Университет ИТМО

2026 г.

Опыт дистанционного выявления борщевика Сосновского в местах расположения ООПТ юго-запада Ленинградской области



Гусева Ю.И., Загидуллина А.Т., Динкелакер Н. В.

Введение

Борщевик сосновского – кавказский горнолесной субальпийский светолюбивый, нитрофильный луговой вид. Изначально интродуцированный как кормовая культура, сегодня он активно распространяется по различным типам нарушенных местообитаний – вдоль дорог, по берегам рек, на залежных землях и заброшенных сельскохозяйственных участках. Особую тревогу вызывает влияние растения на аборигенную флору. В условиях плотных зарослей изменяется структура растительного покрова, сокращается численность местных видов, включая редкие и охраняемые растения.



Распространение и обилие борщевика Сосновского в России и Европе. Рисунок с сайта rg.ru

Характеристика существующих методов определения борщевика

Метод	Преимущества	Недостатки	Использование
Полевые маршрутные учеты	Идентификация всех локусов, достоверность, фотофиксация, сбор образцов борщевика	Высокая стоимость, малая площадь, не для больших и труднодоступных территорий	Наиболее распространен
Аэрофотосьемка	Охватывает большие площади, отсутствие помех (облаков)	Высокая стоимость, сложность организации, сложно получить для анализа	Почти не используется
Сьемка с беспилотной авиации (БПЛА)	Идентификация большинства локусов	Небольшая площадь, высокая стоимость, сложность организации	Не используется
Гиперспектральная космическая съёмка (ГУАП)	Автоматизация, оперативность, расчёт биомассы	Высокая стоимость сцен, привязка к периоду цветения, зависимость от погоды, может давать ложные срабатывания	Проанализировано 18 районов Ленинградской области (2022 г.)
Yandex Cloud	Оперативность, доступен для всех, расчёт площади для каждого очага	Привязка к периоду цветения, зависимость от погоды	Помог выявить заросли борщевика общей площадью 421 гектар в 17 регионах России
Сбор информации от населения	Потенциально большой охват территорий, полевые данные	Необходимость проверки достоверности, случайные территории	Используется – карта Антиборщевик, сайт "Госуслуги.Решаем вместе"

Цель

Разработка метода, позволяющего автоматизировать определение зарослей борщевика по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

