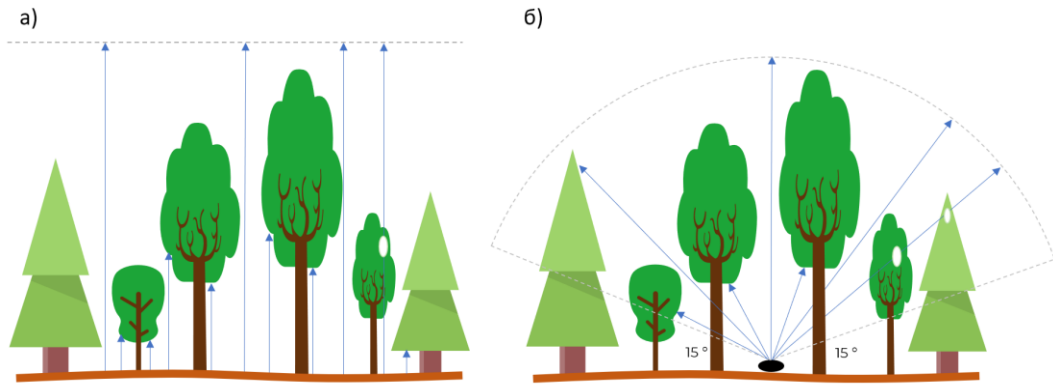
Геопортал ForestScan для пространственной оценки сквозистости древесного полога по данным воздушного лазерного сканирования

Плотникова А.С., Алексеев А.Б., Архипцева Е.А., Ильясов Д.В., Куприянова Ю.В.
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
Югорский государственный университет

ИКИ РАН 2026

Сквозистость древесного полога

Сквозистость — суммарная проекция просветов в древостое на мысленную полусферу над точкой под пологом леса (Ипатов и др., 1979)



Пространственная оценка по данным ВЛС

Виртуальные наблюдения по регулярной сетке формируют растровую модель прозрачности полога

Просветы между кронами и внутри крон

Результат в процентах характеризует открытость небосвода и служит для косвенной оценки световых условий

Мотивация создания геопортала

Барьер практического применения	Задача геопортала
Программирование на R/C++ и настройка библиотек	Доступ к вычислительному алгоритму через веб-интерфейс
Обработка больших массивов LAS/LAZ	Перенос расчёта в серверную среду
Специализированное ПО и пространственные форматы	Просмотр готовой модели и скачивание GeoTIFF через браузер

Автоматизация цикла работы с подготовленными данными ВЛС

Проект пользователя объединяет исходные материалы, параметры обработки и картографический результат

Цель и задачи разработки геопортала

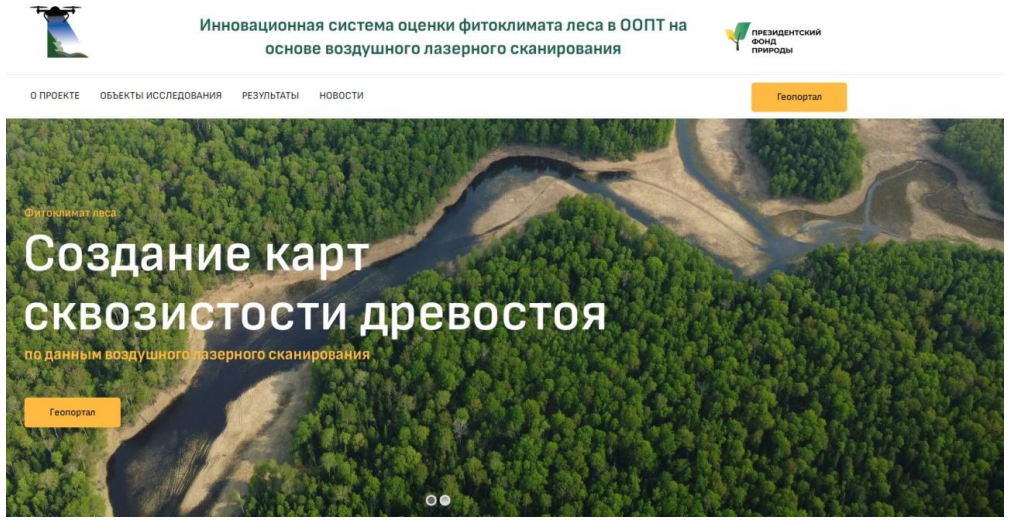
Цель

Создание общедоступного веб-инструментария для автоматизированного картографирования сквозистости древесного полога по данным ВЛС

