При успешной обработке запроса карта автоматически перемещается к заданным координатам, причём скорость анимации регулируется программно.

Также создан *функциональный виджет*, включающий набор кнопок, активирующих интерфейс соответствующего аналитического

модуля. В текущей версии доступны четыре функции анализа: высота, NDVI, облачность и температура.

Виджет высот реализован в виде выбора точек на карте (см. приложение Б.1). При клике отображаются координаты, а для получения значения высоты нужно дополнительно нажать соответствующую кнопку. Результат запроса отображается в выделенном поле. (В настоящий момент разработан функционал моделирования поверхности по полигону, однако его интеграция пока не завершена.)

Виджеты для других метрик построены по аналогичному принципу (см. приложение В.1). Каждый представляет собой окно, разделённое на две части: область отображения графиков и блок настройки параметров. Пользователь может выбрать несколько точек и временных интервалов. Кроме того, доступен выбор типа графика для отображения данных. Реализован модуль детального анализа, включающий расчёт амплитуды, минимальных и максимальных значений, стандартного отклонения и среднего значения. Основное отличие между виджетами заключается в типе обрабатываемых данных.

Формирование запросов

Каждый функциональный модуль фронтенда требует получения данных из внешних источников, будь то координаты населённого пункта по его названию или температурные данные по определённому региону за лето 2023 года, с разбивкой периода на 20 равных интервалов. Для обеспечения унифицированного взаимодействия с бэкендом была реализована система стандартизации API-запросов.

Основным инструментом генерации запросов выступает утилита `openapi-ts` [14], автоматически формирующая интерфейсы на основе спецификаций, описанных в `yaml`-файле. Также был разработан специализированный хэндлер, обеспечивающий обработку ответов и приведение данных к формату, указанному в спецификации.

Все запросы отправляются на эндпоинты, соответствующие определённой функциональности. Базовый адрес — `host:port/api`.

— Запрос координат города формируется через query-параметр (название города) и ожидает в ответе координаты: широту и долготу (см. приложение Г).

— Запрос высоты (точечный) формируется в виде тела запроса, содержащего JSON-объект (см. приложение Г). Ожидаемый ответ — числовое значение высоты в формате: `"elevation": 279`.

— Запрос температуры содержит поля, отвечающие за временной интервал, количество интервалов и координаты (см. приложение Д); ожидаемый ответ — списки значений температуры и дат одинаковой длины (см. приложение Е).

— Запросы по облачности и NDVI строятся по аналогичной схеме.

Визуализация

Для отображения множественных точечных данных применяется функционал библиотеки CoreUI, обеспечивающий построение интерактивных графиков с возможностью отключения отдельных серий данных.

Дополнительно реализована система визуализации, основанная на обработке данных, полученных по полигонам. В настоящее время данная система находится на стадии тестовой интеграции.

5.2 Бэкенд

Как отмечалось ранее, серверная часть приложения реализована с использованием фреймворка Flask и выполняет функции прокси-сервера. Основная задача заключается в получении запросов от клиентской части, их обработке и взаимодействии с библиотекой GEE[15].

Для полноценной работы с GEE потребовалась предварительная настройка API в облачной консоли, создание пользователя с соответствующими учётными данными, используемыми для авторизации при обращении к сервису.

Исключением является модуль поиска по городам, где используется внешний API — OpenWeatherMap. По названию города отправляется запрос на сторонний сервер, результатом которого являются координаты населённого пункта. Доступ к API осуществляется по пользовательскому ключу, полученному при регистрации, а фронтенду передаются только координаты.

Для обработки данных дистанционного зондирования с использованием библиотеки `ee` создаются объекты соответствующего типа (точка или полигон). После этого выбирается нужный датасет, и производится фильтрация данных по пространственным и временным параметрам. Затем формируется запрос к серверам GEE, и полученные данные преобразуются в формат, пригодный для отправки клиенту. На этом этапе задача бэкенда завершается.

Промежуточный вывод

Таким образом, разработанная система предоставляет пользователю интуитивно понятный и наглядный доступ к ключевым параметрам выбранного региона. Возможность работы как с произвольными точками, так и с полигонами существенно повышает точность и репрезентативность получаемой информации.