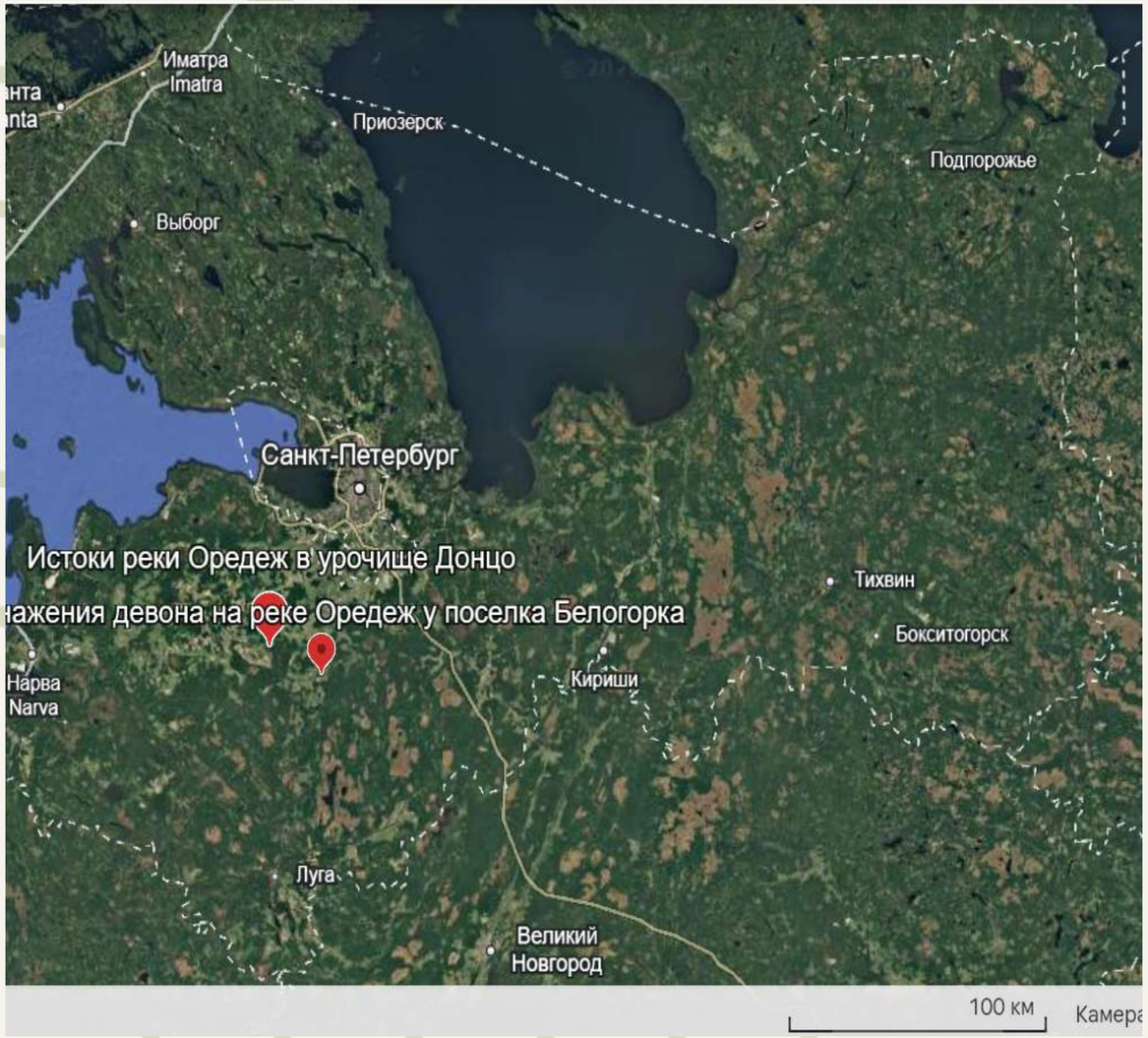
Задачи

1. Подготовить полевые данные для обучения и верификации модели.
2. Создать геодатасеты сигнатур интересующих классов на основе полевых данных и дополнительных материалов.
3. Обучить и протестировать различные модели машинного обучения для классификации данных ДЗЗ и выбрать оптимальную.



Борщевик Сосновского

Места сбора данных



Карта расположения ООПТ в Ленинградской области

Памятник природы «Истоки реки Оредеж в урочище Донцо»
Площадь: 950 га. Дата создания: 1976 г.
Основу растительного покрова составляют еловые леса и остепнённые луга на известняке — уникальные альвароподобные сообщества, практически не встречающиеся в регионе. На территории зафиксированы виды, занесённые в Красную книгу России и Ленинградской области: редкие орхидеи, мхи, водоросли, грибы, а также тритон гребенчатый.

Памятник природы «Обнажения девона на реке Оредеж у поселка Белогорка»
Площадь: 120 га. Дата создания: 1976.
Памятник природы расположен в долине реки Оредеж, где на правом берегу обнажаются девонские песчаники длиной около 250 м и мощностью до 15 м, содержащие многочисленные остатки древних позвоночных. В Красную книгу Ленинградской области включены брахитециум полевой и обыкновенный зимородок.

Материалы и методы

Этапы работы

01

Сбор и подготовка полевых данных

02

Подготовка сезонных композитов многоканальных данных дистанционного зондирования (Sentinel-2) с помощью платформы Google Earth Engine и инструментов QGIS

03

Подготовка геодатасетов сигнатур интересующих классов на основе набора полевых данных и дополнительных материалов

04

Обучение и тестирование различных моделей машинного обучения для классификации ДЗЗ

05

Оценка площадей, занятых интересующим классом покрова в пределах исследованных ООПТ Ленинградской области

Сбор полевых данных

Летом 2025 и 2026 года были проведены полевые работы на территории и в окрестностях нескольких ООПТ.
Полевые работы были организованы с применением комбинированной мобильности:
- Автомобильные маршруты;
- Пешие маршрутные обследования.
Для каждого объекта фиксировались GPS-координаты и делалась серия снимков: общий план зарослей, фотографии генеративных и вегетативных особей для подтверждения видовой принадлежности, а также снимки, иллюстрирующие характер распространения и степень антропогенного воздействия на участке.