Задачи разработки	Результат для пользователя
Перенос алгоритма в серверную среду	Расчёт без самостоятельного запуска R/C++
Централизованное управление проектами	Хранение данных, настроек и результатов
Пакетная загрузка и автоматизация обработки	Последовательный цикл подготовки карты
Публикация и визуализация GeoTIFF	Просмотр в браузере и выгрузка в ГИС

Функциональная организация цифровой платформы

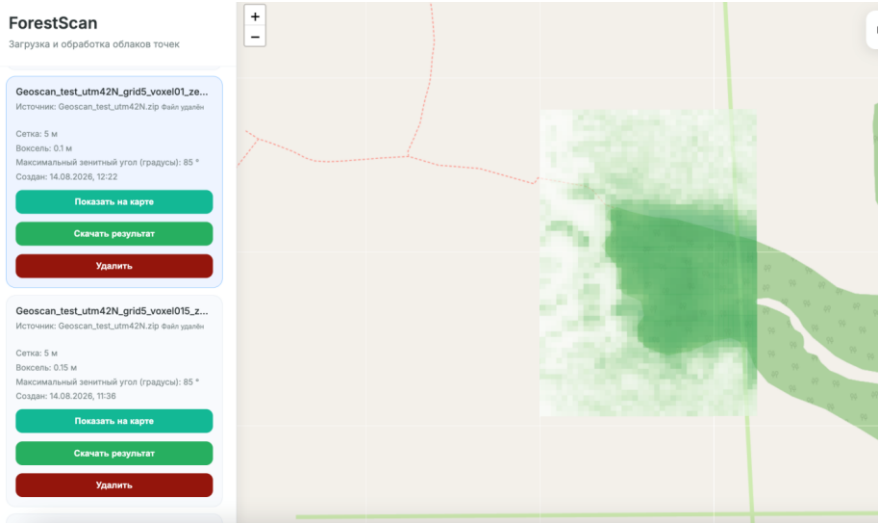
Информационный портал



forestscan.ru

Методические материалы, результаты исследований и информационное сопровождение проекта