6 Дальнейшие планы

На следующем этапе развития программного продукта планируется поэтапная доработка функциональности и расширение аналитических возможностей сервиса.

В первую очередь будет реализована поддержка параметров второй очереди, таких как количество осадков, типы почв, наличие и распределение водных и инфраструктурных ресурсов. Расширение спектра анализируемых показателей позволит повысить полноту оценки территорий и расширить спектр прикладных сценариев использования платформы.

Параллельно будет осуществлена разработка личного кабинета пользователя и панели администратора. Внедрение механизмов аутентификации и индивидуального хранения пользовательских данных обеспечит персонализированный подход к взаимодействию с системой и повысит общий уровень удобства (UX). Дополнительно, реализация внешнего хранилища и использование механизмов кэширования призваны снизить задержки при повторной обработке запросов, что критически важно для обеспечения высокой производительности веб-приложения.

Следующим направлением станет запуск маркетинговой кампании, направленной на привлечение пользователей из ключевых целевых групп. Запланированы мероприятия по сбору и анализу пользовательской обратной связи с целью последующей адаптации интерфейсов и функциональности к реальным потребностям аудитории.

В более долгосрочной перспективе планируется интеграция механизмов анализа новостных источников (агрегаторов) с целью автоматического выявления значимых событий, таких как криминогенные инциденты, экологические угрозы и другие антропогенные риски. Также рассматривается возможность внедрения инструментов на базе больших языковых моделей для реализации интеллектуального поиска и подбора территорий на основании текстового описания, предоставленного пользователем. Это позволит

осуществлять более гибкий и человекоцентричный подход к анализу и интерпретации пространственной информации.

Заключение

На основании поставленной цели и сформулированных задач можно сделать вывод о комплексном и системном подходе к разработке цифрового сервиса для пространственного анализа территорий на основе данных дистанционного зондирования. Проект охватывает ключевые этапы — от концептуального планирования и выбора приоритетных характеристик анализа до проектирования архитектуры программного решения и разработки его минимально жизнеспособной версии. Такой подход позволяет не только обеспечить функциональную полноту и масштабируемость создаваемой системы, но и на ранних этапах ориентироваться на потребности конечных пользователей, включая специалистов в области экологии, градостроительства, сельского хозяйства и управления рисками.

Разработка сервиса с возможностью визуализации пространственных данных, полученных из надёжных открытых источников (таких, как Copernicus или NASA EarthData), обеспечивает высокую достоверность анализа и потенциал для дальнейшего расширения функциональности. Реализация данного проекта создаёт прочную основу для формирования цифрового инструмента, способного повысить эффективность принятия решений в задачах оценки состояния окружающей среды, мониторинга изменений и планирования устойчивого развития территорий.

Список использованных источников

1. Миннибаев, Талгат Шайдуллинович. Методические подходы к оценке влияния среды обитания на здоровье населения в районах с разным уровнем экологического благополучия / Талгат Шайдуллинович Миннибаев, В. Т. Мазаев // *ЗНУСО*. — 2012. — № 7. — С. 12–15.
2. Черепанов, А. С. Вегетационные индексы / А. С. Черепанов // *Геоматика*. — 2011. — № 2. — С. 98–102.
3. Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine: Fundamentals and Applications / J. A. Cardille, M. A. Crowley, D. Saah, N. E. Clinton. — Springer, 2024.
4. Copernicus: The European Union Earth Observation Programme. — 2025. URL: <https://www.copernicus.eu/en>, Дата обращения: 2025-05-15.
5. NASA Earthdata: Access to Earth Science Data. — 2025. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/>, Дата обращения: 2025-05-15.
6. ECMWF Reanalysis V5. — 2025. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>, Дата обращения: 2025-05-15.
7. Vue.js Glossary. — 2025. URL: <https://vuejs.org/glossary/>, Дата обращения: 2025-05-15.
8. Flask Documentation. — 2025. URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>, Дата обращения: 2025-05-15.
9. OpenLayers Documentation. — 2025. URL: <https://openlayers.org/doc/>, Дата обращения: 2025-05-15.
10. Боровик, А. В. Проекция Меркатора, логарифм и мореплавание / А. В. Боровик, О. М. Худавердян // *Матем. просв.* — 2010. — Т. 14. — С. 58–82.
11. EPSG:4326 - WGS 84. — 2025. URL: <https://epsg.io/4326>, Дата обращения: 2025-05-15.
12. CoreUI for Vue - Getting Started. — 2025. URL: <https://coreui.io/vue/docs/getting-started/introduction.html>, Дата обращения: 2025-05-15.