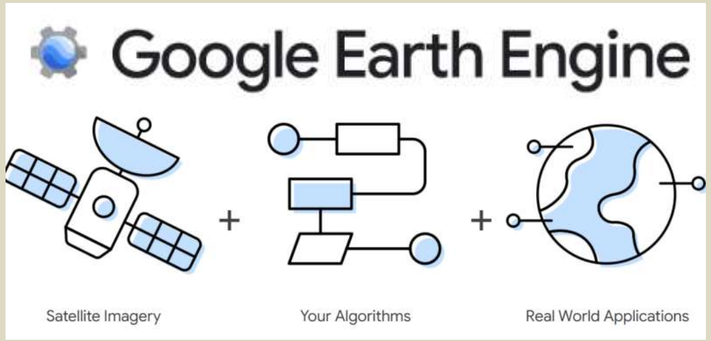
Данные дистанционного зондирования

- Технология дистанционного зондирования предлагает экономичные средства для изучения изменений растительного покрова, особенно на больших площадях. Она позволяет использовать данные на обширные территории за период мониторинга.
- 2 основных процесса ДЗЗ:
- обработка данных (космических снимков)
- анализ результатов (ГИС-анализ)
- Спутниковые сенсоры подразделяются на оптические (пассивные) и радарные (активные) и имеет различные механизмы формирования изображений.
- Авторы сосредоточились на идентификации зарослей *Heracleum sosnowsky* с помощью данных дистанционного зондирования Sentinel-2* (оптический сенсор) с использованием инструментария Google Earth Engine (GEE) и ГИС- инструментария QGIS 3x

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength [micrometers]	Resolution [meters]
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

**The European Space Agency (ESA). 2018.*

Классификация спутниковых данных







- Создание сезонных безоблачных композитов оптических снимков Sentinel-2 с помощью GEE
- Средствами QGIS созданы серии обучающих сэмплов по основным классам Landcover, включая куртины борщевика (локации куртин борщевика уточнялись по полевым данным + использовались снимки высокого разрешения Google Satellite).
- Опираясь на данные о существенно более высокой концентрации хлорофилла в фитомассе борщевика, был выявлен период, когда борщевик развивает максимальную фитомассу и хорошо отличается от другой луговой растительности и с/х культур.
- Проведены эксперименты для выявления оптимального сочетания каналов и сезонности для 2025 г.
- Наилучшие результаты показали летние композиты Sentinel -2 с каналами, отражающими состояние растительности (интенсивность фотосинтеза - B11 (SWIR), B8 (NIR), B3 (Green).

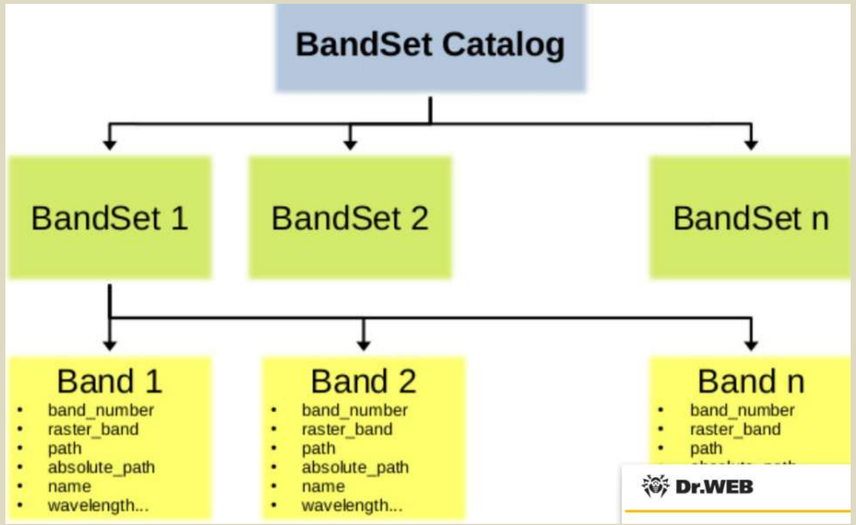
Классификация с помощью плагина для QGIS 3x Semi-Automatic Classification Plugin



https://fromgistors.blogspot.com/search/label/Tutorial

Congedo, Luca, (2021)