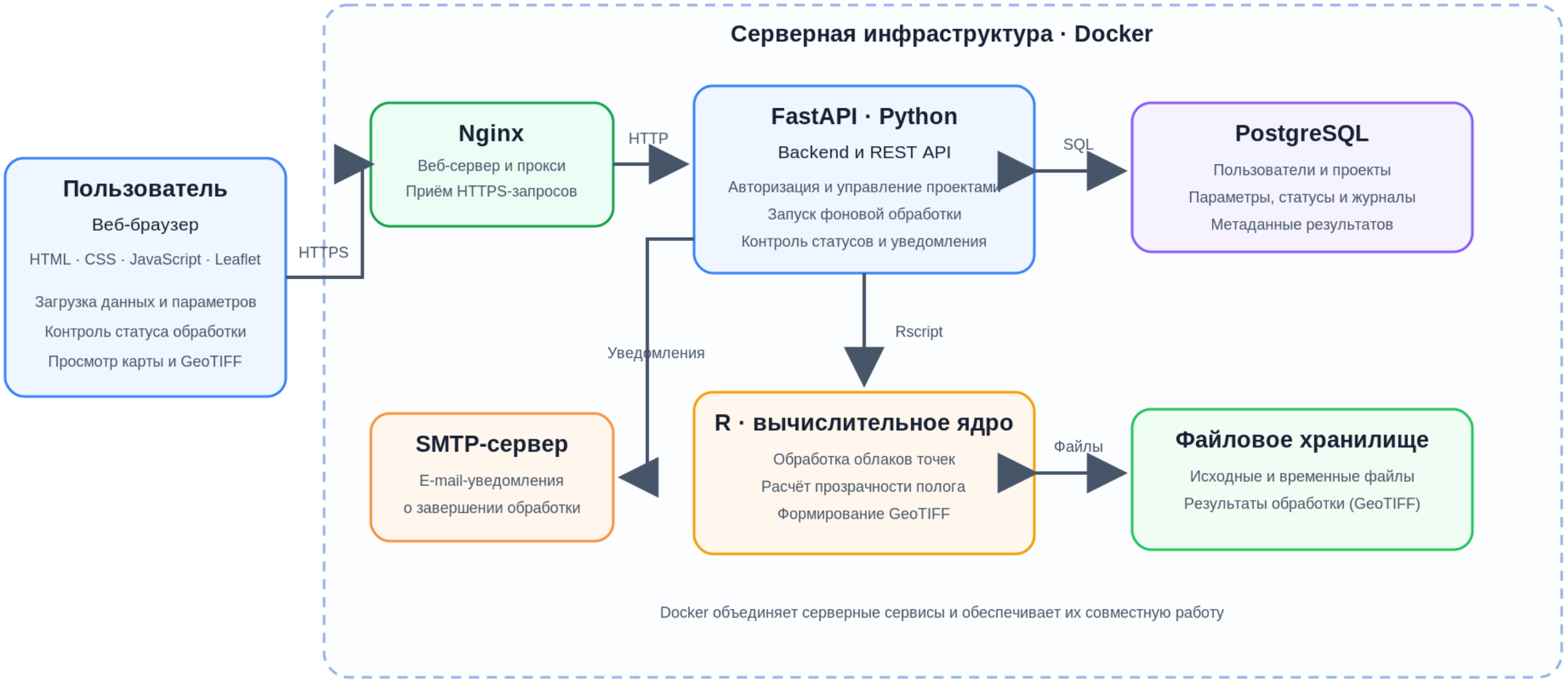
Вычислительный геопортал



gis.forestscan.ru

Загрузка ВЛС, запуск вычислений, управление проектами и просмотр растровых моделей

Архитектура программного комплекса геопортала



По архитектурной схеме из презентации разработчиков геопортала

Пользовательский сценарий работы

Этап	Действия исследователя	Объект работы
1. Организация проекта	Вход в личный кабинет и создание проекта	Территория исследования
2. Передача материалов	Загрузка LAS/LAZ и векторной границы	Пакет исходных данных
3. Запуск обработки	Выбор параметров и отправка задания	Вычислительная задача
4. Получение результата	Просмотр на карте и экспорт GeoTIFF	Растровая модель сквозистости

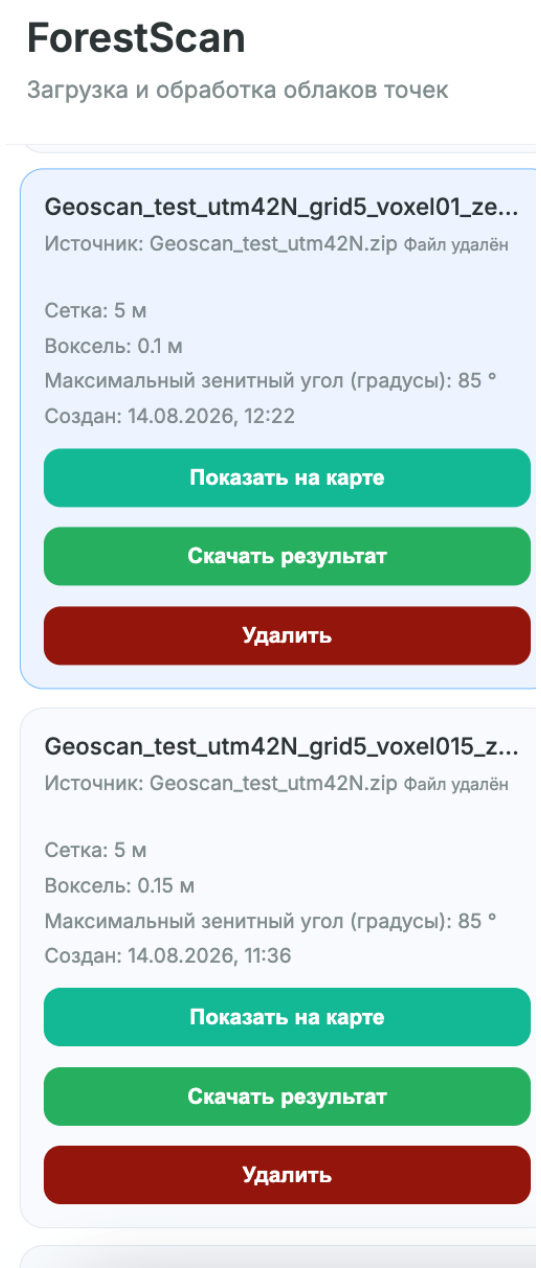
Управление проектом связывает этапы обработки