13. Pinia - Core Concepts. — 2025. URL: <https://pinia.vuejs.org/core-concepts/>, Дата обращения: 2025-05-15.
14. OpenAPI TS - Introduction. — 2025. URL: <https://openapi-ts.dev/introduction>, Дата обращения: 2025-05-15.
15. An Intro to the Earth Engine Python API. — 2025. URL: <https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/community/intro-to-python-api>, Дата обращения: 2025-05-15.

Приложение А Главный интерфейс

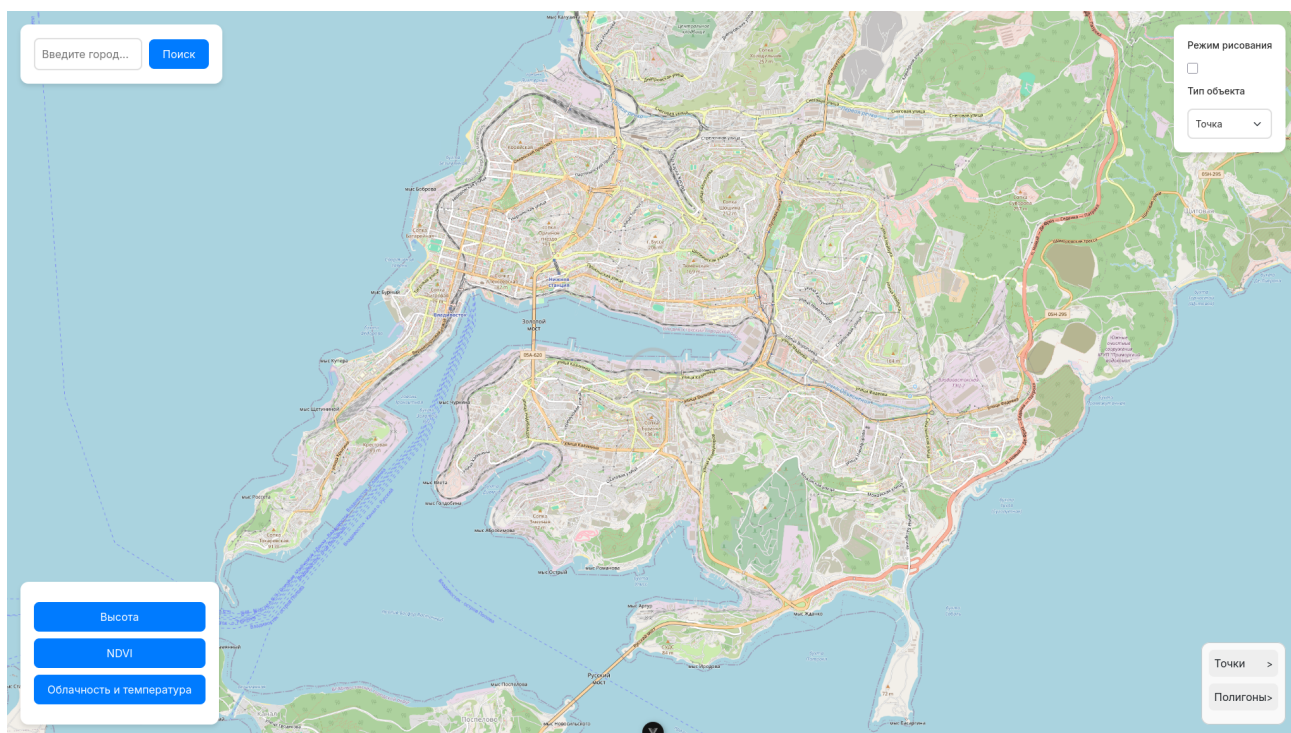


Рисунок А.1 — Интерфейс главной страницы.