Management of Raster Bands



Performance

Инструменты быстрой параллельной обработки ДЗЗ

Machine Learning

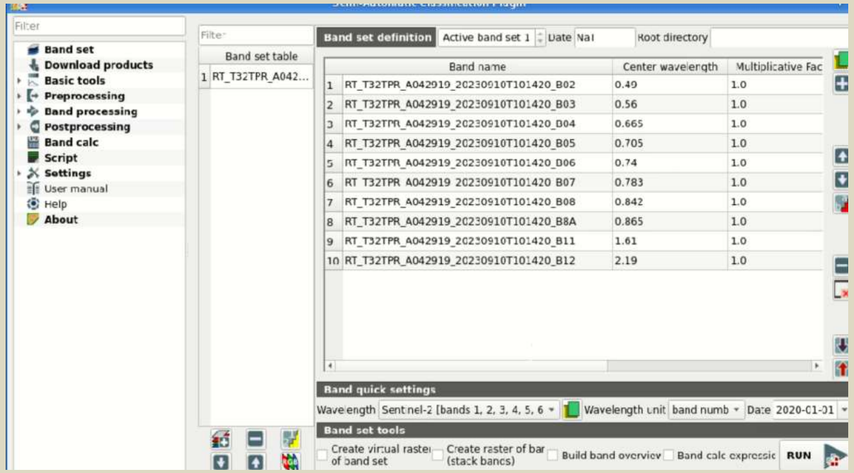
Plugin использует PyTorch и scikit-learn, которые интегрированы в инструмент band_classification для классификации типов Landcover с помощью алгоритмов машинного обучения

Подготовка данных дистанционного зондирования и классификация Landcover

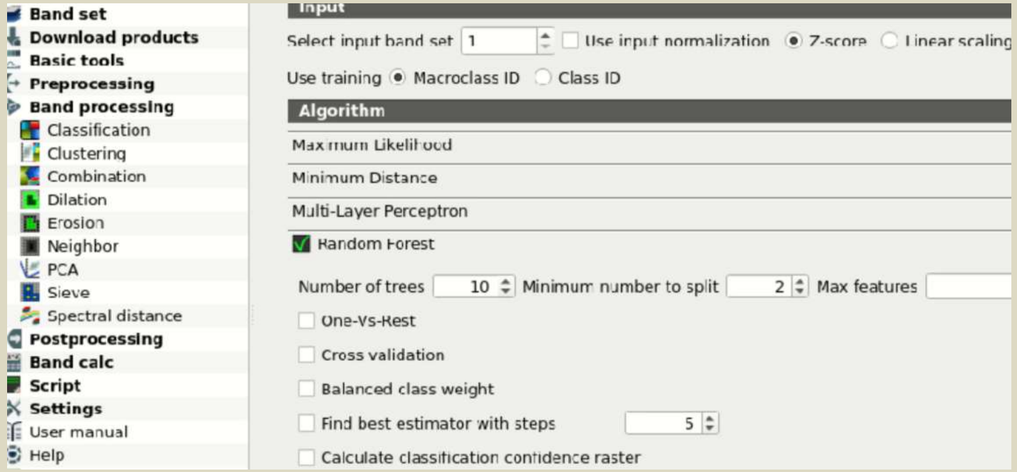
1. Подготовка сезонных композитов многоканальных данных дистанционного зондирования (Sentinel-2) с помощью Google Earth Engine.
2. Подготовка геодатасетов для определения сигнатур основных классов Landcover на основе полевых данных и дополнительных материалов (картография, Google Satellite и пр.) средствами QGIS 3x.
3. Обучение и тестирование различных моделей машинного обучения для классификации ДЗЗ с помощью Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2021).
4. Оценка качества классификации.