Пользователь задаёт исходные материалы и настройки; сервер выполняет расчёт, а браузер отображает состояние и результат

Требования к полетным параметрам и настройкам лазерного сканера

Параметр ВЛС	БВС	Примечание
Размер вокселя (*Vsize*)	0,05 – 0,15 м	Базовый масштаб дискретизации
Рабочая высота полета (*H*)	50 – 120 м	Регулирует размер лазерного пятна и проникающую энергию импульса
Расходимость лазерного луча (γ)	1.0 – 3.0 мрад	Аппаратная константа
Диаметр лазерного пятна (*D*)	0,05 – 0,15 м	Пятно должно быть меньше размера вокселя
Скорость (v)	4 – 8 м/с	Определяет продольный шаг сканирования
Плотность отражений (*ρ*)	200 – 1000 точек/м²	Обеспечение шага ТЛО не более половины размера вокселя для исключения ложных просветов при вокселизации полога
Угол сканирования (*θ*)	±15˚ от надира	Узкий угол исключает эффект боковой окклюзии
Перекрытие маршрутов	70 – 80 % (ортогонально-параллельно)	Ортогональная сетка с избыточным перекрытием компенсирует сужение угла сканирования
Регистрация отражений	2 – 5 возвратов	Обеспечивает 3D–реконструкцию средних ярусов и поиск поверхности почвы для ЦМР

Проекты и результаты в интерфейсе



Контекст результата

Исходный файл и сведения о расчёте помогают связать модель с территорией исследования

Параметры обработки

Шаг сетки, размер вокселя и максимальный зенитный угол доступны в карточке результата

Действия пользователя

Отображение растрового слоя на карте и скачивание результата для последующего анализа

Проверка параметров предшествует сравнению разных моделей

Подготовка и загрузка исходных данных

Пакет исходных материалов

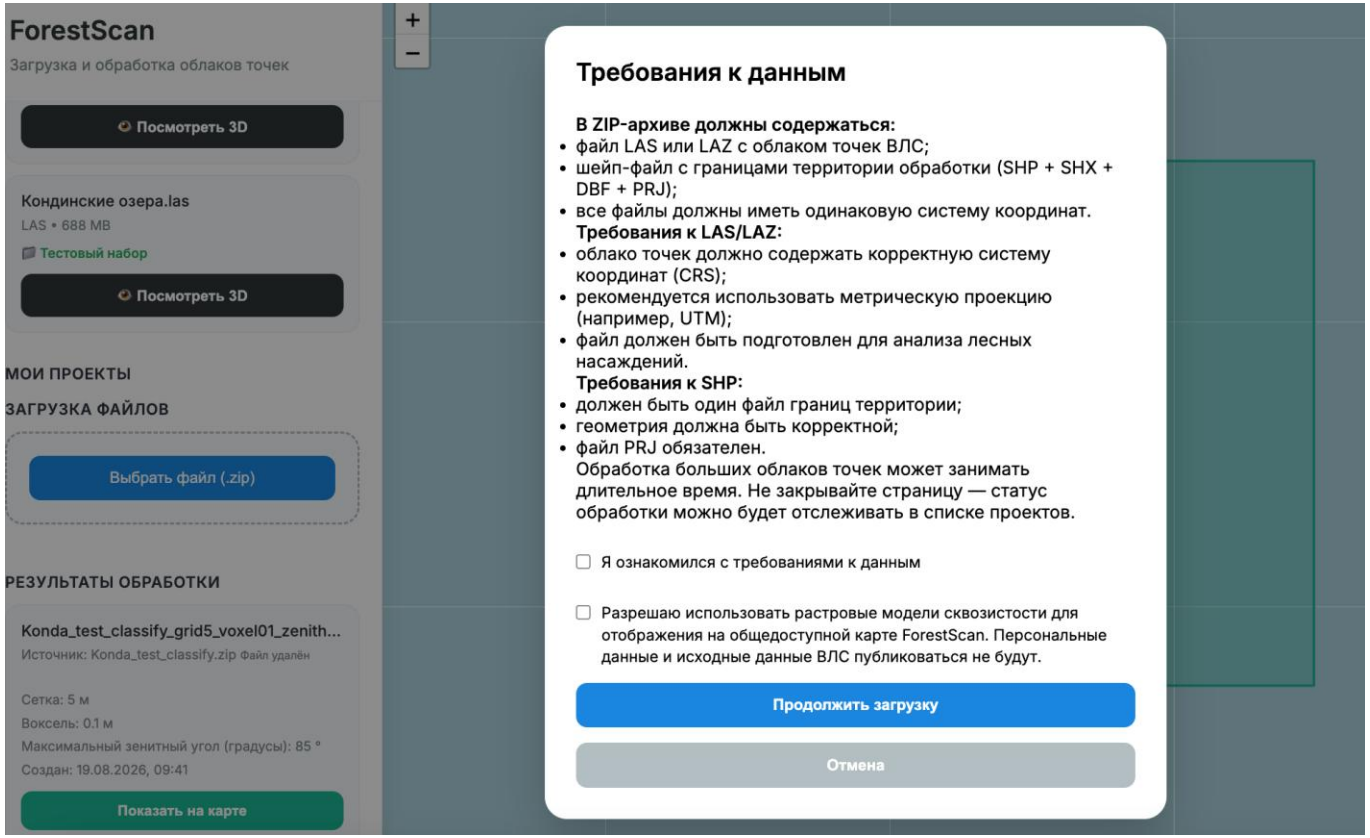
ZIP-архив: облако точек LAS/LAZ и граница территории в формате SHP с сопутствующими файлами