Приложение Б Виджет получения высот

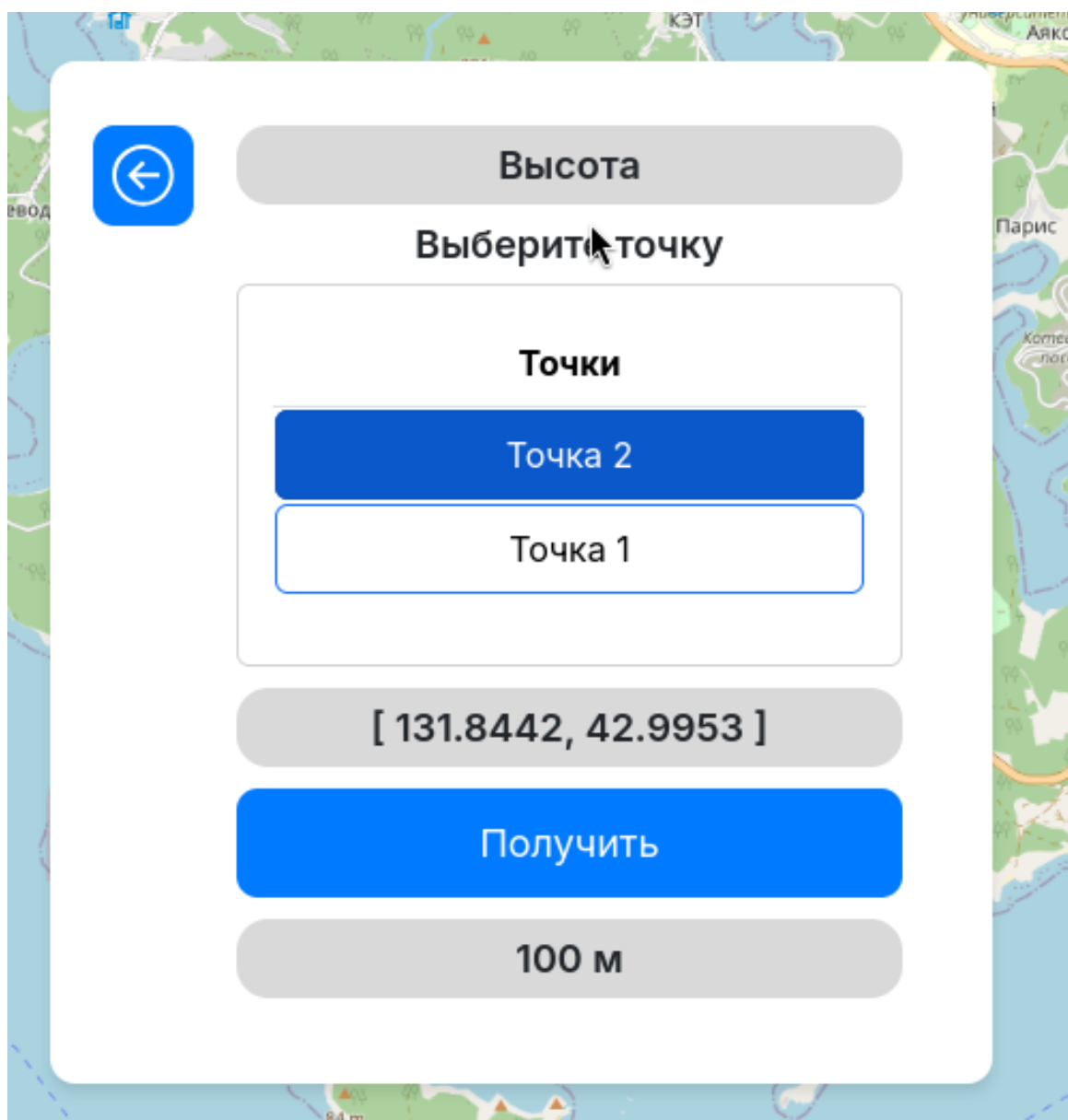


Рисунок Б.1 — Виджет получения высоты

Приложение В Виджет получения NDVI-индекса

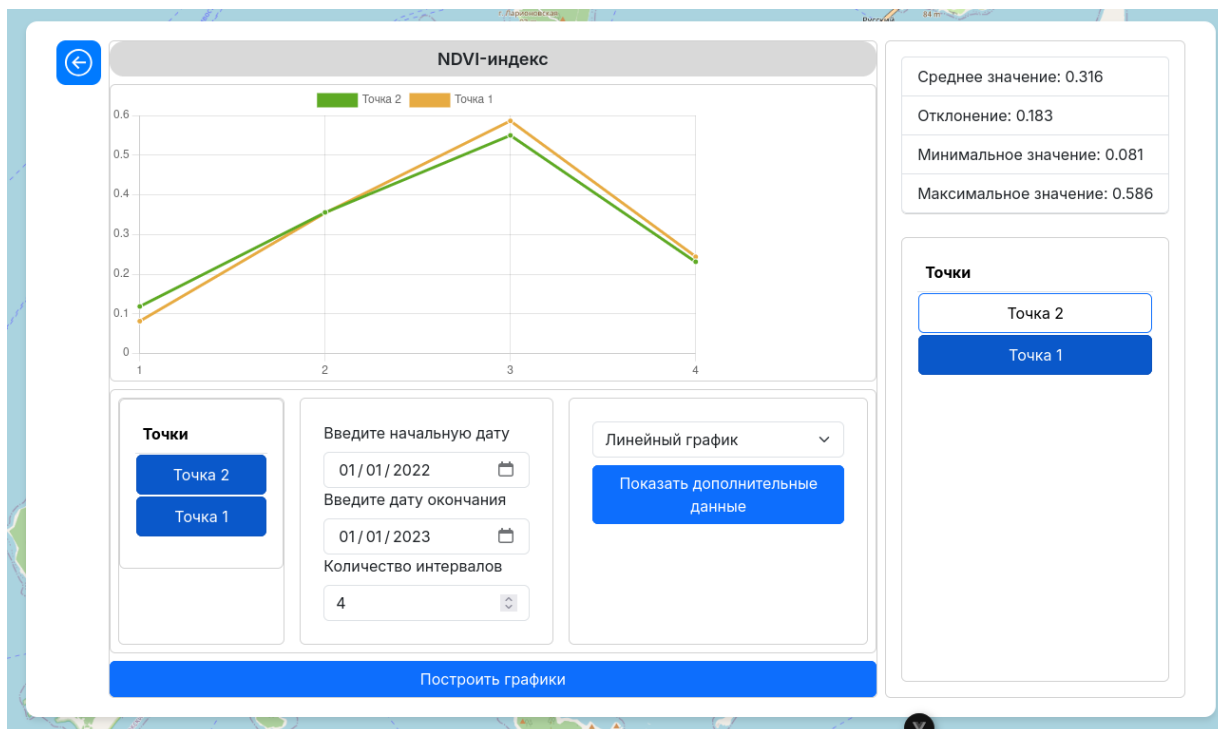


Рисунок В.1 — Виджет получения NDVI-индекса

Приложение Г JSON-объект для работы с координатами

Листинг Г.1 — Формат передачи координат

```
1 {  
2   "coord": {  
3     "lat": 43.1056,  
4     "lon": 131.8735  
5   }  
6 }
```

Приложение Д JSON тело запроса получения информации по точке

Листинг Д.1 — Тело запроса получения информации по точке

```
1 {  
2   "start_date": "2023-01-01",  
3   "end_date": "2024-04-01",  
4   "intervals": 3,  
5   "objects": [  
6     {  
7       "name": "moscow",  
8       "coord": {  
9         "lat": 55.7535,  
10        "lon": 37.6205  
11      }  
12    }  
13  ]  
14 }
```

Приложение Е JSON тело ответа получения информации по точке

Листинг Е.1 — Тело ответа получения информации по точке

```
1  [  
2    {  
3      "name": "moscow",  
4      "temperature": [  
5        285.032011943951,  
6        297.0223624538957,  
7        281.9067114026923  
8      ]  
9    }  
10 ]
```