Классификация Random Forest

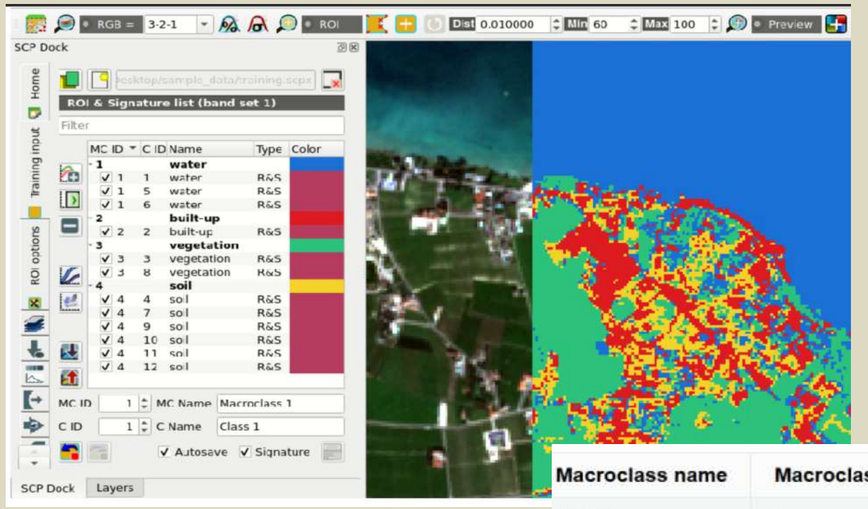
Подготовка band set



Задание модели ML и гиперпараметров



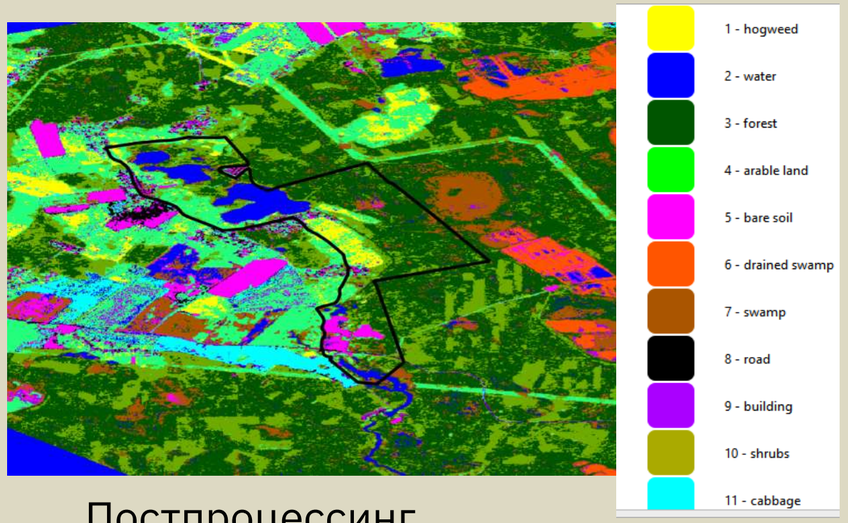
Подготовка сигнатур по обучающей выборке полигонов (ROIs)



Training Areas (ROIs)