Подготовка данных

Классификация точек, корректная геопривязка и согласованная система координат

Контроль перед обработкой

Проверка состава пакета и заголовков LAS; сохранение данных в проекте пользователя



Качество исходного облака определяет достоверность восстановления просветов

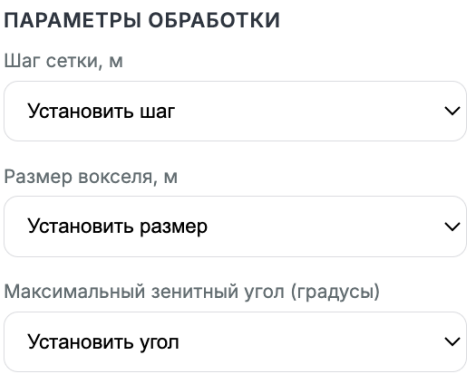
Параметризация расчёта сквозистости

Параметр	Назначение	Значения в материалах команды
Шаг расчётной сетки	Размещение виртуальных наблюдений; разрешение растра	5, 10, 20 м
Размер вокселя	Детализация модели перекрытия полога	0,05; 0,10; 0,15 м
Максимальный зенитный угол	Охват небосвода от направления в зенит	15° и 85°

Параметры апробации в статье

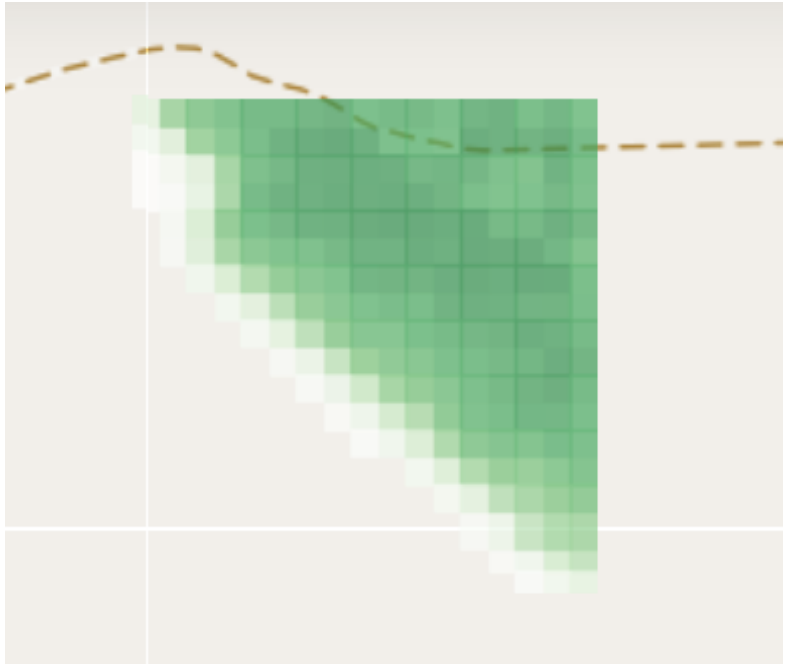
Радиус 40 м; воксель 0,10 м; растр 5 м
360 зенитных колец и 1440 азимутальных секторов

Сравнение территорий требует согласованных настроек и сопоставимого качества съёмки

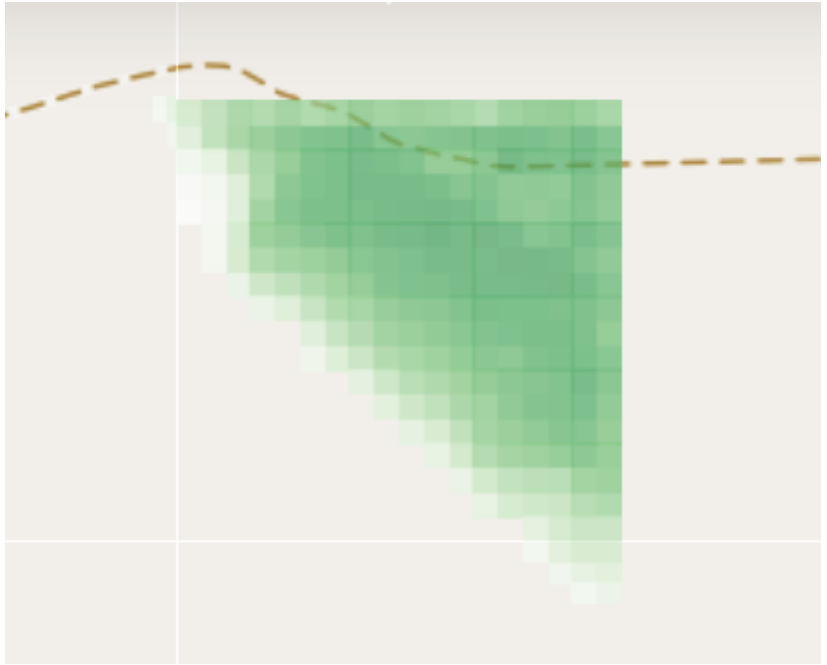


Пространственное разрешение растровой модели

Шаг сетки 20 м



Шаг сетки 5 м



Одинаковые параметры: размер вокселя 0,05 м; максимальный зенитный угол 85°

Уменьшение шага в 4 раза увеличивает число расчётных точек приблизительно в 16 раз. Детализация карты возрастает вместе с вычислительной нагрузкой.

Серверная обработка проекта

Этап	Содержание обработки	Результат этапа
1. Загрузка проекта	Передача ZIP-пакета и параметров	Исходные материалы в хранилище
2. Проверка	Контроль структуры данных и заголовков LAS	Подготовка задания к расчёту
3. Выполнение	Запуск Rscript и вычислительного ядра	Локальные значения сквозистости
4. Формирование растра	Агрегация значений и экспорт	Геопривязанный GeoTIFF

Фоновая неблокирующая обработка

После завершения загрузки и запуска задания вычисления выполняются на сервере. Пользователь возвращается к проекту для проверки состояния и получения результата.