Macroclass name	Macroclass ID
Water	1
Built-up	2
Vegetation	3
Soil	4

Вывод результатов классификации



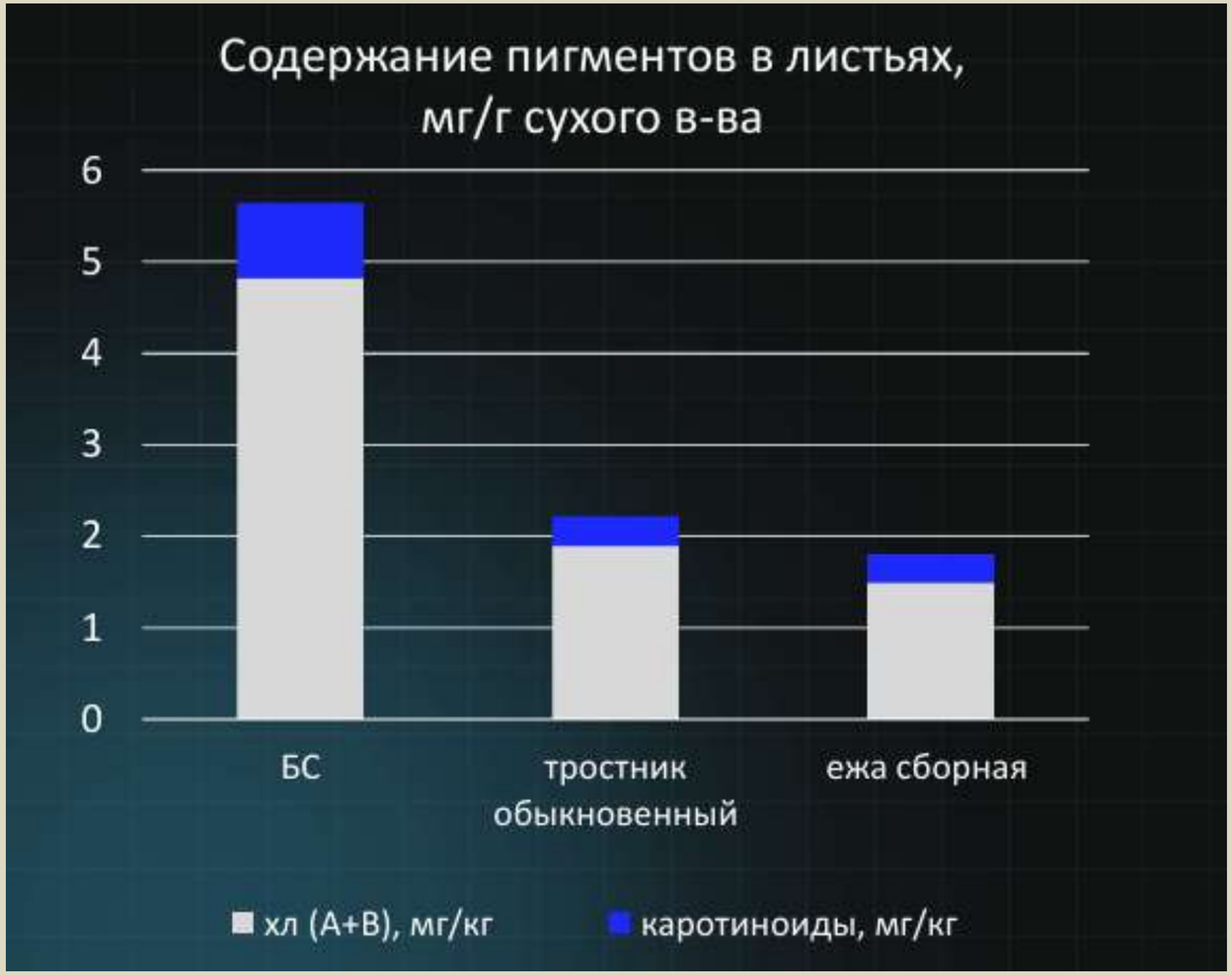
		Predicted condition	
	Total population = P + N	Positive (PP)	Negative (PN)
Actual condition	Positive (P)	True positive (TP)	False negative (FN)
	Negative (N)	False positive (FP)	True negative (TN)

Постпроцессинг

Для проверки качества классификации для обучения модели для выявления борщевика входные (полевые) данные были разделены: ~ 70% использовалось для обучения модели, 30% для проверки качества классификации.

Результаты и обсуждение

Накопление фотосинтетических пигментов борщевиком Сосновского и крупными травами



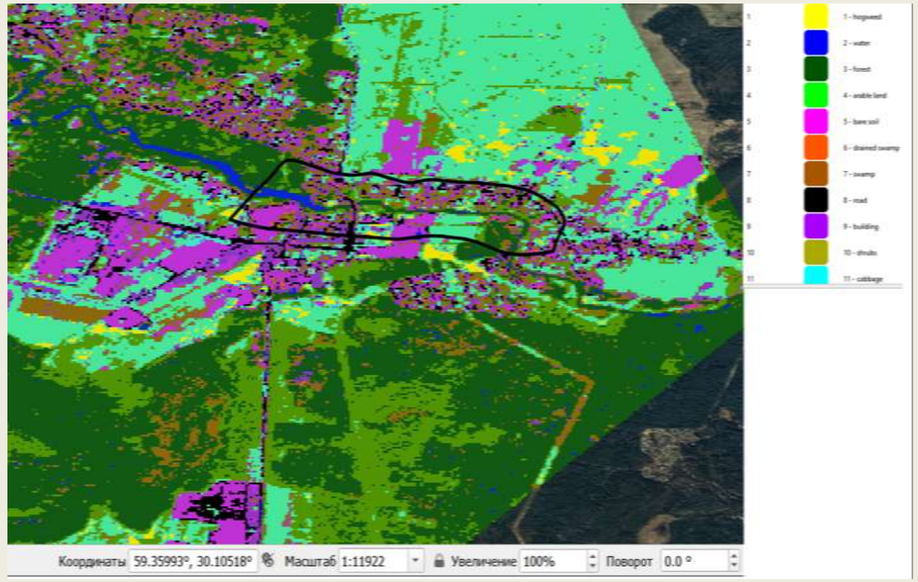
Борщевик Сосновского обладает высоким уровнем аккумуляции фотосинтетических пигментов на тканевом уровне.
Критическое превышение содержания также обусловлено большим объемом фитомассы.
Различия в содержании хлорофилла у разных видов растительности позволило выявлять заросли борщевика на открытых местах при помощи многоканальных спутниковых снимков.