Хранение проектов и уведомления

PostgreSQL

Пользователи и проекты

Параметры, статусы и журналы

Метаданные результатов

Файловое хранилище

Исходные облака LAS/LAZ

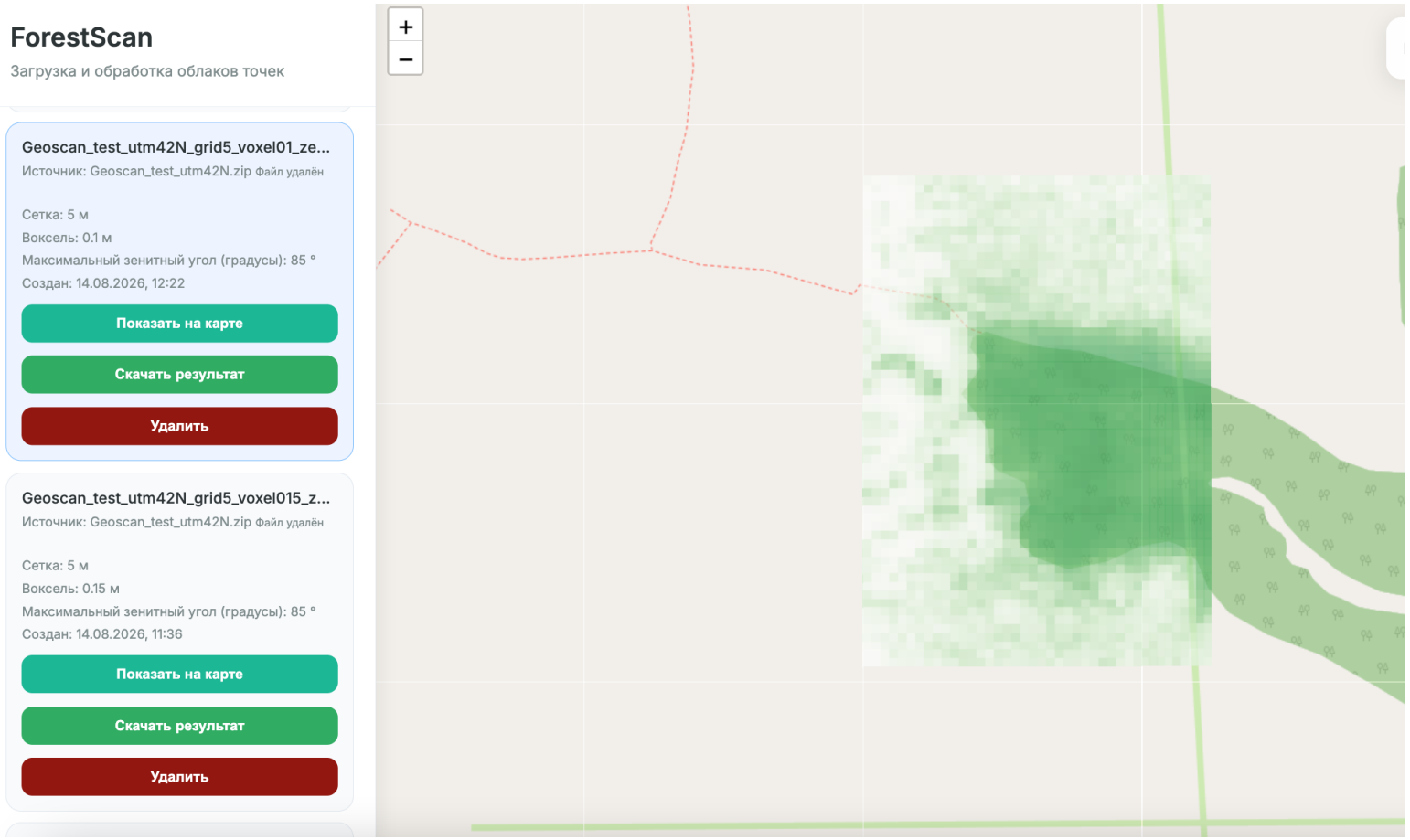
Временные материалы обработки

Растровые модели GeoTIFF

Контроль завершения обработки

Проверка состояния проекта через интерфейс. В архитектуре предусмотрен SMTP-компонент почтовых уведомлений о завершении расчёта.