Результаты тестирования

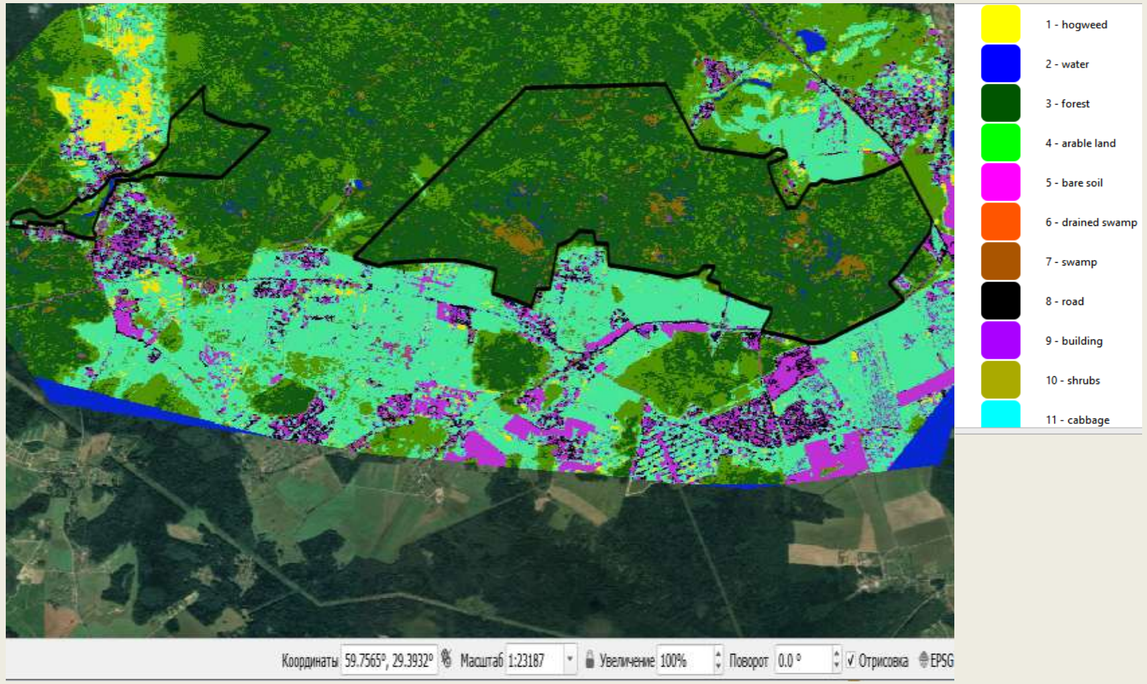


Подход позволил достичь точности обнаружения до 87% зарослей борщевика. Наилучшие результаты показало использование сезонных летних (июнь-август) композитов нескольких каналов Sentinel-2 (B3, B8x, B11) и алгоритма классификации Random Forest.