Визуализация и экспорт растровой модели



Веб-карта

Интерактивное отображение результата поверх картографической подложки

Растровая модель

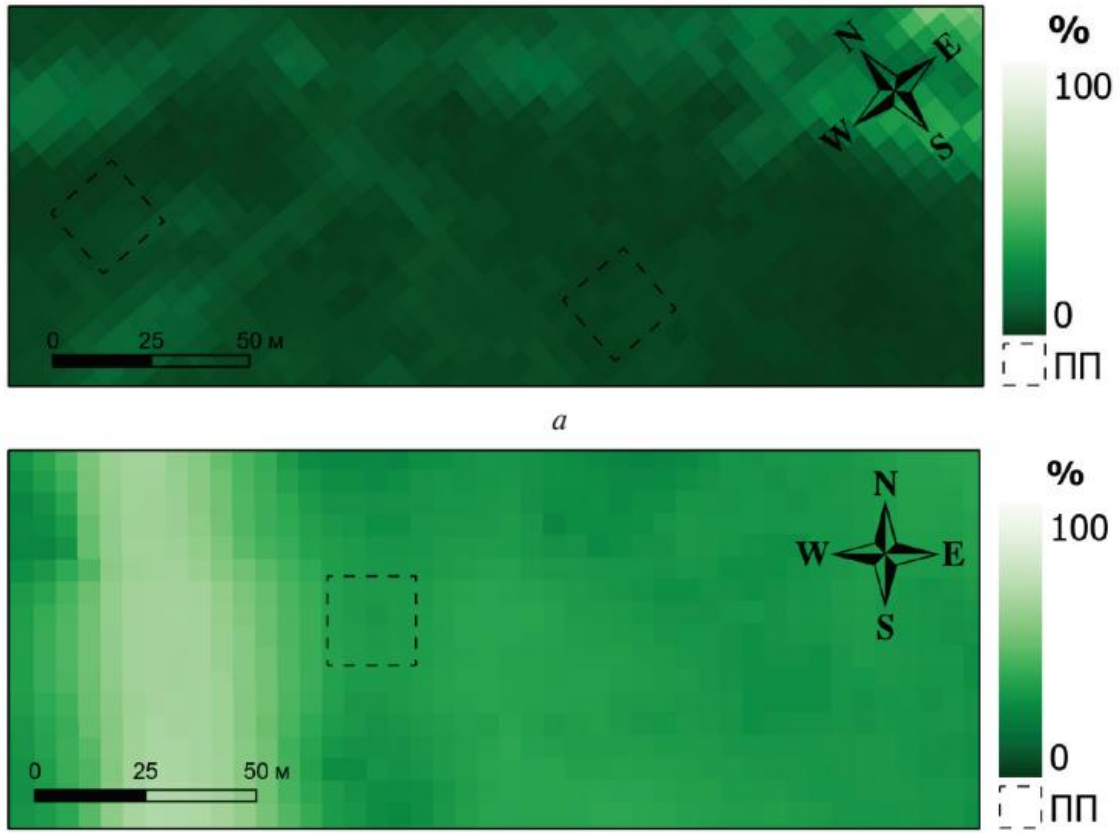
Числовые значения сквозистости с пространственной привязкой

Экспорт в GeoTIFF

Выгрузка для сопоставления с пробными площадями и анализа во внешней ГИС

Область интерпретации: пространственная неоднородность прозрачности древесного полога

Интерпретация картографического результата



а

Фрагменты из статьи: Тверская область (а) и Мухрино (б).
Шкала: от 0 до 100 %.

Числовой показатель

Ячейка растра содержит расчётную прозрачность полога в процентах

Пространственный рисунок

Шкала показывает различия открытости полога в пределах территории

Дальнейший анализ

GeoTIFF сохраняет значения и геопривязку для сопоставления с полевыми данными

Условия корректной работы с геопорталом

Этап работы	Контроль пользователя
До загрузки	Классификация, геопривязка и качество облака точек
Перед запуском	Смысл параметров и их соответствие исследовательской задаче
При сравнении моделей	Сезон съёмки, свойства данных и согласованность настроек
При интерпретации	Сквозистость характеризует геометрию просветов в модели

Проверка методики и тестирование сервиса

Экологическая валидация подтверждает смысл показателя. Производительность, устойчивость работы и уведомления оцениваются при испытаниях платформы.

Основные результаты разработки

Перенос методики на сервер	Расчёт пространственных моделей сквозистости по данным ВЛС в вычислительной среде геопортала
Автоматизация обработки	Объединение загрузки данных, параметризации, вычислений и формирования GeoTIFF
Пользовательская работа с проектами	Централизованное хранение исходных материалов и результатов расчёта
Веб-картографирование	Просмотр растровой модели в браузере и выгрузка для дальнейшего анализа

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

gis.forestscan.ru

forestscan.ru

Плотникова А. С., Алексеев А. Б., Архипцева Е. А., Ильясов Д. В., Куприянова Ю. В.

Методика: Президентский фонд природы ЭКО-26-2-000303
Данные ВЛС ХМАО-Югры: РНФ 25-17-20042
Анализ способов оценки: НИОКТР 124013000750-1