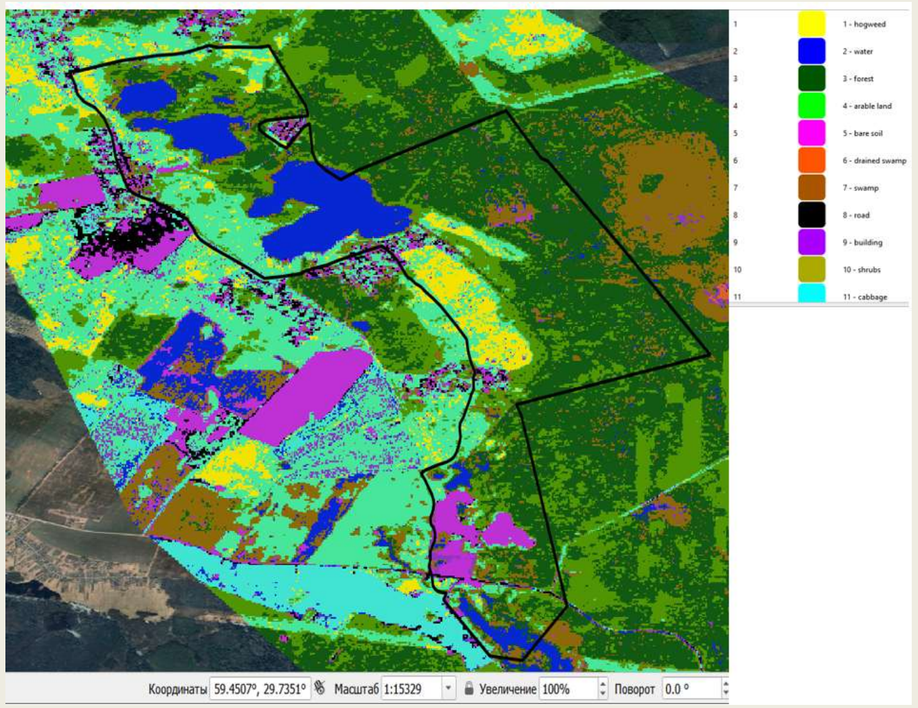
Результаты классификации Landcover и выделения куртин борщевика



Обнажения девона на реке Оредеж у поселка Белогорка



Региональный геологический и гидрологический памятник природы «Радоновые источники и озёра у деревни Лопухинка» и Государственный природный заказник «Гостилицкий»



Истоки реки Оредеж в урочище Донцо

Площади выделенных классов покрова по данным дистанционного зондирования в пределах обследованных ООПТ (га)

ООПТ	БС	Вода	Лес	Луга поля	Грунт
Котельский	3.5	7703.8	16113.9	245.7	162.0
Гладышевский	64.6	3149.5	6455.3	672.4	202.8
Гостилицкий	0.5	57.6	2454.0	5.6	3.8
Донцо	156	344.2	931.2	396.7	104.7
Белогорка	3.6	7.8	32.5	34.2	30.0
Радоновые источники	0.5	8.7	204.8	15.6	6.1
Колтушские высоты	0.2	56.5	1616.8	73.6	26.1

Выводы и возможности практического применения

Разработана методика, базирующаяся на использовании открытых данных дистанционного зондирования с использованием открытого ПО.

Внедрение предлагаемого подхода в практику работы региональных органов власти и землепользователей позволит:

- без дополнительных затрат получать актуальные сведения о том, где именно распространен инвазивный вид;

- разрабатывать стратегии защитных мер, направляя основные усилия и ресурсы на участки, которые больше затронуты инвазией;

- оценивать результативность выполненных работ, анализируя изменения на картах, отображающих состояние территории до и после обработки.

Ограничение

Подход позволяет выявлять крупные заросли борщевика на открытых участках в западной части Ленинградской области. Однако, у метода есть ограничения – например, невозможность выявления небольших куртин борщевика (не менее 10-20 м в диаметре), зарослей в смеси с другой растительностью (в долинах водотоков, в кустарниках и пр).
При смене ландшафтных районов может потребоваться корректировка спектральных сигнатур классов. Применение метода в других природных районах требует сбора дополнительного полевого материала и проверки модели.

Спасибо за внимание!

Работа выполнена в рамках проекта НИР № «Разработка методики по ограничению распространения инвазивного вида растений Борщевик Сосновского на ООПТ Ленинградской области Памятник природы «Река Величка», Государственный природный заказник «Болото Озерное», Памятник природы «Радоновые источники в д. Лопухинка».